

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

Химический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Декан химического факультета, Акад.

РАН, профессор



/С.Н.Калмыков/

«30» августа 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
направленной на подготовку к сдаче кандидатского экзамена по специальности

Химия твердого тела

Solid state chemistry

Уровень высшего образования

Программа подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре
(104-01-00-1415-хн)

Москва 2022

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с Требованиями к основным программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, самостоятельно устанавливаемыми Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова (приказ №1216 от 24 ноября 2021 г.) и паспортом научной специальности 1.4.15 "Химия твердого тела"

1. Краткая аннотация:

Название дисциплины – Химия твердого тела

Цель изучения дисциплины – подготовка аспирантов к сдаче экзамена кандидатского минимума по специальности 1.4.15 Химия твердого тела, как высококвалифицированных специалистов, обладающих фундаментальными знаниями в области современной химии твердого тела, имеющих современное представление об основных закономерностях кристаллического и электронного строения, реакционной способности и превращений твердофазных веществ и материалов. Слушатели, имевших ранее приближенные представления о химии твердого тела как предмете, должны изучить методы синтеза, строение, свойства и реакционную способность твердофазных веществ и материалов – кристаллических, аморфных, гетерофазных систем, низкоразмерных систем; у них должны сформироваться подходы к разработке и созданию методов синтеза твердофазных соединений и материалов, в том числе, наноразмерных и наноструктурированных. Слушателей ознакомят с фундаментальными основами методов получения кристаллических и аморфных неорганических и органических соединений, гетерофазных систем и материалов, включая наноструктурирование; подходами к изучению твердофазных химических реакций, их механизмов, кинетики и термодинамики, в том числе зародышеобразования и химических реакций на границе раздела твердых фаз; методами описания структуры и динамики дефектов, структуры и свойств поверхности и границ раздела фаз; основами квантовохимического описания периодических структур и предсказания строения и свойств твердофазных соединений и композиций; фундаментальными принципами современных экспериментальных методов установления закономерностей «состав – структура – свойство» для твердофазных соединений и материалов.

2. Уровень высшего образования – подготовка кадров высшей квалификации.

3. Научная специальность: 1.4.15 Химия твердого тела, область науки: 1. Естественные науки

4. Место дисциплины (модуля) в структуре Программы аспирантуры: Дисциплины (модули), направленные на подготовку к кандидатским экзаменам - курс по специальности. Дисциплина может быть прослушана факультативно.

5. Объем дисциплины (модуля) составляет 3 зачетные единицы, всего 108 часов, из которых 80 часов составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (72 часа занятия лекционного типа, 6 часов групповые консультации, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 28 часов составляет самостоятельная работа аспиранта.

6. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия.

На предыдущих уровнях высшего образования должны быть освоены общие курсы:

1. «Математический анализ»,
2. «Неорганическая химия»,
3. «Кристаллохимия»,
4. «Физика»,
5. «Физическая химия»
6. «Основы квантовой механики»,
7. «Квантовая химия и строение молекул».

7. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам:

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	в том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка к коллоквиумам	Всего
Тема 1. Пространственное и электронное строение твердых веществ (п.4,5,11 Паспорта специальности).	48	12		1			13			4
Тема 2. Реальная структура кристаллов (п.9,10 Паспорта специальности)	26	10		1			11			4
Тема 3. Фазовые переходы в твердых веществах (п.3,9 Паспорта специальности)	26	10		1			11			2
Тема 4. Химические реакции твердых веществ (п.3,6,8 Паспорта специальности)	8	14		1			15			4
Тема 5. Методы синтеза твердых веществ (п.1,2 Паспорта специальности)	8	14		1			15			4
Тема 6. Твердофазные материалы (п.1,2,7,8 Паспорта специальности)	8	12		1			13			4
Промежуточная аттестация: зачет	8					2	2			6
Итого	108	72		6		2	80			28

Содержание блоков

Тема 1. Пространственное и электронное строение твердых веществ.

