

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФГАОУ ВО "Новосибирский национальный  
исследовательский государственный университет"**

**Факультет естественных наук**

**УТВЕРЖДАЮ**



Декан ФЕН НГУ, профессор

Резников В.А.

«29» августа 2014 г.

**Физические методы исследования твердых тел**

Курс 1-й магистратуры, 1 семестр

Учебно-методический комплекс

Направление подготовки  
**020100 Химия (магистр)**

Форма обучения  
**Очная**

Новосибирск 2014

Учебно-методический комплекс предназначен для студентов 1 курса магистратуры факультета естественных наук, направление подготовки 020100 «Химия (магистр)». В состав пособия включены: программа курса лекций, структура курса и примеры вопросов, предлагаемых на экзаменах.

Составители:

Уваров Н. Ф., проф., Матейшина Ю. Г., ст. преп.

© Новосибирский государственный университет, 2014

## Содержание

Аннотация рабочей программы	4
<b>1. Цели освоения дисциплины</b>	<b>5</b>
<b>2. Место дисциплины в структуре ООП</b>	<b>5</b>
<b>3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины</b>	<b>6</b>
<b>4. Структура и содержание дисциплины</b>	<b>7</b>
<b>5. Образовательные технологии</b>	<b>11</b>
<b>6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины</b>	<b>12</b>
<b>7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины</b>	<b>14</b>
<b>8. Материально-техническое обеспечение дисциплины</b>	<b>16</b>

## **Аннотация рабочей программы**

Дисциплина «Физические методы исследования твердых тел» относится к вариативной части профессионального (специального) цикла ООП по направлению подготовки «020100 ХИМИЯ» (квалификация (степень) магистр). Дисциплина реализуется на Факультете естественных наук Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Новосибирский национальный исследовательский государственный университет" (НГУ) кафедрой химии твердого тела.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с применением современных физических методов исследования для решения фундаментальных и практических задач химии твердого тела.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника общекультурных компетенций: ОК-6; профессиональных компетенций: ПК-1, ПК-2, ПК-3.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, консультации, сдача экзамена, самостоятельная работа студента.

Программой предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль. В течение семестра по мере ознакомления с лекционным материалом студентам предлагаются вопросы, относящиеся к применению конкретных физико-химических методов для задач химии твердого тела. В результате преподаватель предварительно оценивает уровень подготовки студента в баллах.

Итоговый контроль (промежуточная аттестация). Итоговую оценку за семестр студент получает на устном экзамене в конце семестра. На экзамене, проводимом в форме конференции, студенту предлагается детально описать и обсудить методы исследования, использованные в научной статье, выданной студенту для предварительного ознакомления. Итоговая оценка ставится с учетом работы студента в течение семестра, а также в соответствии с уровнем понимания студентом сути работы, умения не только описать экспериментальные методы, изложенные в статье, но и предложить дополнительные физические методы исследования.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы. Всего 72 академических часа. Программой дисциплины предусмотрены 36 часов лекционных, 30 часов самостоятельной работы студентов, 4 часа на консультации и 2 часа на проведение экзамена.

## 1. Цели освоения дисциплины

Дисциплина «Физические методы исследования твердых тел» предназначена для формирования у студентов целостного представления об объектах и методах исследования в области химии твердого тела. Студенты будут ознакомлены с современными методами исследования твердых тел, такими как: различные виды микроскопии (сканирующая зондовая, электронная), оптические, рентгеновские методы исследования и др., а также с возможностями интерпретации информации, которую можно получить при помощи этих методов. В курсе кратко изложены основные теоретические положения рассматриваемых вопросов, демонстрируется практическая значимость получаемых знаний на примере современных достижений в области химии твердого тела.

Основной целью освоения дисциплины является освоение современных физических методов исследования для решения фундаментальных и практических задач химии твердого тела.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Физические методы исследования в химии твердого тела» относится к вариативной части (профильные дисциплины) профессионального (специального) цикла ООП по направлению подготовки «020100 ХИМИЯ», уровень подготовки – «магистр».

Дисциплина «Физические методы исследования в химии твердого тела» опирается на следующие дисциплины данной ООП по направлению подготовки «020100 ХИМИЯ», уровень подготовки – «бакалавр»:

- Физическая химия (строение и свойства атома, природа химической связи, химическая реакция, понятия о кинетике и термодинамике реакций, кислотно-основные равновесия);
- Неорганическая химия (строение и свойства атомов, строение молекул, химическая связь);
- Основы компьютерной грамотности (навыки обращения с ПК);
- Аналитическая химия (химические равновесия, органические соединения как лиганды);
- Химия твердого тела;
- Строение вещества;

- Общая химическая технология.

