

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра химии и химической технологии

“УТВЕРЖДАЮ”
ДЕКАН МТФ

к.т.н. Янпольский В. В.

“ ____ ” _____ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Химия твердого тела

Образовательная программа: 18.03.01 Химическая технология, профиль: Химические технологии функциональных материалов

Курс: 3, семестр : 5

Механико-технологический факультет,

		Семестр
№	Вид деятельности	5
1	Всего зачетных единиц (кредитов)	5
2	Всего часов	180
3	Всего занятий в контактной форме, час.	84
4	Лекции, час.	36
5	Практические занятия, час.	36
6	Лабораторные занятия, час.	0
7	из них в активной и интерактивной форме, час.	10
8	Аттестация, час.	2
9	Консультации, час.	10
10	Самостоятельная работа, час.	96
11	Виды самостоятельной работы (курсовой проект, курсовая работа, РГЗ, подготовка к контрольной работе)	контр.
12	Вид аттестации	ДЗ

Рабочая программа составлена на основании федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению (специальности): 18.03.01 Химическая технология

ФГОС введен в действие приказом №1005 от 11.08.2016 г. , дата утверждения: 29.08.2016 г.

Место дисциплины в структуре учебного плана: Блок 1, вариативная, по выбору студента

Рабочая программа разработана на основе компетентностной модели выпускника по направлению (специальности): 18.03.01 Химическая технология

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

ХХТ, протокол заседания кафедры №2/1 от 20.06.2017

Утверждена на совете механико-технологического факультета, протокол № 5 от 21.06.2017

Программу разработал:

, д.х.н. Уваров Н. Ф.

Заведующий кафедрой:

д.х.н. Уваров Н. Ф.

Ответственный за образовательную программу:

доцент Апарнев А. И.

1. Внешние требования

Таблица 1.1

Компетенция ФГОС: ПК.19 готовность использовать знания основных физических теорий для решения возникающих физических задач, самостоятельного приобретения физических знаний, для понимания принципов работы приборов и устройств, в том числе выходящих за пределы компетентности конкретного направления; в части следующих результатов обучения:	
34. знать физическую химию идеального кристалла: геометрию кристаллической решетки; элементы точечной симметрии; физические свойства кристаллов, определяемые их симметрией: скалярные, векторные, тензорные; физическую химию реального кристалла: классификацию дефектов структуры кристалла; взаимодействие дефектов в кристалле, явления переноса в кристаллах с дефектами: диффузию; влияние дефектов на кинетику твердофазных процессов; основные принципы и методики физико-химического анализа состава, строения и свойств твердо-фазных материалов;	
у3. уметь описывать физическими уравнениями процессы, определяющие кинетику гетерогенных реакций и взаимодействия материалов с реагентами; пользоваться современными методами контроля процессов синтеза твердых веществ с заданными электрофизическими свойствами;	

2. Требования НГТУ к результатам освоения дисциплины

Таблица 2.1

Результаты изучения дисциплины по уровням освоения (иметь представление, знать, уметь, владеть)	Формы организации занятий
<i>Химия твердого тела</i>	
ПК.19.34 знать физическую химию идеального кристалла: геометрию кристаллической решетки; элементы точечной симметрии; физические свойства кристаллов, определяемые их симметрией: скалярные, векторные, тензорные; физическую химию реального кристалла: классификацию дефектов структуры кристалла; взаимодействие дефектов в кристалле, явления переноса в кристаллах с дефектами: диффузию; влияние дефектов на кинетику твердофазных процессов; основные принципы и методики физико-химического анализа состава, строения и свойств твердо-фазных материалов;	
1.знать физическую химию идеального кристалла: геометрию кристаллической решетки; элементы точечной симметрии, физические свойства кристаллов, определяемые их симметрией: скалярные, векторные, тензорные	Практические занятия; Самостоятельная работа
2.знать кристаллохимические аспекты строения кристаллов	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
3.знать физическую химию реального кристалла: классификацию дефектов структуры кристалла; взаимодействие дефектов в кристалле, явления переноса в кристаллах с дефектами	Практические занятия; Самостоятельная работа
4.знать механизмы влияния дефектов на кинетику твердофазных процессов	Практические занятия; Самостоятельная работа
5.знать физико-химические методы исследования материалов	Практические занятия; Самостоятельная работа
ПК.19.у3 уметь описывать физическими уравнениями процессы, определяющие кинетику гетерогенных реакций и взаимодействия материалов с реагентами; пользоваться современными методами контроля процессов синтеза твердых веществ с заданными электрофизическими свойствами;	
6.уметь пользоваться современными методами исследования физико-химических свойств твердых веществ	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
7.уметь рассчитывать энергию дефектообразования, концентрацию термодинамических дефектов;	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа

8.уметь описывать физическими уравнениями процессы, определяющие кинетику гетерогенных реакций и взаимодействия материалов с реагентами;	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
9.владеть методами контроля технологических процессов получения твердых веществ;.	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа

3. Содержание и структура учебной дисциплины

Таблица 3.1

Темы лекций	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения
Семестр: 5			
Дидактическая единица: Основы кристаллохимии			
1. Симметрия кристаллов. Описание кристаллических структур	0	6	2
2. Устойчивость кристаллических структур.	0	4	2
3. Рентгеноструктурный анализ. Расшифровка рентгенограмм.	0	6	2
Дидактическая единица: Дефекты в кристаллах			
4. Точечные дефекты в кристаллах. Изоморфизм	0	6	7
5. Электронные дефекты. Нестехиометрия.	0	4	2, 7
Дидактическая единица: Процессы переноса и кинетика твердофазных реакций			
6. Процессы диффузии и ионного переноса	0	4	2, 8
7. Кинетика твердофазных реакций	0	6	6, 7, 9