Атомно-ковалентные, ионные и молекулярные вещества. Металлы и сплавы, интерметаллические соединения. Роль водородных связей и ван-дер-Ваальсовых взаимодействий. Супрамолекулярные вещества. Наиболее важные структурные типы (NaCl, CsCl, ZnS, CaF₂, Na₂O, NiS, CdI₂, TiO₂). Структурные типы перовскита и шпинели. Представления о структурах силикатов и алюмосиликатов. Полиэдрическое описание кристаллических структур. Изоморфизм. Политипизм. Соединения внедрения и клатраты. Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания. Нестехиометрические соединения. Структура аморфных твердых тел. Функция радиального распределения. Факторы, влияющие на стеклообразование. Топология сочленения структурных единиц на примере кварцевого стекла. Квазикристаллы. Несоразмерные структуры. Жидкие кристаллы.

Ионная модель строения кристаллов, константа Маделунга. Цикл Борна-Габера и термохимические расчеты. Основы теории поля лигандов применительно к твердым телам. Энергия стабилизации кристаллическим полем и катионное распределение. Эффект Яна-Теллера. Эффект неподеленных электронных пар. Зонная структура кристаллов. Уровень Ферми. Химический потенциал. Заполненность зон, ее влияние на электрофизические свойства кристаллов. Металлы и диэлектрики. Собственные и примесные полупроводники. Электронная и дырочная проводимость. Общие представления о методах расчета электронной структуры кристаллов. Кластерная и зонная модели. Границы применимости зонной модели. Особенности расчетов периодических кристаллических структур. Уровень теории, типы базисных функций. Особенности представления кристаллических тел: «маффин-тин сферы». Приближение сильной и слабой связи. Цепочечные структуры и одномерная проводимость. Двумерные проводники и интеркаляты. Пайерлсовское искажение. Слабые невалентные взаимодействия в твердых супрамолекулярных образованиях. Наноструктуры, объемные кластеры.

Тема 2. Реальная структура кристаллов.

Совершенные и несовершенные кристаллы. Электронные дефекты. Собственные точечные дефекты. Термодинамические причины образования точечных дефектов. Примесные точечные дефекты. Нейтральные и заряженные точечные дефекты.

Квазихимическая модель описания равновесия точечных дефектов. Взаимодействие точечных дефектов. Влияние точечных дефектов на свойства неорганических веществ. Методы создания неравновесных концентраций точечных дефектов. Подвижность точечных дефектов. Диффузия и самодиффузия, основные механизмы самодиффузии. Коэффициент диффузии, энергия активации диффузии. Диффузия точечных дефектов в электрическом поле. Уравнение Нернста-Эйнштейна. Ионная проводимость, ее температурная зависимость. Собственная и примесная проводимость. Суперионные проводники (твердые электролиты).

Протяженные дефекты. Структуры кристаллографического сдвига. Дефекты упаковки. Границы блоков и антифазные домены (границы). Гетерогенные включения. Нейтральные и заряженные протяженные дефекты. Дислокации в кристаллах. Движение дислокаций. Влияние дислокаций на свойства кристаллов. Поверхность как дефект строения твердого тела. Поверхностная энергия кристалла. Искажение структуры и электронного строения в приповерхностных слоях. Роль поверхности в химических реакциях твердых тел. Роль соотношения объем-поверхность в свойствах твердых тел. Общие особенности химии твердых наноразмерных частиц. Экспериментальные методы изучения поверхности.

Тема 3. Фазовые переходы в твердых веществах.

Термодинамическая классификация фазовых переходов. Стабильные и метастабильные фазы. Представление фазовых переходов на диаграммах состояния. Структурные изменения при фазовых переходах. Изменения структуры с ростом температуры и давления. Мартенситные превращения.

Механизмы фазовых переходов. Кинетика фазовых переходов. Скорость зародышеобразования. Общая скорость превращения, уравнение Авраами. Факторы, влияющие на кинетику фазовых переходов. Мартенситные превращения. Переходы типа порядок-беспорядок. Несоразмерные фазы. Жидкокристаллическое состояние. Некристаллическое состояние и фазовые переходы в стеклах.

