

**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.

Физико-химическая механика и механохимия

Программа лекционного курса и самостоятельной работы студентов

Курс 4-й, VII семестр

Учебно-методический комплекс

Новосибирск 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

Аннотация рабочей программы	4
1. Цели освоения дисциплины.....	5
2. Место дисциплины в структуре ООП	5
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины	6
4. Структура и содержание дисциплины	7
Рабочий план (по неделям семестра).	8
Программа курса лекций.....	9
5. Образовательные технологии	11
6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины	11
Билеты к экзамену по курсу «.....	11
7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	13
8. Материально-техническое обеспечение дисциплины ...	15

Учебно-методический комплекс предназначен для студентов IV курса факультета естественных наук специальность 020201 «Фундаментальная и прикладная химия». Комплекс содержит структуру курса, программу курса, примеры экзаменационных билетов, перечень рекомендованной литературы. Может быть полезным для студентов и аспирантов других вузов химического профиля.

Политов А.А., к.х.н., доцент

Аннотация рабочей программы

Дисциплина «Физико-химическая механика и механохимия» относится к вариативной части (профильные дисциплины) профессионального (специального) цикла ООП по специальности 020201 «Фундаментальная и прикладная химия».

Дисциплина реализуется на Факультете естественных наук Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Новосибирский национальный исследовательский государственный университет" (НГУ) кафедрой химии твердого тела.

Данный курс является междисциплинарным предметом, основывается на курсах статистической физики и термодинамики, строения вещества и молекулярной спектроскопии, а также химии твердого тела и физики твердого тела. В данном курсе рассматриваются поведение жидкостей и твердых тел при механических нагрузках и физико-химические явления, которые при этом протекают, а именно: пластическая деформация, разрушением твердых тел, химические реакции при механической обработке.

Дисциплина нацелена на формирование общекультурных компетенций ОК-16 профессиональных компетенций ПК-11, ПК-12 бакалавра.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, чтение и обсуждение классических публикаций по предмету, самостоятельная работа студента.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: промежуточный контроль в форме экзамена. Формы рубежного контроля определяются решениями Ученого совета, действующими в течение текущего учебного года.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 академических часа, из них 36 часов лекций, 14 часов на самостоятельную работу в течение семестра, 18 часов на подготовку к экзамену, 2 часа на консультации по лекционному материалу и 2 часа на сдачу экзамена.

1. Цели освоения дисциплины

Курс ставит своей целью получение студентами фундаментальных знаний в области физико-химической механики и механохимии, умение анализировать наблюдения и экспериментальные данные в которые связаны с механическим воздействием на твердые и жидкие тела.

Данный курс знакомит студентов с основами физико-химической механики, моделями упругого, вязкого и пластичного твердого тела, измельчением твердых тел, механохимическими реакциями, механической активацией, механохимической модификацией. Рассматриваются коллоидные системы и нанохимия, физические процессы при механической обработке твердых тел, механохимические реакции в неорганических системах, механохимические реакции полимеров, твердое + газ, твердое + жидкость, твердое + твердое, влияние дефектов на протекание твердофазных реакций, экспериментальные методы в механохимии твердых веществ, мельницы, активаторы и другие устройства, предназначенные для механической обработки твердых тел, суспензий, паст, эмульсий.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Физико-химическая механика и механохимия» относится к вариативной части (профильные дисциплины) профессионального (специального) цикла ООП по специальности 020201 «Фундаментальная и прикладная химия».

Дисциплина «Физико-химическая механика и механохимия» опирается на следующие дисциплины данной ООП:

- Математический анализ (Дифференциальные уравнения и уравнения математической физики)
- Физика (механика, электричество и магнетизм, статистическая физика, атомная физика и оптика, молекулярная физика)
- Неорганическая химия (химические свойства неорганических веществ, теория растворов)
- Органическая химия (химические свойства и реакции органических веществ)
- Аналитическая химия (химическое равновесие, теория индикаторов)
- Физическая химия (химическая термодинамика, химическая кинетика)
- Химия твердого тела (строение и свойства твердых тел, методы исследования твердых тел)
- Строение вещества (природа и теория химической связи, молекулярная спектроскопия).
- Кинетика гетерогенных реакций
- Методы кристаллоструктурных исследований
- Термический анализ
- Химия поверхности
- Физические методы исследования твердых тел
- Введение в физические свойства твердых тел
- Колебательная спектроскопия твердых тел