Таблица 3.2

Темы практических занятий	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 5				
Дидактическая единица: Основы кристаллохимии				
1. Симметрия кристаллов. Описание кристаллических структур	0	6	1, 2	ознакомление с основами теории симметрии, определение точечных и пространственных групп симметрии молекул и кристаллов.
2. Устойчивость кристаллических структур	0	4	1, 2	определение типов кристаллических структур, плоскостей, пределов стабильности структур в зависимости от размеров ионов, анализ изменения симметрии при деформации кристаллической решетки
3. Рентгеноструктурный анализ. Расшифровка рентгенограмм	6	8	1, 2	анализ порошковых рентгенограмм, полученных от различных веществ, определение параметра кристаллической решетки и фазового состава смесей

Дидактическая единица: Дефекты в кристаллах				
4. Точечные дефекты в кристаллах. Изоморфизм	0	6	2, 3	определение типа и концентрации точечных дефектов в кристаллах, оценка возможности введения примесей в кристалл.
12. Электронные дефекты. Нестехиометрия.	0	4	3, 7, 8, 9	расчет концентрации электронных и ионных дефектов в нестехиометрических кристаллах, оценка влияния давления или активности газового компонента, находящегося в контакте с веществом, на его стехиометрию.
Дидактическая единица: Процессы переноса и кинетика твердофазных реакций				
12. Процессы диффузии и ионного переноса	0	4	3, 4	расчет коэффициентов диффузии в кристаллах из различных экспериментальных данных
13. Контроль кинетики и механизмов твердофазных реакций	4	4	4, 5, 6, 8, 9	оценка влияния температуры, давления паров, измельчения и допирования на кинетику твердофазных реакций.

Таблица 3.3

Темы для самостоятельного изучения	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 5				
Дидактическая единица: Основы кристаллохимии				
1. Изучение модельных структур кристаллических материалов	0	22	2	ознакомление с различными типами кристаллических структур, определение их симметрии, плотности, возможности изоморфного замещения и изменения симметрии при деформации различного типа.
Дидактическая единица: Дефекты в кристаллах				
2. Расчет квазихимических равновесий между дефектами	0	31	3, 7, 9	расчет значений концентрации дефектов с помощью уравнений реакций квазихимического равновесия между дефектами в чистых и допированных кристаллах.
Дидактическая единица: Процессы переноса и кинетика твердофазных реакций				
3. Прикладная химия твердого тела	0	30	4	ознакомление с твердофазными процессами, применяемыми в промышленности для изготовления новых веществ и материалов.

4. Самостоятельная работа обучающегося

№	Виды самостоятельной работы	Ссылки на результаты обучения	Часы на выполнение	Часы на консультации
Семестр: 5				
1	Контрольные работы	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	5	2
: Кнотько А. В. Химия твердого тела : учебное пособие [по специальности 020101 (011000) "Химия"] / А. В. Кнотько, И. А. Пресняков, Ю. Д. Третьяков. - М., 2006. - 301, [1] с. : ил.				
2	Подготовка к аттестации	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	8	0
: Кнотько А. В. Химия твердого тела : учебное пособие [по специальности 020101 (011000) "Химия"] / А. В. Кнотько, И. А. Пресняков, Ю. Д. Третьяков. - М., 2006. - 301, [1] с. : ил.				
3	Самостоятельное изучение теоретического материала	2, 3, 4, 7, 9	91	8
Студент изучает темы, приведенные в таблице 3.3 : Кнотько А. В. Химия твердого тела : учебное пособие [по специальности 020101 (011000) "Химия"] / А. В. Кнотько, И. А. Пресняков, Ю. Д. Третьяков. - М., 2006. - 301, [1] с. : ил.				

5. Технология обучения

Для организации и контроля самостоятельной работы обучающихся, а также проведения консультаций применяются информационно-коммуникационные технологии (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Деятельность	Информационно-коммуникационные технологии
Информирование	e-mail; Среда электронного обучения НГТУ
Консультирование	e-mail

Таблица 5.2

Активные и интерактивные формы проведения занятий

№	Наименование активных форм	Коды формируемых компетенций
1	Дискуссия	ПК.19;
Формируемые умения: 34. знать физическую химию идеального кристалла: геометрию кристаллической решетки; элементы точечной симметрии; физические свойства кристаллов, определяемые их симметрией: скалярные, векторные, тензорные; физическую химию реального кристалла: классификацию дефектов структуры кристалла; взаимодействие дефектов в кристалле, явления переноса в кристаллах с дефектами: диффузию; влияние дефектов на кинетику твердофазных процессов; основные принципы и методики физико-химического анализа состава, строения и свойств твердо-фазных материалов; ; у3. уметь описывать физическими уравнениями процессы, определяющие кинетику гетерогенных реакций и взаимодействия материалов с реагентами; пользоваться современными методами контроля процессов синтеза твердых веществ с заданными электрофизическими свойствами;		
Краткое описание применения: На практических занятиях обсуждение в группах теоретических вопросов и практических задач		
Подробная информация об использовании технологии приводится в "Кнотько А. В. Химия твердого тела : учебное пособие [по специальности 020101 (011000) "Химия"] / А. В. Кнотько, И. А. Пресняков, Ю. Д. Третьяков. - М., 2006. - 301, [1] с. : ил."		

6. Правила аттестации обучающихся по учебной дисциплине

Для аттестации обучающихся по дисциплине используется балльно-рейтинговая система (БРС), позволяющая выставять оценки по традиционной шкале и 15-уровневой ECTS. Краткая информация о БРС приведена в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Оцениваемые виды деятельности обучающихся	Мин. балл	Максимальный балл
Семестр: 5		
<i>Практические занятия:</i>	36	72
Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Кнотько А. В. Химия твердого тела : учебное пособие [по специальности 020101 (011000) "Химия"] / А. В. Кнотько, И. А. Пресняков, Ю. Д. Третьяков. - М., 2006. - 301, [1] с. : ил."		
<i>Контрольные работы:</i>	4	8
Контролирующие материалы - список вопросов		
<i>Зачет:</i>	10	20
Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Кнотько А. В. Химия твердого тела : учебное пособие [по специальности 020101 (011000) "Химия"] / А. В. Кнотько, И. А. Пресняков, Ю. Д. Третьяков. - М., 2006. - 301, [1] с. : ил."		