Тема 4. Химические реакции твердых веществ.

Термодинамические оценки возможности прохождения химических реакций с участием твердых тел. Скорость гетерогенных химических процессов с участием твердых тел. Элементарные кинетические стадии процессов. Роль массопереноса. Процессы, лимитируемые диффузионными и кинетическими стадиями. Роль зародышеобразования. Критическое пересыщение, критический размер зародыша. Кинетика образования и роста зародышей. Классификация химических гетерогенных процессов с участием твердых фаз. Термическое разложение твердых фаз с образованием продуктов в различных фазовых состояниях. Распад твердых растворов по спинодальному механизму и механизму роста зародышей. Реакции твердая фаза - твердая фаза, твердая фаза - газ, твердая фаза – жидкость, примеры и кинетические особенности процессов в каждом случае. Основные факторы, влияющие на реакционную способность твердых тел. Роль примесей и дефектов. Химические реакции на поверхности. Методы управления развитием процессов с участием твердых тел. Нетермические способы повышения реакционной способности твердых тел: фотохимические, радиационно-химические, механические и др.

Тема 5. Методы синтеза твердых веществ.

Термодинамические основы синтеза твердых веществ. Основные типы фазовых диаграмм двухкомпонентных систем: с простой эвтектикой, с образованием конгруэнтно и инконгруэнтно плавящихся промежуточных соединений, с расслаиванием в жидкой фазе, с неограниченными и ограниченными твердыми растворами, с полиморфизмом компонентов и соединений. Диаграммы трехкомпонентных систем. Фазовые равновесия в субсолидусной области. Использование фазовых диаграмм для выбора условий синтеза. Синтез путем твердофазных реакций. Экспериментальное осуществление, роль температуры. Методы интенсификации твердофазных процессов. Соосаждение компонентов из растворов. Криохимический синтез и распылительная сушка. Кристаллизация из гелей. Золь-гель процесс. Механохимическое стимулирование твердофазных процессов. Основные закономерности и возможности механохимических процессов. Саморазвивающийся высокотемпературный синтез. Твердофазный синтез при высоких давлениях. Кристаллизация из растворов и расплавов. Основные кинетические закономерности. Возможность образования метастабильных фаз. Политермические и изотермические процессы синтеза. Экспериментальное оформление. Методы электрохимического синтеза.

Кристаллизация из паровой фазы. Процессы сублимации-конденсации. Управление составом внутри области гомогенности отжигом в паре компонентов. Синтез и очистка веществ с помощью химических транспортных реакций в паровой фазе. Гидротермальные методы синтеза твердых веществ. Применение различных физических (ультразвукового, микроволнового и др.) воздействий при синтезе твердофазных веществ. Выращивание монокристаллов из расплавов и растворов. Методы Чохральского и Бриджмена- Стокбаргера. Зонная плавка. Рост из «раствора в расплаве». Выращивание из газовой фазы. Газоплазменный метод Вернейля.

Получение твердых веществ в виде тонких слоев и пленок. Поликристаллические и эпитаксиальные пленки. Физические методы: лазерная абляция, магнетронное распыление, электронно-лучевое испарение. Химическое осаждение из паровой фазы, использование гидридов, галогенидов, металлоорганических соединений. Метод молекулярного наслаивания. Получение пленок из растворов и расплавов. Жидкофазная эпитаксия. Электрохимическая кристаллизация пленок и покрытий. Керамика, способы спекания. Получение твердых аморфных веществ и стекол. Методы получения твердых веществ в наноразмерном состоянии.

Тема 6. Твердофазные материалы.