Результаты освоения дисциплины «Физико-химическая механика и механохимия» используются в следующих дисциплинах данной ООП:

- Кинетика гетерогенных реакций
- Химия поверхности
- Физические методы исследования твердых тел
- Введение в физические свойства твердых тел
- Институтская практика
- Итоговая государственная аттестация.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины «Физико-химическая механика и механохимия»:

- Общекультурные компетенции:
- ОК-16 - *обладает способностью в условиях развития науки и техники к критической переоценке накопленного опыта и творческому анализу своих возможностей*
- Профессиональные компетенции:
- ПК-11 - *знание основ теории фундаментальных разделов химии (неорганической, аналитической, органической, физической, химии высокомолекулярных соединений, биохимии, химической технологии)*
- ПК-12 - *умение применять основные законы химии при обсуждении полученных результатов, в том числе с привлечением информационных баз данных*

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- знать основы физико-химической механики и объяснять поведение твердых и жидких тел при механической нагрузке
- знать механизмы разрушения и измельчения твердых тел разной природы: металлических, ковалентных, ионных, высокомолекулярных
- знать процессы и явления, которые происходят в твердых и жидких телах при их механической обработке
- уметь проводить литературный поиск, анализировать информацию, определять задачи, в которых можно применять знания и представления о физико-механическом поведении конденсированных веществ
- знать молекулярные механизмы процессов, которые происходят при механической обработке твердых и жидких тел
- знать основные механизмы химических превращений при механической обработке жидких и твердых тел
- владеть навыками грамотной интерпретации процессов, происходящих при механической обработке твердых и жидких тел.

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 академических часа, из них 36 часов лекций, 14 часов на самостоятельную работу в течение семестра, 18 часов на подготовку к экзамену, 2 часа на консультации по лекционному материалу и 2 часа на сдачу экзамена.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Сам. работа	Консульт.	Экзамен	
1	Введение. Механохимическая реакция, механическая активация, механохимическая модификация. Особенности механохимических превращений. Основы коллоидной химии, физико-химические явления на поверхности порошков. Золи и гели. Пленки и пасты.	7	1-4	8	2			Опрос по ходу лекций
2	Основы физико-химической механики. Ньютоновские, неньютоновские, бингамовские и дилатантные жидкости. Модели, описывающие эти жидкости. Измельчение твердых тел твердых	7	5-7	8	3	1		Опрос по ходу лекций
3	Физико-химические явления при деформации твердых и жидких тел. Импульс температур и давлений, массоперенос, эмиссия явления	7	8-10	12	5			Опрос по ходу лекций
4	Механизмы механохимических реакций в ковалентных и ионных твердых телах, в молекулярных соединениях и в металлических системах. Примеры механохимических реакций.	7	11-18	8	4	1		Опрос по ходу лекций
					18		2	Экзамен
7	Итого			36	32	2	2	72 часа