В таблице 6.2 представлено соответствие форм контроля заявляемым требованиям к результатам освоения дисциплины.

Таблица 6.2

Коды компетенций ФГОС	Результаты обучения	Формы контроля	
		Контр. раб.	Зачет
ПК.19	34. знать физическую химию идеального кристалла: геометрию кристаллической решетки; элементы точечной симметрии; физические свойства кристаллов, определяемые их симметрией: скалярные, векторные, тензорные; физическую химию реального кристалла: классификацию дефектов структуры кристалла; взаимодействие дефектов в кристалле, явления переноса в кристаллах с дефектами: диффузию; влияние дефектов на кинетику твердофазных процессов; основные принципы и методики физико-химического анализа состава, строения и свойств твердо-фазных материалов;	+	+
	у3. уметь описывать физическими уравнениями процессы, определяющие кинетику гетерогенных реакций и взаимодействия материалов с реагентами; пользоваться современными методами контроля процессов синтеза твердых веществ с заданными электрофизическими свойствами;	+	+

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в приложении № 1 к рабочей программе.

7. Литература

Основная литература

1. Фахльман Б. Д. Химия новых материалов и нанотехнологии : [учебное пособие] / Б. Фахльман ; пер. с англ. Д. О. Чаркина, В. В. Уточниковой ; под ред. Ю. Д. Третьякова, Е. А. Гудилина. - Долгопрудный, 2011. - 463 с., [20] л. ил. : ил., табл.

2. Батаев И. А. Кристаллография. Обозначение и вывод классов симметрии : учебное пособие / И. А. Батаев, А. А. Батаев ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2015. - 57, [2] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000222000

Дополнительная литература

1. Ковтуненко П. В. Физическая химия твердого тела. Кристаллы с дефектами : Учебник для вузов по спец. "Хим. технология материалов и изделий электрон. техники". - М., 1993. - 352 с. : ил.
2. Вест А. Р. Химия твердого тела. Теория и приложения. В 2 ч.. Ч. 2 / А. Вест; пер. с англ. А. Р. Кауля, И. Б. Куценка под ред. Ю. Д. Третьякова. - М., 1988. - 334 с. : ил., схем.
3. Вест А. Р. Химия твердого тела. Теория и приложения. В 2 ч.. Ч. 1 / А. Вест; пер. с англ. А. Р. Кауля, И. Б. Куценка под ред. Ю. Д. Третьякова. - М., 1988. - 555 с. : ил., схем.
4. Синельников Б. М. Физическая химия кристаллов с дефектами : [учебное пособие для вузов по специальностям] / Б. М. Синельников. - М., 2005. - 134, [2] с. : ил.

Интернет-ресурсы

1. Матвиенко А.А. Типовые задачи по химии твердого тела. Дефекты в кристаллах [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / А. А. Матвиенко. - Новосибирск : НГУ, 2011. - 42 с. - Режим доступа: http://htt.nsu.ru/edumaterials/Posobie_Deffecty.pdf. - Загл. с экрана.
2. ЭБС НГТУ : <http://elibrary.nstu.ru/>
3. ЭБС «Издательство Лань» : <https://e.lanbook.com/>
4. ЭБС IPRbooks : <http://www.iprbookshop.ru/>
5. ЭБС "Znanium.com" : <http://znanium.com/>
6. :

8. Методическое и программное обеспечение

8.1 Методическое обеспечение

1. Кнотько А. В. Химия твердого тела : учебное пособие [по специальности 020101 (011000) "Химия"] / А. В. Кнотько, И. А. Пресняков, Ю. Д. Третьяков. - М., 2006. - 301, [1] с. : ил.

8.2 Специализированное программное обеспечение

- 1 Windows
- 2 Office

9. Материально-техническое обеспечение

Компьютерный класс

№	Наименование	Назначение
1	Компьютерный класс (Компьютеры объединены в локальную сеть с выходом в Internet)	Компьютеры объединены в локальную сеть с выходом в Internet

1. Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине Химия твердого тела приведена в Таблице.

Таблица

Формируемые компетенции	Показатели сформированности компетенций (знания, умения, навыки)	Темы	Этапы оценки компетенций	
			Мероприятия текущего контроля (курсовой проект, РГЗ(Р) и др.)	Промежуточная аттестация (зачет)
ПК.19/НИ готовность использовать знания основных физических теорий для решения возникающих физических задач, самостоятельного приобретения физических знаний, для понимания принципов работы приборов и устройств, в том числе выходящих за пределы компетентности конкретного направления	з4. знать физическую химию идеального кристалла: геометрию кристаллической решетки; элементы точечной симметрии; физические свойства кристаллов, определяемые их симметрией: скалярные, векторные, тензорные; физическую химию реального кристалла: классификацию дефектов структуры кристалла; взаимодействие дефектов в кристалле, явления переноса в кристаллах с дефектами: диффузию; влияние дефектов на кинетику твердофазных процессов; основные принципы и методики физико-химического анализа состава, строения и свойств твердо-фазных материалов;	Изучение модельных структур кристаллических материалов Процессы диффузии и ионного переноса Рентгеноструктурный анализ. Расшифровка рентгенограмм. Симметрия кристаллов. Описание кристаллических структур Устойчивость кристаллических структур. Электронные дефекты. Нестехиометрия.	Практические работы, задания 1-3, контрольные работы, вопросы 1,2	Зачет, вопросы 1-15
ПК.19/НИ	у3. уметь описывать физическими уравнениями процессы, определяющие кинетику гетерогенных реакций и взаимодействия материалов с реагентами;	Кинетика твердофазных реакций Процессы диффузии и ионного переноса Расчет квазихимических равновесий между дефектами Точечные дефекты в кристаллах. Изоморфизм Электронные дефекты. Нестехиометрия.	Практические работы, задания 4-6, контрольные работы, вопросы 3-4.	Зачет, вопросы 16-30

	пользоваться современными методами контроля процессов синтеза твердых веществ с заданными электрофизическим и свойствами;			
--	---	--	--	--

2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках дисциплины.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в 5 семестре - в форме дифференцированного зачета, который направлен на оценку сформированности компетенций ПК.19/НИ.