Классификация твердофазных материалов по функциональным свойствам. Твердые электролиты. Суперионные проводники. Катионные проводники. Кислород-ионные проводники. Галогенид-ионные проводники. Элементарные полупроводники, германий и кремний. Полупроводниковые соединения A_3B_5 и A_2B_6 , их кристаллохимические особенности. Химические основы легирования полупроводников. Гетероструктуры и сверхрешетки. Диэлектрики. Наведенная и спонтанная поляризация. Сегнетоэлектрики, пирозэлектрики и пьезоэлектрики, области применения. Классификация магнитных материалов (металлы и сплавы, оксиды переходных металлов, шпинели, гранаты, перовскиты, гексаферриты), взаимосвязь структуры и свойств. Материалы с эффектом гигантского (ГМС) и колоссального (КМС) магнитного сопротивления. Оптические материалы. Люминесцентные материалы и люминофоры. Фосфоресцирующие материалы. Твердотельные источники лазерного излучения. Нелинейные оптические материалы. Сверхпроводящие материалы. Традиционные (металлы и интерметаллиды) и высокотемпературные (оксиды) сверхпроводники. Взаимосвязь состав- структура-свойство для высокотемпературных сверхпроводников на основе купратов. Жаропрочные и жаростойкие. Металлы и сплавы, оксиды, карбиды, бориды, нитриды, силициды. Композиционные материалы, их классификация и методология создания. Металлсодержащие композиционные материалы. Аморфные материалы и стекла. Оксидные и халькогенидные стекла. Электропроводящие стекла. Металлические стекла. Стеклокерамика. Ситаллы. Жидкие кристаллы. Органические функциональные материалы. Биоматериалы.

8. Образовательные технологии.

Проводятся традиционные лекции с использованием мультимедийных презентаций.

9. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы по дисциплине (модулю):

Аспирантам предоставляется программа курса, план занятий и перечень заданий для самостоятельной работы. По теме каждой лекции указывается материал в источниках из списков основной и вспомогательной литературы, а также из интернет-ресурсов.

10. Ресурсное обеспечение:

Основная литература

1. А.В. Кнотько, И.А. Пресняков, Ю.Д. Третьяков. Химия твердого тела. М.: Академия, 2006.
2. Ю.Д.Третьяков, В.И. Путляев. Введение в химию твердофазных материалов. М.: Наука, 2006.
3. А. Вест. Химия твердого тела. Теория и приложения. В 2 частях. М.: Мир, 1988.
4. Ч.Н.Р. Рао, Дж. Гопалакришнан. Новые направления в химии твердого тела. Новосибирск, 1990.-520 с.
5. Р. Драго. Физические методы в химии. М.: Мир, 1981.
6. В.И. Фистуль. Физика и химия твердого тела. М.: 1995. т.1 -480с., т.2 -320с.
7. В.Г. Цирельсон. Квантовая химия. Молекулы, молекулярные системы и твердые тела. М.: Бином, 2012.

Дополнительная литература

1. И.П. Суздаев. НАНОТЕХНОЛОГИЯ. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. М.: 2005.
2. В. Б. Фенелонов. Введение в физическую химию формирования супрамолекулярной структуры адсорбентов и катализаторов. Новосибирск, 2002.
3. А.А. Елисеев, А.В. Лукашин. Функциональные наноматериалы. М.:Физматлит, 2010
4. А.И. Гусев. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М.:Физматлит, 2009
5. А. Уэллс. Структурная неорганическая химия М.: Мир, тт.1-3, 1987- 1988 гг.
6. П.В. Ковтуненко. Физическая химия твердого тела. Кристаллы с дефектами. М.:1993.-352с.
7. В.Н.Чеботин. Физическая химия твердого тела. М.: «Химия», 1982.
8. В.М. Смирнов. Химия наноструктур. Синтез, строение, свойства. СПб.:1996.105с.
9. В.А. Губанов, Э.З. Курмаев, А.Л. Ивановский. Квантовая химия твердого тела. М.: 1984. -304с.
10. А.В. Бандура, Р.А. Эварестов. Неэмпирические расчеты кристаллов в атомном базисе с использованием интернет-сайтов и параллельных вычислений. С-Пб., Изд-во СПбГУ, 2004.
11. А. Фельц. Аморфные и стеклообразные неорганические твердые тела. М.: 1986.- 558с.
12. Ф. Крегер. Химия несовершенных кристаллов. М.:Мир, 1969.