**Рабочий план (по неделям семестра).
Осенний семестр**

Неделя	Лекции
1	Механохимическая реакция, механическая активация, механохимическая модификация. Особенности механохимических превращений. Типы дисперсных систем
2	Капиллярные явления, описание поверхностного слоя, пены, детергенты, пленки
3	Когезия, адгезия, смачивание, адсорбция
4	Двойной электрический слой, устойчивость коллоидных систем
5	Физико-химическая механика. Единый подход к описанию твердых и жидких тел. Модели Максвелла и Кельвина
6	Реологические свойства ньютоновских, неньтоновских, бингамовских, дилатантных и псевдопластичеких жидкостей.
7	Развитие деформации во времени для различных механических моделей, описывающих твердые и жидкие тела. Динамика развития деформации.
8	Измельчение твердых тел. Кривая σ - ε для твердых тел. Хрупкое и вязкое разрушение.
9	Эффект Ребиндера. Роль поверхностно-активных веществ в деформации и разрушении твердых тел и диспергировании жидкостей.
10	Физические процессы при механической обработке твердых тел. Эмиссионные явления
11	Классические эксперименты, выполненные при механической обработке твердых и жидких тел и в механохимии
12	Модели, описывающие процессы при механической обработке твердых и жидких тел. Ультразвуковая обработка и кавитация
13	Механохимические процессы реакции в неорганических системах
14	Механохимические процессы и реакции в полимерах
15	Механохимические процессы и реакции в ковалентных кристаллах и стеклах
16	Механохимические процессы и реакции в системе твердое + жидкость. Реакции при ультразвуковом воздействии
17	Механохимические процессы и реакции в металлических системах. Механическое сплавлением механические сплавы.
18	Мельницы, активаторы и другие устройства для механической обработки твердых тел, паст, суспензий и эмульсий.

Программа курса лекций.

I. Механохимия и элементы коллоидной химии

Введение. Механохимическая реакция, механическая активация, механохимическая модификация. Особенности механохимических превращений и «парадоксы» механохимических реакций. Типы дисперсных систем и классификация дисперсных систем по размеру частиц. Коллоидные системы и нанохимия. Предмет и объекты коллоидной химии. Суспензии, эмульсии, пасты.

Уравнение Лапласа и капиллярные эффекты. Уравнение Томсона (Кельвина), пересыщение и зародышеобразование. Поверхностная энергия и ее связь с энергией сублимации (уравнение Стефана). Методы термодинамического описания поверхности. Уравнение адсорбции Гиббса. Понятие о детергентах, пенах, смазках, пленках.

Когезия и адгезия. Смачивание и уравнение Юнга. Уравнение адсорбции Лэнгмюра и уравнение адсорбции Брунауэра, Эммета, Теллера (БЭТ). Определение удельной поверхности твердых тел методом адсорбции газов и красителей из растворов

Двойной электрический слой, правило Фаянса-Панета и правило Кёна. Строение двойного электрического слоя, ζ - потенциал. Теория Дерягина-Ландау-Фервея-Овербека (ДЛФО) и взаимодействие коллоидных частиц по теории ДЛФО. Устойчивость коллоидных систем и коагуляция. Структурированные коллоидные системы и тиксотропия.

II. Физико-химическая механика и измельчение твердых тел

Физико-химическая механика. Единый подход к описанию механического воздействия на твердые и жидкие тела. Модели упругого, вязкого и пластичного твердого тела. Модель Максвелла и время релаксации механических напряжений. Модель Кельвина и время релаксации деформации твердообразных тел. Модели описания механического поведения жидкостей и твердых тел.

Реологические кривые ньютоновских, неньтоновских, бингамовских, делатантных и псевдопластических жидкостей. Особенности их поведения при перемешивании. Выделение тепла при течении жидкостей. Вязкость флюидов и ее экспериментальное определение.

Развитие деформации во времени для различных механических моделей, описывающих твердые и жидкие тела. Модели Максвелла, Кельвина, Бингама, Бюргера. Кинетика развития деформации. Псевдопластические жидкости и жидкости с памятью. Модели, объясняющие псевдопластическое поведение жидкостей

Измельчение твердых тел. Кривая σ - ϵ для твердых тел. Хрупкое разрушение и критерий разрушения Гриффитса. Дислокационные механизмы разрушения. Вязкое (пластическое) разрушение твердых тел. Вязко-хрупкий переход разрушения. Закон хрупкого измельчения Кирпичева – Кика. Измельчение с учетом пластической деформации и трения. Агрегация и дезагрегация при измельчении. Равновесие Хюттига

Эффект Ребиндера и его объяснение. Роль поверхностно-активных веществ в деформации и разрушении твердых тел и диспергировании жидкостей. Самопроизвольное диспергирование. Получение наноразмерных частиц физическими и химическими методами. Влияние дисперсности на температуру плавления и др. физические свойства.