Зачет проводится в устной форме, по билетам. Билеты состояются из вопросов, приведенных в паспорте зачета, позволяющих оценить показатели сформированности соответствующих компетенций

Кроме того, сформированность компетенции проверяется при проведении мероприятий текущего контроля, указанных в таблице раздела 1.

В 5 семестре обязательным этапом текущей аттестации является контрольная работа. Требования к выполнению контрольной работы, состав и правила оценки сформулированы в паспорте контрольной работы.

Общие правила выставления оценки по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе учебной дисциплины.

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенции ПК.19/НИ, за которые отвечает дисциплина, на разных уровнях.

Общая характеристика уровней освоения компетенций.

Ниже порогового. Уровень выполнения работ не отвечает большинству основных требований сформированности компетенции ПК.19/НИ, теоретическое содержание курса освоено частично, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы не достаточно, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнены или выполнены с существенными ошибками. Оценка составляет менее 50 баллов.

Пороговый. Уровень выполнения работ отвечает большинству основных требований сформированности компетенции ПК.19/НИ, теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые виды заданий выполнены с ошибками. Оценка составляет 50-73 баллов.

Базовый. Уровень выполнения работ отвечает всем основным требованиям сформированности компетенции ПК.19/НИ, теоретическое содержание курса освоено полностью, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки. Оценка составляет 74-86 баллов.

Продвинутый. Уровень выполнения работ отвечает всем требованиям сформированности компетенции ПК.19/НИ, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному. Оценка составляет 87-100 баллов.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»
Кафедра химии и химической технологии

Паспорт зачета

по дисциплине «Химия твердого тела», 5 семестр

1. Методика оценки

Зачет проводится в устной форме, по билетам. Билет содержит 4 вопроса и формируется по следующему правилу: первый вопрос выбирается из диапазона вопросов 1-7, и относится к дидактической единице «Основы кристаллохимии», второй и третий вопросы выбираются из диапазона вопросов 8-23 и относятся к дидактической единице «Дефекты в кристаллах», и последний вопрос относится к дидактической единице «Процессы переноса и кинетика твердофазных реакций» (вопросы 24-30). Общий список вопросов приведен ниже. Правильный ответ на каждый вопрос билета для зачета оценивается оценкой, не превышающей 5 балла. Максимальное число баллов за билет равно 20. В ходе зачета преподаватель вправе задавать студенту дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4).

Форма билета для зачета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет МТФ

Билет № _____
к зачету по дисциплине «Химия твердого тела»

1. Когда используются для описания симметрии точечные группы симметрии, а в каких случаях - пространственные группы симметрии?
2. Что такое плотнейшая упаковка? Какие типы плотнейших упаковок существуют? Как они образуются?
3. Выведите выражение для закона Вульфа - Брэгга.
4. Что такое индукционный период твердофазной реакции и какова причина появления индукционного периода?

Утверждаю: зав. кафедрой _____ зав. кафедрой, Уваров Н.Ф.
(подпись) (дата)

- Ответ на билет для зачета считается **неудовлетворительным**, если он не отвечает большинству требований формируемых компетенции ПК.19/НИ, студент при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, не способен показать

причинно-следственные связи явлений, у него не сформированы необходимые практические навыки работы с требуемым материалом, оценка составляет *менее 10 баллов*.

- Ответ на билет для зачета засчитывается на **пороговом** уровне, если он отвечает большинству требований формируемых компетенции ПК.19/НИ, студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, может показать причинно-следственные связи явлений, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, некоторые виды заданий выполнены с ошибками, оценка оставляет *10-13 баллов*.
- Ответ на билет для зачета засчитывается на **базовом** уровне, если он отвечает большинству требований формируемых компетенции ПК.19/НИ, студент при ответе на вопросы формулирует основные понятия, содержание курса освоено полностью и лишь некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, оценка составляет *14-17 баллов*.
- Ответ на билет для зачета засчитывается на **продвинутом** уровне, если он отвечает большинству требований формируемых компетенции ПК.19/НИ, студент при ответе на вопросы проводит сравнительный комплексный анализ подходов, выявляет проблемы, предлагает механизмы решения, содержание курса освоено полностью, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены без ошибок, оценка составляет *18-20 баллов*.

2. Шкала оценки

Зачет считается сданным, если средняя сумма баллов по всем заданиям составляет не менее 10 баллов. В общей оценке по дисциплине баллы за экзамен учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины. Соотношение баллов за текущую и промежуточную аттестации составляют 80:20. Количество баллов, полученное в результате промежуточной аттестации (минимум 10 баллов, максимум 20 баллов), суммируется с баллами, полученными за текущую аттестацию (минимум 40 баллов, максимум 80 баллов), по общей сумме которых выставляется общая оценка по дисциплине. Соответствие баллов с традиционной оценкой и оценкой ECTS представлено в таблице ниже.

98-100	93-97	90-92	87-89	83-86	80-82	77-79	73-76	70-72	67-69	63-66	60-62	50-59	25-49	0-24
A+	A	A-	B+	B	B-	C+	C	C-	D+	D	D-	E	FX	F
отлично				хорошо				удовлетворительно				неудовлетворительно		

3. Вопросы к зачету по дисциплине «Химия твердого тела»

1. Когда используются для описания симметрии точечные группы симметрии, а в каких случаях - пространственные группы симметрии?
2. Изобразите элементарную ячейку с объемноцентрированной решеткой Браве типа А?