Результаты освоения дисциплины «Физические методы исследования твердых тел» используются в следующих дисциплинах данной ООП:

- Научно-исследовательская практика;
- Итоговая государственная аттестация.

### **3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины:**

- **общекультурные компетенции:**
  - *владение современными компьютерными технологиями, понимание принципов работы и умение работать на современных научных приборах и оборудовании при проведении научных исследований (ОК-6).*
- **профессиональные компетенции:**
  - *наличие представления об актуальных направлениях исследований в современной теоретической и экспериментальной химии (синтез и применение веществ в наноструктурных технологиях, исследования в критических условиях, химия жизненных процессов, химия и экология и другие) (ПК-1);*
  - *знание основных этапов и закономерностей развития химической науки, понимание объективной необходимости возникновения новых направлений, наличие представления о системе фундаментальных химических понятий и методологических аспектов химии, форм и методов научного познания, их роли в общеобразовательной профессиональной подготовке химиков (ПК-2);*
  - *владение теорией и навыками практической работы в избранной области химии (в соответствии с профильной направленностью магистерской диссертации) (ПК-3)*

### **В результате освоения дисциплины обучающийся должен:**

- иметь представление о современных физических методах исследования, применяемых в химии твердого тела; о физических принципах, на которых основаны эти методы;

- знать о том, какие физические методы могут быть использованы при решении конкретных задач химии твердого тела, их преимущества и ограничения;
- уметь грамотно интерпретировать экспериментальные результаты, полученные с использованием различных физических методов, обоснованно выбирать наиболее подходящие методы для исследования физико-химических свойств реагентов и продуктов твердофазных реакций, для изучения кинетики твердофазных реакций, для исследования пространственного распределения реагентов и продуктов, их структуры и микроструктуры.

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы. Программой дисциплины предусмотрены 36 часов лекционных, а также 30 часов самостоятельной работы студентов плюс часы на консультации и экзамен.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр		Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)								Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)	
		Неделя семестра	Лекция	Семинарские занятия	Лабор. работа	Контр. работа	Коллоквиумы	Домашние задания	Самост. работа	Консультация	Экзамен		
1	Введение. Общие понятия. Исследование механических, акустических свойств	1	1-3	6						1			
2	Методы исследования тепловых и термических свойств.	1	4	2						1			Контрольные вопросы
3	Методы исследования термических и механических	1	5-6	4						1	1		Контрольные вопросы

	свойств												
4	Методы исследования барических и термобарических свойств.	1	7	2						1			Контрольные вопросы
5	Методы исследования оптических свойств (Микроскопия).	1	8-9	4						1			Контрольные вопросы
6	Методы исследования дифракционных свойств	1	10	2						1	1		Контрольные вопросы
7	Методы исследования оптических свойств.	1	11-13	6						1			Контрольные вопросы
8	Методы исследования транспортных и электрических свойств	1	14-15	4						1			Контрольные вопросы
9	Методы исследования магнитных свойств	1	16	2						1	1		Контрольные вопросы
10	Прочие методы исследования	1	17-18	4						1			Контрольные вопросы
										20	1	2	<b>Экзамен</b>
	<b>Итого:</b>			<b>36</b>						<b>30</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	

### Программа курса лекций

1. *Введение. Общие понятия. Исследование механических, акустических свойств.* Дается краткое описание основных методов измерения и исследования механических и акустических свойств. Рассмотрены примеры получаемой информации и особенности ее интерпретации для наиболее практически значимых и распространенных методов исследования

2. *Методы исследования тепловых и термических свойств.* Описаны основы методов термического анализа, термографии, пирометрии, калориметрии, дифференциального термического анализа (ДТА) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Приводится описание и интерпретация в доступной форме практически значимых результатов, которые можно получить при исполь-



зовании этих методов. Приведены схемы устройств и экспериментов. Особое внимание уделено определению таких свойств твердых тел как теплопроводность и теплоемкость. Возможности применения вышеперечисленных методов продемонстрированы на примере новейших работ, выполненных как в ведущих международных исследовательских центрах, так и в Институтах СО РАН.

3. *Методы исследования термических и механических свойств.* Рассмотрены физические принципы, характер получаемой информации и особенности ее интерпретации для наиболее распространенных методов исследования термических и механических свойств. На примере метода термогравиметрии показано, как количественно можно определить энтальпии химических и физических превращений, изучить фазовые переходы, происходящие в твердом теле при плавлении, перестройке кристаллической структуры, кипении, возгонке и испарении.