III. Физические процессы при механической обработке твердых тел.

Упругая и пластическая деформация. Разрушение (образование поверхности, оборванные связи). Локальное повышение температуры и давления. Массоперенос между твердыми телами, внедрение примесей, аморфизация. Статическая электризация, электростатические разряды. Эмиссия электронов, фотонов и компонентов решетки.

Эксперименты, подтверждающие увеличение температуры при хрупком

разрушении, пластической деформации и трении. Эксперименты, подтверждающие локальное повышение давления при механической обработке твердых тел. Эксперименты, позволяющие исследовать влияние высоких давлений на электронные свойства и структуру твердых тел.

Модель «магма – плазма» Тиссена. Модель “hot spot” Боудена - Тейбора. Численная оценка повышения температуры при соударении твердых тел в приближении модели Герца. Дислокационные механизмы повышения температуры.

IV. Механохимические реакции в различных системах

Механохимические реакции в неорганических системах на примере механохимических превращений в нитратах, оксалатах, персульфате калия, оксиде цинка и др. Роль кинетических факторов в механохимических реакциях. Роль электронных процессов в механохимических реакциях и влияние донорно – акцепторных добавок на механохимические превращения.

Механохимические реакции полимеров. Влияние упругих напряжений на долговечность полимеров и скорость их деструкции (уравнение Журкова). Автоионизационный механизм разрыва связи (модель Закревского). Фононный механизм разрыва связи в полимерах при их механической обработке. Механохимические превращения в экструдерах.

Механохимические реакции в ковалентных твердых телах и теория короткоживущих активных центров (модель Шёна - Бутягина). Механохимические реакции **твердое + газ** на примере кварца. Энергетический выход механохимических реакций. Доза подведенной механической энергии как характеристика мельниц.

Время жизни возбужденных активных состояний, возникающих при механической обработке твердых тел. Влияние дефектов на протекание твердофазных реакций. Механохимические реакции и механическая активация твердых тел, сходство и различие.

Механическое сплавление металлов и механические сплавы. Реакции **твердое + твердое** на примере медь + серебро, алюминий + углерод и др. Металлические клеи. Керамический синтез.

Механохимические реакции **твердое + жидкость**. Карбидизация железа при его механической обработке в жидких органических средах. Ультразвуковой метод инициирования химических реакций. Аналогия механохимических процессов и процессов, протекающих при ультразвуковой обработке суспензий.

Мельницы, активаторы и другие устройства, предназначенные для механической обработки твердых тел, суспензий, паст, эмульсий. Активаторы со свободным и стесненным ударом. Мельницы и активаторы для механической обработки полимеров, минерального сырья. Выбор активатора для проведения механохимических превращений в различных твердых телах.

5. Образовательные технологии

- Лекции
- Демонстрационные опыты, которые проводятся в лекционной аудитории или в лаборатории Института химии твердого тела и механохимии СО РАН
- Разбор и обсуждение оригинальных статей на русском и английском языках.

Лекции – это основная форма обучения. Часть каждой лекции проводится в интерактивной форме, что позволяет осуществлять постоянный контроль за качеством усвоения лекционного материала и успеваемостью студентов.

Демонстрационные опыты – вспомогательная форма обучения. Такие опыты, как демонстрация зависимости механизма разрушения от времени механической релаксации – времени Максвелловской релаксации, («глупая резинка»), деформация дилатантных жидкостей (песчаный «бронезилет») влияние природы материала трущихся тел на температуру в зоне трения, (материалы полимер, металл или стекло), различие в истечении неньютоновских и ньютоновских жидкостей и другие эксперименты позволяют лучше запоминать лекционный материал, расширяют кругозор студента и способствуют пониманию специфики изучаемой дисциплины.

Разбор и обсуждение оригинальных статей на русском и английском языках по лекционному курсу проводится в течение семестра индивидуально с каждым студентом. Выбирается одна классическая статья, в которой изложены важные результаты, излагаемые в лекциях и оказавшие большое влияние на развитие физико-химической механики или механохимии. Вторая статья - написанная в последние годы и отражающая современные взгляды на механохимию. Как правило, одна статья на русском, другая на английском языке. Приветствуются статьи, принесенные студентами, которые относятся, с одной стороны, к лекционному материалу, а с другой - к дипломной работе.