Перечень используемых информационных технологий

- Справочные системы: NISTChemistryWebbook (<http://webbook.nist.gov/chemistry/>),
- БД «Термические константы веществ» (<http://www.chem.msu.ru/cgi-bin/tkv.pl?show=welcome.html/welcome.html>)

Описание материально-технической базы

Занятия проводятся в аудитории, оснащенной доской и оборудованием для демонстрации презентаций

11. Язык преподавания – русский

12. Преподаватели:

д.х.н., профессор Дунаев Сергей Федорович, dunaev@general.chem.msu.ru

д.х.н., доцент Клямкин Семен Нисонович, klyamkin@highp.chem.msu.ru

д.ф.-м.н., доцент Ионов Сергей Геннадьевич, ionov@highp.chem.msu.ru

д.х.н., в.н.с. Кузнецов Алексей Николаевич, alexei@inorg.chem.msu.ru

Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

Образцы домашних заданий:

Большинство домашних заданий ориентированы лишь на усвоение лекционного материала по темам спецкурса, например:

- Дайте полиэдрическое описание структурного типа флюорита.
- Какова роль дислокаций в механических свойствах материала?
- Какие кинетические уравнения описывают скорость твердофазной реакции, лимитированную диффузией?

Вопросы к зачету

Темы 1, 2

1. Полиэдрическое описание структурных типов каменной соли и хлорида цезия.
2. Примеры и кристаллохимические предпосылки политипизма.
3. Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания.
4. Функция радиального распределения, ее получение и интерпретация.
5. Топология сочленения структурных единиц на примере кварцевого стекла.
6. Несоразмерные структуры, их классификация и примеры.
7. Принципы формирования квазикристаллической структуры, примеры.
8. Энергия стабилизации кристаллическим полем и катионное распределение.
9. Эффект Яна-Теллера, примеры проявления.
10. Зонная структура кристаллов.
11. Уровень Ферми. Химический потенциал.
12. Металлы и диэлектрики. Валентная зона, запрещенная зона, зона проводимости.
13. Собственные и примесные полупроводники. Электронная и дырочная проводимость.
14. Общие представления о методах расчета электронной структуры кристаллов.
15. Цепочечные структуры и одномерная проводимость. Пайерлсовское искажение.
16. Собственные и примесные точечные дефекты.
17. Термодинамические причины образования собственных точечных дефектов.
18. Взаимодействие точечных дефектов. Ассоциаты дефектов.
19. Диффузия и самодиффузия в твердых телах. Основные механизмы самодиффузии.
20. Коэффициент диффузии, энергия активации диффузии. Диффузия, обусловленная градиентом концентраций, законы Фика.
21. Температурная зависимость ионной проводимости. Суперионные проводники.
22. Протяженные дефекты. Структуры кристаллографического сдвига. Дефекты упаковки.
23. Дислокации в кристаллах, основные виды. Причины их возникновения. Движение дислокаций.

Темы 3, 4

1. Термодинамическая классификация фазовых переходов.
2. Стабильные и метастабильные фазы.
3. Представление фазовых переходов на диаграммах состояния.
4. Изменения структуры с ростом температуры и давления.
5. Мартенситные превращения.
6. Примеры механизмов фазовых переходов.
7. Термодинамические оценки возможности прохождения химических реакций с участием твердых тел.
8. Элементарные кинетические стадии твердотельных реакций.
9. Кинетика реакций, лимитируемых зародышеобразованием.
10. Термодинамика формирования новой фазы.
11. Кинетика реакций, лимитируемых диффузией.
12. Термическое разложение твердых фаз с образованием продуктов в различных фазовых состояниях.
13. Распад твердых растворов по спинодальному механизму
14. Распад твердых растворов по механизму роста зародышей.