4. *Методы исследования барических и термобарических свойств.* Приведена общая схема проведения барических и термобарических исследований при различных давлениях с использованием самого современного оборудования. Рассмотрены основные принципы, лежащие в основе методов исследования барических и термобарических свойств. Проведено сравнение представленных методов. Рассмотрены основные методы, которые можно использовать в совокупности с вышеописанными для получения дополнительной информации.

5. *Методы исследования оптических свойств (Микроскопия).* Введены основные понятия оптической микроскопии: законы геометрической оптики, где используются эффекты отражения, преломления, поглощения и рассеяния света. Определена область использования оптической микроскопии: для изучения морфологии кристаллов, реагентов, продуктов; исследования дефектов (точечных, линейных); исследования границ раздела фаз и непосредственно (*in situ*) наблюдения за кинетикой протекания различных процессов (химических реакций, фазовых переходов, и т.д.). Особое внимание уделено методам, в которых используются другие источники помимо видимого света: УФ – излучение (люминесцентная микроскопия, обладающая высокой чувствительностью), ИК- и КР – излучение. Приведены краткие характеристики и сравнение таких методов как электронная микроскопия, ионная микроскопия, атом-

ная силовая микроскопия, поляризационная микроскопия, сканирующая туннельная микроскопия и др. Приведены возможности применения вышеперечисленных методов на примере новейших работ, выполненных как в ведущих международных исследовательских центрах, так и в Институтах СО РАН.

6. *Методы исследования дифракционных свойств.* Рассмотрены основы методов рентгеновской дифракции, в которых в качестве источника дифракции можно использовать не только электромагнитные волны, но и электроны и нейтроны. Рассмотрены основные физические принципы, лежащие в основе дифракционных методов исследования. Дано краткое описание методам: Лауэ, с использованием камеры Гинье, Дебая-Шеррера. Приведено описание особенностей установок, которые используются для реализации этих экспериментов. Дан сравнительный анализ результатов, получаемых при помощи этих методов, и указаны возможности использования дифракционных методов в том или ином случае. Дополнительно охарактеризованы такие методы, как малоугловое рассеяние, дифракция с использованием синхротронного излучения и приведены их возможности. Приведено описание для таких методов как EXAFS, электронография, нейтронография и указаны возможности использования этих методов.

7. *Методы исследования оптических свойств.* Рассмотрены основные явления, происходящие при поглощении света веществом: поглощение, отражение, испускание. Рассмотрены физические основы методов исследования оптических свойств. Подробно охарактеризованы основные и практически используемые методы исследования: рентгеновская спектроскопия, Оже-спектроскопия, спектроскопия ультрафиолетового (УФ-спектроскопия) и видимого света, колебательная ИК- и КР-спектроскопия, инфракрасная спектроскопия, микроволновая и диэлектрическая спектроскопия. Приведены краткие характеристики установок. Приведен сравнительный анализ результатов и определены области использования этих методов.

8. *Методы исследования транспортных и электрических свойств.* Введены основные понятия: массоперенос, внутренняя диффузия, самодиффузия, поверхностная диффузия. Рассмотрены основные диффузионные механизмы и уравнения диффузии, диффузия невзаимодействующих атомов за счет градиента concentra-

ций и поверхностная диффузия атомных кластеров и островков. Приведены краткое описание и физические основы контактных и безконтактных методов исследования: метода кондуктометрии, Губандта, потенциометрии и других. На примерах показаны возможности этих методов.

*9. Методы исследования магнитных свойств.* Дано объяснение возникновения магнитных свойств у твердых тел. Введены основные понятия: намагниченность, магнитная проницаемость и восприимчивость, магнитный момент. Указаны два типа методов магнитных измерений: стационарные (магнитного взвешивания Гауи и Фарадея) и резонансные (электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), ядерного магнитного резонанса (ЯМР) и ядерного гамма – резонанса (ЯГР, мессбауэровской спектроскопии)) и приведены их краткие характеристики. Приведен краткий анализ результатов, полученных с использованием этих методов.

*10. Прочие методы исследования.* Рассмотрены методы определения плотности керамических образцов, пористости материалов, в частности продуктов реакции. Указаны способы определения размера частиц с помощью рентгеновской дифракции, малоуглового рассеяния, фотонно-корреляционной спектроскопии и лазерного рассеяния. Описаны адсорбционные методы определения удельной поверхности и распределения пор по размерам.

Формы организации учебного процесса: лекции, контрольные вопросы, самостоятельная работа студента, консультации, экзамен.