3. Что такое плотнейшая упаковка? Какие типы плотнейших упаковок существуют? Как они образуются?
4. Выведите выражение для закона Вульфа - Брэгга.
5. Определите число и индексы рефлексов, которые будут наблюдаться на порошковой дифрактограмме, снятой с использованием излучения с $\lambda = 1.54 \text{ \AA}$ от вещества, имеющего структурный тип ZnS (сфалерит) и параметр ячейки $3.444 \text{ \AA}$. Какое излучение следует использовать, чтобы прописать большее число рефлексов?
6. Основной закон симметрии кристаллов гласит: «В кристаллах невозможны оси симметрии ... порядков»
а) 5-го и выше 6-го б) 6-го и ниже 5-го в) 5-го г) 6-го
7. Дифрактограмма соединения $\text{Na}_{0.8}\text{WO}_3$ (кубическая сингония), полученная на $\text{Cu K}\alpha$ -излучении ($1.54 \text{ \AA}$), содержит рефлексы на следующих углах Θ : 11.6 ; 16.57 ; 20.38 ; 23.71 ; 26.71 ; 29.5 ; 34.65° . Проиндицируйте эти рефлексы и рассчитайте параметры элементарной ячейки.
8. Рассчитайте процент заполнения в кубической плотнейшей упаковке?
9. Рассчитайте процент заполнения в плотноупакованной примитивной кубической решетке?
10. Рассчитайте процент заполнения в плотноупакованной объемноцентрированной кубической решетке?
11. Рассчитайте процент заполнения в гексагональной плотнейшей упаковке?
12. Какие кристаллографические сингонии существуют? Перечислите метрики элементарной ячейки для каждой из них.
13. Связь между параметрами ячейки и межплоскостными расстояниями в зависимости от сингонии на примере кубической, ромбической и тетрагональной сингоний.
14. Чем отличаются дефекты Шоттки от дефектов Френкеля? Как доказать, что в кристалле превалируют дефекты Шоттки, а не дефекты Френкеля и наоборот?
15. Чем отличаются точечные дефекты в ионных соединениях от точечных дефектов в металлах или молекулярных кристаллах?
16. Как выбрать вещество, при растворении которого в диоксиде циркония будут образовываться дефекты нужного типа, например, анионные вакансии?
17. Какие соединения необходимо ввести в ионный кристалл, чтобы увеличить концентрацию катионных или анионных вакансий?
18. Что такое нестехиометрия и в каких случаях она возникает?
19. Как изменяется степень нестехиометрии δ оксида $\text{M}_{1-\delta}\text{O}$ от парциального давления кислорода над оксидом?
20. Как изменяются концентрации электронов и дырок в оксиде $\text{M}_{1-\delta}\text{O}$ при изменении парциального давления кислорода над оксидом?
21. Как изменяются концентрации электронов и дырок в оксиде $\text{M}_{1-\delta}\text{O}$ при изменении парциального давления металла над оксидом?
22. Влияют ли точечные дефекты на самодиффузию и каким образом?
23. Как ускорить или замедлить рост пленки оксида на металле при окислении?

24. Объясните природу эффекта Киркендаля и взаимосвязь между эффектами Киркендаля и Френкеля.
25. Как ускорить процессы спекания керамики?
26. Как оценить характерное время спекания ионного соединения при заданном значении коэффициентов диффузии катиона и аниона.
27. Назовите возможные механизмы спекания смесей двух веществ.
28. В каких случаях реакция будет контролироваться процессами зародышеобразования, а в каких – процессами диффузии?
29. Что такое индукционный период твердофазной реакции и какова причина появления индукционного периода?
30. Влияют ли добавки жидкой фазы на протекание химических реакций? Если да, то в каких случаях и за счет каких факторов?

Паспорт контрольной работы

по дисциплине «Химия твердого тела», 5 семестр

1. Методика оценки

При выполнении контрольной работы по дисциплине «Химия твердого тела» студенты должны провести расчеты характеристик кристаллов.

Контрольная работа проводится письменно и включает 2 задания. Варианты работы прилагаются ниже.

Обязательные этапы выполнения контрольной работы:

1. Выписать все необходимые исходные данные для расчета.
2. Выписать все формулы, необходимые для расчета с объяснением физического смысла параметров, входящих в уравнения.
3. Провести расчеты.
4. Написать краткий вывод, с ответами на вопросы, поставленные в задании.

Задание должно быть представлено на листе формата А4 с указанием фамилии студента и номера группы.

Оцениваемыми позициями за контрольную работу являются:

1. Аккуратность оформления (1 балл)
2. Наличие выписанных исходных данных для расчета (1 балл).
3. Наличие и правильность написания всех формул для расчета (1 балл).
4. Правильность расчетов (4 балла)
5. Наличие краткого вывода с ответами на вопросы, поставленные в задании (1 балл)

За выполнение контрольной работы студент может получить максимальную оценку 8 баллов.

Критерии оценки

- Контрольная работа считается **не выполненной**, если студент допустил неаккуратности в оформлении работы, не выписал исходные данные, не провел расчеты или допустил при расчетах грубые ошибки, не привел краткого вывода с ответами на вопрос, оценка составляет *менее 4 балла*
- Каждое задание считается выполненным **на пороговом** уровне, если студент допустил неаккуратности в оформлении работы, не выписал исходные данные, но провел расчеты с незначительными ошибками, не привел краткого вывода с ответами на вопрос, оценка составляет, оценка составляет *4-5 баллов*
- Каждое задание считается выполненным **на базовом** уровне, если студент аккуратно оформил работу, частично выписал исходные данные, провел расчеты в целом без ошибок, но допустил мелкие неточности, привел краткий вывод с ответами на вопрос, оценка составляет, оценка составляет *6-7 баллов*
- Каждое задание считается выполненным **на продвинутом** уровне, если студент аккуратно оформил работу, выписал исходные данные, провел расчеты без ошибок, привел вывод с подробными ответами на вопрос, оценка составляет *8 баллов*

2. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за контрольную работу учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

3. Варианты контрольной работы

Вариант 1.

1. Предложить и нарисовать объект, удовлетворяющий операциям симметрии 2^2m . На рисунке показать элементы симметрии.
2. Оцените значения коэффициентов самодиффузии катионов и анионов в NaCl при 1000K, если коэффициенты диффузии катионной и анионной вакансии составляют 10^{-8} и 10^{-10} см²/с, а энергия образования дефектов Шоттки равна 2.4 эВ.