15. Реакции твердая фаза - твердая фаза, твердая фаза - газ, твердая фаза - жидкость. Кинетические особенности процессов в каждом случае.
16. Температурная зависимость скорости твердофазных реакций в различных случаях.
17. Основные факторы, влияющие на реакционную способность твердых тел. Роль примесей и дефектов.
18. Химические реакции на поверхности.
19. Нетермические способы повышения реакционной способности твердых тел

Темы 5, 6

1. Термодинамические основы синтеза твердых веществ. Работа с проекциями и сечениями Р-Т-х диаграмм.
2. Методы интенсификации твердофазных процессов: диспергирование исходных веществ, методы химической гомогенизации.
3. Криохимический синтез и распылительная сушка.
4. Кристаллизация из гелей. Золь-гель процесс.
5. Механохимическое стимулирование твердофазных процессов.
6. Саморазвивающийся высокотемпературный твердотельный синтез.
7. Кристаллизация из растворов и расплавов. Кривые растворимости.
8. Кристаллизация из паровой фазы. Процессы сублимации-конденсации.
9. Синтез и очистка веществ с помощью химических транспортных реакций в паровой фазе.
10. Гидротермальные методы синтеза твердых веществ.
11. Выращивание монокристаллов из расплавов и растворов. Зонная плавка.
12. Физические методы получения твердых веществ в виде тонких слоев и пленок.
13. Получение пленок из растворов и расплавов.
14. Керамика. Основные закономерности и способы спекания.
15. Методы получения твердых фаз в наноразмерном состоянии.
16. Твердые электролиты: суперионные проводники, катионные проводники, кислород-ионные проводники, галогенид-ионные проводники.
17. Элементарные полупроводники, германий и кремний.
18. Полупроводниковые соединения A_3B_5 и A_2B_6
19. Сегнетоэлектрики, пьезоэлектрики и пьезоэлектрики.
20. Классификация магнитных материалов, основные структуры и свойства. Функциональные параметры магнитных материалов.
21. Магнитные материалы с эффектом гигантского (ГМС) и колоссального (КМС) магнитного сопротивления.
22. Люминесцентные материалы и люминофоры. Фосфоресцирующие материалы.
23. Традиционные сверхпроводящие материалы, металлы и интерметаллиды.
24. Высокотемпературные сверхпроводники на основе купратов.
25. Жаропрочные и жаростойкие материалы: металлы, интерметаллиды, оксиды, карбиды, бориды и силициды.
26. Металлсодержащие композиционные материалы.
27. Электропроводящие стекла. Металлические стекла. Стеклокерамика. Ситаллы.
28. Органические функциональные материалы. Биоматериалы.

Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Зачет проходит по билетам, каждый из которых включает три теоретических вопроса: один по темам 1-2, второй по темам 3-4, третий по темам 5-6. Уровень знаний аспиранта оценивается по каждому вопросу на «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». В случае, если на все вопросы был дан ответ, оцененный не ниже, чем «удовлетворительно», аспирант получает общую оценку «зачтено» и допускается к сдаче кандидатского экзамена.

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)				
Оценка Результат	Незачёт (2)	Зачёт (3)	Зачёт (4)	Зачёт (5)
Знания	Отсутствие базовых знаний о современных концепциях и законах химии твердого тела	Общие, но неглубокие знания о современных концепциях и законах химии твердого тела, содержащие пробелы	Общие, но не структурированные знания о современных концепциях и законах химии твердого тела	Сформированные систематические знания о современных концепциях и законах химии твердого тела
Умения	Отсутствие умения применять знания о современном состоянии химии твердого тела для решения научных задач	В целом успешное, но не систематическое умение применять знания о современном состоянии химии твердого тела для решения научных задач	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять знания о современном состоянии химии твердого тела для решения научных задач (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение применять знания о современном состоянии химии твердого тела для решения научных задач
Навыки (владения)	Отсутствие навыков прогнозирования путей твердотельного синтеза	Наличие навыков прогнозирования путей твердотельного синтеза, не всегда верно используемых	В целом, сформированные навыки прогнозирования путей твердотельного синтеза, но не в активной форме	Сформированные навыки прогнозирования путей твердотельного синтеза, применяемые при решении задач