## **5. Образовательные технологии**

Виды/формы образовательных технологий. Отличительной особенностью курса является применение в нем кроме лекций проведения контрольных опросов. Каждая лекция начинается с опроса, результат которого может существенным образом повлиять на итоговую оценку студента. Обратная связь обеспечивается тем, что опрос ведет сам лектор, поэтому он может оперативно скорректировать лекционный курс в зависимости от полученных результатов в усвоении материала. Опросы происходят в форме дискуссии преподавателя со студентами (аналог «круглого стола», преподавателю в котором отводится роль ведущего), в ходе которых каждый из участников – студенты или преподаватель имеют право задавать вопросы и участвовать в выработке альтернативных решений разби-

раемых проблем. Таким образом, на всех лекционных занятиях реализуется интерактивная форма обучения. В результате преподаватель предварительно оценивает уровень подготовки и активности студента в баллах.

Итоговую оценку за семестр студент получает на устном экзамене в конце семестра. Экзамен проводится в форме конференции: студенту предлагается детально описать и обсудить методы исследования, использованные в научной статье, выданной студенту для предварительного ознакомления. Итоговая оценка ставится с учетом работы студента в течение семестра, а также в соответствии с уровнем понимания студентом сути работы, умения не только описать экспериментальные методы, изложенные в статье, но и предложить дополнительные физические методы исследования.

#### **6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**

При прохождении курса студенты получают баллы, набранные баллы суммируются и учитываются при выставлении итоговой оценки на экзамене таким образом, чтобы суммарное количество баллов, полученных в течение семестра, составляло 1/3 от наибольшего количества баллов, которое может набрать студент на итоговом экзамене. Экзамен, проводится в форме конференции, студенту предлагается детально описать и обсудить методы исследования, использованные в научной статье, выданной студенту для предварительного ознакомления. Итоговая оценка ставится с учетом баллов, заработанных студентом в течение семестра, и оценкой поставленной преподавателем за экзаменационный доклад.

#### **Перечень контрольных вопросов**

1. Перечислить основные методы определения механических свойств твердых тел.
2. Дать примеры твердофазных реакций, сопровождающихся изменением массы. Как исследовать эти процессы?

3. Описать схемы оптико-механического и интерференционного дилатометра.
4. Перечислить физические принципы, лежащие в основе дифференциального термического анализа.
5. Описать два способа регистрации результатов термического анализа.
6. Рассказать, каким образом можно использовать информацию о тепловых эффектах для изучения твердофазных реакций.
7. Описать схемы установок для физико-химических исследований при высоких давлениях.
8. На чем основан спектроскопический метод исследования твердых тел - оптическая микроскопия?
9. Объяснить физические принципы Оже-электронной спектроскопии (ОжеЭС)?
10. На чем основан спектроскопический метод исследования твердых тел: инфракрасная спектроскопия (ИКС)?
11. Объяснить принцип действия электронного микроскопа?
12. В чем физическая суть структурного метода исследования: дифракция медленных электронов (ДМЭ)?
13. В чем суть текстурного метода исследования: сканирующая электронная микроскопия?
14. В чем заключаются особенности, преимущества и недостатки метода просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ)?
15. Объяснить принцип работы атомно-силового микроскопа (АСМ)?
16. На чем основан микроскопический метод исследования твердых тел: зондовая микроскопия?
17. В чем основная суть метода Лауэ?
18. На чем основан дифракционный метод исследования твердых тел: рентгеновская дифрактография?
19. Описать дифракционные методы исследования твердых тел с использованием синхротронного излучения?
20. Как получают спектры EXAFS. Какую информацию можно извлечь из этих спектров?
21. На чем основан дифракционный метод исследования твердых тел: электронография и нейтронография?
22. Для каких целей используются методы рентгеновской спектроскопии?

23. Описать физические принципы спектроскопии ультрафиолетового (УФ-спектроскопия) и видимого света?
24. Какую химическую информацию можно получить с помощью колебательной спектроскопии (ИК- и КР-спектроскопии)?
25. Какую информацию дают химии микроволновые и диэлектрические спектры кристаллов?
26. Описать методы исследования диффузии и ионного переноса в твердых телах.
27. Для решения каких задач химии твердого тела можно использовать методы потенциометрии?
28. Какие твердофазные системы можно изучать методами ЭПР?
29. Чем отличается спектр ЯМР в кристаллах от аналогичных спектров в жидкостях и газах и почему?
30. В чем уникальность и ограничения метода мессбауэровской спектроскопии?