Вариант 2

1. Указать, какие операции симметрии являются закрытыми, а какие – открытыми: m , 2 , C , 3 , 7 , $\bar{2}$
2. Предложите, как минимум, два химических способа увеличения дырочной проводимости в соединении $MmOn$. Напишите квазихимические уравнения для соответствующих процессов.

Вариант 3

1. Определить элементы симметрии, которым удовлетворяет геометрическая фигура в виде шестиугольной звезды.
2. Какие дефекты будут преобладать в диоксиде циркония, допированном оксидом кальция в концентрации 0.1моль.%, если энергия образования дефектов анти-Френкеля в ZrO_2 равна 3.1. эВ?

Вариант 4

1. Нарисовать плоскость (111) в моноклинной элементарной решетке с параметрами a , b , c и определить соответствующее межплоскостное расстояние.
2. Рассчитать численное значение концентрации собственных дефектов при температуре 1000 K, если энергия образования дефектов равна 1 эВ.

Вариант 5

1. Какое межплоскостное расстояние больше: для плоскости (111) или (200) в тетрагональной элементарной ячейке?
2. Дано базовое соединение, оксид $MmOn$ с собственной дефектностью по Шоттки. Написать выражение для температурной зависимости концентрации собственных дефектов в этом оксиде, если энергия образования собственных дефектов равна E_0 .

Вариант 6

1. Межплоскостное расстояние для плоскости (211) в кубической решетке равно 2.156 Å. Определить параметр кристаллической решетки.
2. Написать квазихимическое уравнение растворения оксида кальция в диоксиде циркония. Чистый диоксид циркония разупорядочен по анти-Френкелю.

Вариант 7

1. Какая ячейка Браве получится при растяжении примитивной кубической вдоль оси симметрии 4-го порядка?
2. Определить, как изменится плотность вольфрама при растворении 5 моль. % лития, если атомные радиусы W и Li равны 1.93 и 1.67 Å, соответственно? Считать, что образуются твердые растворы внедрения, причем заполнение пустот определяется правилом Полинга.

Вариант 8

1. Предложить два химических способа увеличения параметра кристаллической решетки NaCl, пользуясь таблицей ионных радиусов.
2. Сколько рефлексов будет наблюдаться на дифрактограмме меди (ГЦК решетка, параметр $a = 1.28 \text{ Å}$), если для съемки используется излучение $K\alpha$ Cr с длиной волны $\lambda = 2.28962 \text{ Å}$, а дифрактометр позволяет проводить измерения в диапазоне углов 2-70 град.

Комплект заданий для практических работ

по дисциплине «Химия твердого тела»
(наименование дисциплины)

Методика оценки

За выполнение каждого задания для практических работ студент может получить максимальную оценку 12 баллов. Оценивается правильность и аккуратность оформления отчета (2 баллов), правильность химических расчетов (8 балла), ответы на дополнительные вопросы по работе при ее сдаче преподавателю (2 балла). Общее количество заданий в семестре - 6. Список заданий и дополнительных вопросов приведен ниже.

Критерии оценки задания

- Каждое задание считается **не выполненным**, если студент не провел синтез, расчеты или допустил при расчетах существенные неточности, не проанализировал продукт, не ответил на дополнительные вопросы, оценка составляет *менее 6 баллов*
- Каждое задание считается выполненным **на пороговом** уровне, если студент провел синтез, но допустил несущественные неточности, не проанализировал продукт, неточно ответил на дополнительные вопросы, оценка составляет *6-7 баллов*
- Каждое задание считается выполненным **на базовом** уровне, если студент правильно провел синтез и расчеты, проанализировал решения, но неточно ответил на дополнительные вопросы, оценка составляет *8-9 баллов*
- Каждое задание считается выполненным **на продвинутом** уровне, если студент провел синтез и расчеты, проанализировал продукт и успешно объяснил и представил полученные данные, ответил на все дополнительные вопросы, оценка составляет *10-12 баллов*

Критерии текущего контроля

- Программа практических работ считается **не выполненной**, если студент не выполнил все задания, оценка составляет *менее 36 баллов*.
- Программа практических работ считается выполненным **на пороговом** уровне, если студент выполнил все задания, при этом суммарное количество баллов равно *36-47 баллов*.
- Программа практических работ считается выполненным **на базовом** уровне, если студент выполнил все задания, при этом суммарное количество баллов равно *48-60 баллов*.
- Программа практических работ считается выполненным **на продвинутом** уровне, если студент выполнил все задания, при этом суммарное количество баллов равно *61-72 баллов*.

В общей оценке по дисциплине баллы за лабораторные работы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины. Количество баллов, полученное за выполнение практических работ (минимум 36 баллов, максимум 72 балла) суммируется с баллами, полученными за выполнение контрольных работ (минимум 4 максимум - 8 баллов) и по итогам зачета (минимум 10 максимум – 20 баллов).

Список заданий для практических работ

Задание 1

1. Определить и нарисовать все элементы симметрии объектов конечных размеров (столбец 1). Предложить точечную группу симметрии. Что нужно, чтобы понизить или увеличить симметрию фигуры?

2. Даны кристаллические решетки (столбец 2). Построить графически плоскости, обозначенные индексами Миллера в столбце 3.

	1	2	3
№	фигура	Решетка Браве	h, k, l
1	кубик	Триклинная (P)	(1,1,1) (0,1,-1)
2	прямоугольник	Моноклинная (P)	(1,2,0) (0,1,-2)
3	кубик с отверстием*	Моноклинная (C)	(1,1,1) (2,-1,-1)
4	прямоугольный параллелепипед с квадратом в основании	Ромбическая (P)	(2,0,1) (0,1,-1)
5	цилиндр	Ромбическая (C)	(0,3,1) (0,1,1)
6	цилиндр с отверстием *	Ромбическая (I)	(1,1,0) (2,1,-1)
7	шестигранник	Ромбическая (F)	(-1,-1,1) (0,3,-2)
8	прямоугольная призма с 5-угольником в основании	Тетрагональная (P)	(1,0,1) (4,1,-1)
9	конус	Тетрагональная (I)	(2,1,2) (0,1,-2)
10	шар с двумя отверстиями**	Кубическая (P)	(1,2,3) (0,-1,-2)
11	морская звезда	Кубическая (I)	(1,0,2) (0,1,-2)
12	шестигранная гайка	Кубическая (F)	(2,2,1) (0,1,-3)
13	равносторонний крест	Ромбическая (I)	(1,1,1) (0,1,-1)
14	тетраэдр	Ромбическая (F)	(1,1,2) (1,1,-1)
15	октаэдр с отверстием*	Тетрагональная (P)	(-1,3,3) (3,1,-2)

* отверстие сквозное, проходит от центра одной грани до центра противоположной через середину фигуры.

** отверстия сквозные, проходят через центр шара, угол между направлениями отверстий 90°

Задание 2.

1. Найти ячейку Браве максимальной симметрии для нестандартных ячеек решетки, приведенных в столбце (2). Определить параметры найденных стандартных решеток из значений исходных параметров.

2. Определить, какие решетки Браве получаются при деформации, описанной в столбце 3.

	2	3
№	Нестандартные решетки	Тип деформации
1	куб с двумя парами противоположных центрированных граней	кубической объемноцентрированной ячейки вдоль тройной оси
2	тетрагональная призма с центрированными гранями	тетрагональной примитивной ячейки вдоль двойной оси

	основания	
3	тетрагональная призма со всеми центрированными гранями	кубической гранецентрированной ячейки вдоль тройной оси
4	тетрагональная призма с парой противоположных центрированных боковых граней	кубической объемноцентрированной ячейки вдоль двойной оси
5	прямая призма с основанием в виде ромба	кубической гранецентрированной ячейки вдоль двойной оси
6	прямая призма с центрированным ромбическим основанием	гексагональной примитивной ячейки вдоль двойной оси
7	прямоугольный параллелепипед с двумя парами противоположных центрированных граней	тетрагональной объемноцентрированной ячейки вдоль двойной оси
8	тетрагональная призма с центрированными боковыми гранями	кубической объемноцентрированной ячейки вдоль тройной оси
9	тетрагональная призма со всеми центрированными гранями	тетрагональной примитивной ячейки вдоль двойной оси
10	тетрагональная призма с центрированными основаниями	кубической гранецентрированной ячейки вдоль тройной оси
11	прямая призма с основанием в виде ромба	кубической объемноцентрированной ячейки вдоль двойной оси
12	прямая призма с центрированным ромбическим основанием	кубической гранецентрированной ячейки вдоль двойной оси
13	объемноцентрированный куб с двумя парами противоположных центрированных граней	гексагональной примитивной ячейки вдоль двойной оси
14	объемноцентрированная тетрагональная призма с центрированными гранями основания	тетрагональной объемноцентрированной ячейки вдоль двойной оси
15	прямая призма с основанием в виде ромба	кубической гранецентрированной ячейки одновременно вдоль двойной оси и вдоль тройной оси

Задание 3.

1. Определить относительную плотность упаковки кристаллической решетки соединения состава AB_n , если атомы более крупного размера (с размером $r_1 = 1$) занимают узлы плотноупакованной ГЦК решетки, а более мелкие атомы распределены по тетраэдрическим или октаэдрическим пустотам в соответствии с первым правилом Полинга. Значения n и радиуса мелкого атома, r_2 , приведены в столбцах 1 и 2, соответственно.

2. Найти координаты атомов В, ближайшее расстояние между ними в кристаллической ячейке, индексы Миллера плоскостей, в которых лежат ближайшие 3 атома В.

3. Пользуясь таблицей ионных радиусов (см. приложение) и первым правилом Полинга, определите, в каких положениях кристаллической решетки структурного типа, указанного в столбце 3, будут расположены ионы, указанные в столбце 4.

4. Среди ионов, указанных в столбце (5), укажите наиболее подходящие заместители. С помощью таблицы ионных радиусов (см. Приложение) выберите еще два заместителя, введением которых в решетку можно увеличить или уменьшить объем элементарной ячейки.

	1	2	3	4	5
№	n	r2	тип решетки	Ионы решетки	Ионы-заместители
1	1	0.25	Шпинель (AB ₂ O ₄)	Cl ⁻ , Li ⁺ , Zn ²⁺	Br ⁻ , Ag ⁺ , Mn ²⁺
2	2	0.20	Перовскит (ABO ₃)	O ²⁻ , Sr ²⁺ , Ti ⁴⁺	O ²⁻ , Ca ²⁺ , Zr ⁴⁺
3	3	0.15	Галит NaCl (AB)	Cl ⁻ , Li ⁺	F ⁻ , Na ⁺
4	1	0.40	Сфалерит ZnS (AB)	Se ²⁻ , Cu ²⁺	S ²⁻ , Ni ²⁺
5	2	0.20	CsCl (AB)	Rb ⁺ , NO ₃ ⁻	Cs ⁺ , NO ₂ ⁻
6	3	0.20	Флюорит CaF ₂ (AB ₂)	F ⁻ , Sr ²⁺	Cl ⁻ , Ca ²⁺
7	1	0.50	Вюртцит ZnS (AB)	Ag ⁺ , I ⁻	Rb ⁺ , Br ⁻
8	2	0.19	Шпинель (AB ₂ O ₄)	O ²⁻ , Mn ²⁺ , Cr ³⁺	O ²⁻ , Fe ²⁺ , Fe ³⁺
9	3	0.18	Перовскит (ABO ₃)	O ²⁻ , Bi ³⁺ , Fe ³⁺	O ²⁻ , La ³⁺ , Ga ³⁺
10	1	0.60	Галит NaCl (AB)	Br ⁻ , NH ₄ ⁺	Cl ⁻ , Cs ⁺
11	2	0.21	Сфалерит ZnS (AB)	S ²⁻ , Cd ²⁺	Te ²⁻ , Zn ²⁺
12	3	0.17	CsCl (AB)	Ag ⁺ , I ⁻	Li ⁺ , Br ⁻
13	1	0.55	Флюорит CaF ₂ (AB ₂)	Sr ²⁺ , Cl ⁻	Ba ²⁺ , F ⁻
14	2	0.18	Перовскит (ABO ₃)	Ba ²⁺ , Zr ⁴⁺ , O ²⁻	Sr ²⁺ , Sn ⁴⁺ , O ²⁻
15	3	0.17	Шпинель (AB ₂ O ₄)	O ²⁻ , Fe ³⁺ , Zn ²⁺	O ²⁻ , Al ³⁺ , Ni ²⁺