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### *а) основная литература:*

1. Р. Драго. Физические методы в химии: в 2 т. М.: Мир, 1981. т. 1, 2.
2. А. Вест. Химия твердого тела. Теория и приложения: В 2-х частях. Пер. с англ. – М.: Мир, 1988.
3. И.М. Жарский, Г.И. Новиков, Физические методы исследования в неорганической химии, М. Высшая Школа, 1988.
4. Л.В.Вилков, Ю.А.Пентин. Физические методы исследования в химии. – М.: Мир, 2006.
5. Стронберг А.Г. Физическая химия: Учеб. для хим. спец. Вузов. 5-е издание. – М.: Высш. Шк., 2003.

### *б) дополнительная литература:*

1. В.Т.Калинников, Ю.В.Ракитин. Введение в магнетохимию. М.: Наука, 1980.
2. Н.М.Сергеев. Спектроскопия ЯМР: Учеб. пособие. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981.
3. Х.Гюнтер. Введение в курс спектроскопии ЯМР. М.: Мир, 1984.  
В.Н.Чеботин, Физическая химия твердого тела. М. Химия. 1982.

4. Ф.Крегер, Химия несовершенных кристаллов. М. Мир. 1969.
5. В.Л.Бонч-Бруевич, С.Г.Калашников. Физика полупроводников. М.: Наука, 1978.
6. А.К.Иванов-Шиц,И.В.Мурин.Ионика твердого тела. СПбГУ, 2002.
7. Структурные методы и оптическая спектроскопия: Учеб. М.: Высш. шк., 1987.
8. Б.Е.Зайцев. Спектроскопические методы в неорганической химии. М. Химия, 1979.
9. В.И.Нефедов. Рентгеноэлектронная спектроскопия. М. Знание. 1983.
10. Дж.Лакович. Основы флуоресцентной спектроскопии. М.: Мир, 1986.
11. Я.С.Уманский, Ю.А.Скаков, Л.Н.Расторгуев. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. М. Металлургия. 1982.
12. Физические методы исследования неорганических веществ; под ред. А.Б. Никольского; Academia; 2006.
13. С.С. Горелик, Ю.А. Скаков, Л.Н. Расторгуев. Рентгенографический и электроннооптический анализ. М: МИСИС, 1994.
14. Физические методы исследований и свойства неорганических соединений/ под ред. Н.Хилла, Р.Дея. М. Мир, 1970.
15. Я.С.Уманский, Ю.А.Скаков, Л.Н.Расторгуев. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. М. Металлургия. 1982.
16. П. Хирш, А. Хови и др., Электронная микроскопия тонких кристаллов. М.: Мир, 1968.
17. А. А. Суслов, С. А. Чижик. Сканирующие зондовые микроскопы (обзор) // Материалы, Технологии, Инструменты – Т.2 (1997), №3, С. 78–89
18. Физические методы исследования неорганических веществ; под ред. А.Б. Никольского; Academia; 2006 г.; 3000; 448 стр
19. Лейбниц Э., Штруппле Х.Г. Руководство по газовой хроматографии. Т.1,2. М.: Мир, 1988.
20. Л.Н.Сидоров, М.В.Коробов, Л.В.Журавлева. Масс-спектральные термодинамические исследования. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985.

21. Н.С.Вульфсон, В.Г.Заикин, А.И.Микая. Масс-спектрометрия органических соединений. М.: Химия, 1986.
22. И.М.Жарский, Г.И. Новиков, Физические методы исследования в неорганической химии, М. Высшая школа, 1988.
23. Н.Д.Топор, Л.П.Огородова, Л.В.Мельчакова, Термический анализ минералов и неорганических соединений. М. МГУ. 1987.
24. Я.Шестак. Теория термического анализа. М. Мир. 1987.
25. С. С. Щедровицкий, Измерение массы, объема и плотности, М., 1981.
26. Химическая энциклопедия, в 5 т., под ред. Кнунянца И. Л. - М.: Сов. энцикл., 1988-1998.

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Ноутбук, медиа-проектор, экран. Программное обеспечение для демонстрации слайд-презентаций.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и с ОС ВПО, принятым в ФГАОУ ВО Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, с учетом рекомендаций ООП ВПО по направлению «020100 ХИМИЯ».

Авторы:

Уваров Николай Фавстович, д.х.н., профессор кафедры химии твердого тела ФЕН, зав. лаб. ИХТТМ СО РАН

Матейшина Юлия Григорьевна, ст. преподаватель кафедры химии твердого тела ФЕН, н.с. ИХТТМ СО РАН

Программа одобрена на заседании кафедры химии твердого тела 29 августа 2014 г.

Секретарь кафедры, к.х.н.



Т. Н. Дребущак