Задание 4

1. Дана экспериментальная порошковая рентгенограмма (записана в отдельном файле). Зная, что кристалл имеет кубическую элементарную решетку,

- идентифицировать все рефлексы на рентгенограмме,
- выяснить тип кристаллической ячейки,
- рассчитать ее параметр.

По справочным данным и с учетом дополнительной информации, указанной преподавателем, определить, что это за вещество.

2. Дана рентгенограмма продукта взаимодействия двух веществ. Преподаватель сообщает частичную информацию о системе.

- С помощью программы Search-Match и с учетом того, что реакция прошла не полностью, определить, что это за процесс и какой реагент был взят в избытке.
- По формуле Дебая-Шеррера оценить размер частиц продукта реакции.

Задание 5

1. Дано базовое соединение M_mX_n (столбец 1) с собственной дефектностью по Шоттки, Френкелю или анти-Френкелю (указано в столбце (2)). Необходимо:

- написать выражение для температурной зависимости концентрации собственных дефектов в соединении M_mX_n, если энергия образования собственных дефектов равна E₀;
- рассчитать численное значение концентрации собственных дефектов при температуре 1000K, для значения E₀, приведенного в столбце (3).

2. Написать:

- квазихимическое уравнение растворения вещества B_yX_z (столбец 4) в

соединении M_mX_n (столбец 1) в концентрации, приведенной в столбце (5).

- какие дефекты будут преобладать в этом растворе при 1000K: собственные или примесные?

- предложите, два химических способа увеличения дырочной проводимости в соединении M_mX_n . Напишите квазихимические уравнения для соответствующих процессов.

	1	2	3	4	5
№	M_mX_n	Дефектность	E_0 , кДж/моль	B_yX_z	Мольная доля B_yX_z
1	KCl	Шоттки	270	Na ₂ O	$2 \cdot 10^{-5}$
2	CaF ₂	анти-Френкель	310	LaF ₃	$3 \cdot 10^{-7}$
3	LaF ₃	анти-Френкель	280	CdF ₂	$5 \cdot 10^{-6}$
4	MgO	Шоттки	410	Li ₂ O	$2 \cdot 10^{-7}$
5	CdI ₂	Шоттки	220	BiI ₃	$1 \cdot 10^{-4}$
6	AgBr	Френкель	150	Ag ₂ S	$3 \cdot 10^{-4}$
7	Al ₂ O ₃	Шоттки	320	TiO ₂	$5 \cdot 10^{-5}$
8	PbF ₂	анти-Френкель	100	PbO	$4 \cdot 10^{-3}$
9	SrCl ₂	анти-Френкель	110	SnCl ₄	$3 \cdot 10^{-3}$
10	NaI	Шоттки	130	AlI ₃	$2 \cdot 10^{-3}$
11	CuCl	Френкель	120	CuCl ₂	$1 \cdot 10^{-3}$
12	AgI	Френкель	70	ZnI ₂	$6 \cdot 10^{-3}$
13	ZnO	Френкель	140	ZnF ₂	$2 \cdot 10^{-4}$
14	SnO ₂	Шоттки	290	SnF ₂	$6 \cdot 10^{-5}$
15	BaF ₂	анти-Френкель	130	LaF ₃	$4 \cdot 10^{-4}$

Задание 6

1. Поверхность металла М (столбец 1) окисляется кислородом или парами халькогена (указано в столбце 2) при нагревании с образованием пленки оксида или халькогенида состава, указанного в столбце (3). Образующаяся пленка обладает смешанной электронно-ионной проводимостью, вклады и тип ионной (σ_i) и электронной (дырочной) (σ_e) проводимости приведены в столбцах (4) и (5). Определить:

- коэффициент химической диффузии ионов через пленку оксида. Написать уравнение квазихимической реакции образования дефектов, обуславливающих диффузию ионов;

- константу скорости окисления металла при диффузионно-контролируемом росте пленки;

- предложить методы снижения и увеличения скорости роста пленки.

	1	2	3	4	5
№	М	Окислитель	Состав пленки	σ_i , См/см	σ_e , См/см
1	Ti	O ₂	TiO ₂	анионы $2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$
2	Al	O ₂	Al ₂ O ₃	анионы $3 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-7}$
3	La	S	La ₂ S ₃	анионы $5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$
4	Mg	O ₂	MgO	катионы $2 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-7}$
5	Cu	S	CuS	катионы $1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
6	Ag	S	Ag ₂ S	катионы $3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$
7	Nb	O ₂	NbO ₂	анионы $5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$
8	Ta	O ₂	Ta ₂ O ₅	анионы $4 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$
9	Ag	Se	Ag ₂ Se	катионы $3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$

10	Cu	O ₂	Cu ₂ O	катионы 2·10 ⁻³	2·10 ⁻³
11	Sn	O ₂	SnO ₂	анионы 1·10 ⁻³	1·10 ⁻³
12	Zn	S	ZnS	катионы 6·10 ⁻³	6·10 ⁻³
13	Zr	O ₂	ZrO ₂	анионы 2·10 ⁻⁴	2·10 ⁻⁴
14	Bi	O ₂	Bi ₂ O ₃	анионы 6·10 ⁻⁵	6·10 ⁻⁵
15	Ag	Te	Ag ₂ Te	катионы 4·10 ⁻⁴	4·10 ⁻⁴