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

Рекомендуемый режим работы: лекционные занятия – 2 часа в неделю; самостоятельные занятия с обязательной и дополнительной литературой – 1 час в неделю.

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины проводится в виде экзамена. Вопросы к экзамену отражают основные темы курса, перечисленные в таблице выше. Перед экзаменом проводится консультация. Программа курса и список литературы доступны на сайте <http://fen.nsu.ru/fen.phtml?topic=prg>.

Билеты к экзамену по курсу «Физико-химическая механика и механохимия»

В каждом билете по три вопроса. Третий вопрос – 2 статьи по теме курса на русском и английском языках.

Билет № 1.

1. Механохимическая реакция, механическая активация, механохимическая модификация. Особенности механохимических превращений и примеры «парадоксальных» механохимических реакций.

2. Модель «магма – плазма» Тиссена. Модель “hot spot” Боудена - Тейбора. Численная оценка повышения температуры при соударении твердых тел в приближении модели Герца. Дислокационные механизмы повышения температуры.

Билет № 2.

1. Типы дисперсных систем и классификация дисперсных систем по размеру частиц. Коллоидные системы и нанохимия. Предмет и объекты коллоидной химии. Суспензии, эмульсии, пасты.

2. Измельчение с учетом пластической деформации и трения. Агрегация и дезагрегация при измельчении. Равновесие Хюттига. Эффект Ребиндера и его объяснение. Роль поверхностно-активных веществ в деформации и разрушении твердых тел и диспергировании жидкостей.

Билет № 3.

1. Уравнение Лапласа и капиллярные эффекты. Уравнение Томсона (Кельвина), пересыщение и зародышеобразование.

2. Реологические кривые для ньютоновских, неньтоновских, бингамовских, делатантных и псевдопластичеких жидкостей. Особенности их поведения при перемешивании. Выделение тепла при течении жидкостей

Билет № 4.

1. Поверхностная энергия и ее связь с энергией сублимации (уравнение Стефана). Методы термодинамического описания поверхностно слоя Гиббса. Понятие о детергентах, пенах, смазках, пленках. Пленки Лэнгмюра – Блоджетт.

2. Роль кинетических факторов в механохимических реакциях. Роль электронных процессов в механохимических реакциях и влияние донорно – акцепторных добавок на механохимические превращения

Билет № 5.

1. Когезия и адгезия. Смачивание и уравнение Юнга. Уравнение адсорбции Лэнгмюра и уравнение адсорбции Брунауэра, Эммета, Теллера (БЭТ). Определение удельной поверхности твердых тел методом низкотемпературной адсорбции (десорбции) газов.

2. Измельчение твердых тел. Кривая σ – ϵ для твердых тел. Хрупкое разрушение и критерий разрушения Гриффитса. Дислокационные механизмы разрушения. Вязкое (пластическое) разрушение твердых тел. Вязко-хрупкий переход разрушения. Закон хрупкого измельчения Кирпичева – Кика

Билет № 6.

1. Двойной электрический слой, Строение двойного электрического слоя, ζ - потенциал. Теория Дерягина-Ландау-Фервея-Овербека (ДЛФО). Устойчивость коллоидных систем и коагуляция.

2. Влияние упругих напряжений на долговечность полимеров и скорость их деструкции (уравнение Журкова). Механохимические превращения в полимерах. Механохимические превращения в экструдерах.

Билет № 7.

1. Физико-химическая механика и единый подход к описанию механического воздействия на твердые и жидкие тела. Модели упругого, вязкого и пластичного твердого тела. Модель Максвелла и время релаксация механических напряжений.

2. Автоионизационный механизм разрыва связи (модель Закревского). Фононный механизм разрыва связи в полимерах при их механической обработке.

Билет № 8.

1. Реологические кривые ньютоновских, неньтоновских, бингамовских, делатантных и псевдопластичеких жидкостей. Особенности их поведения при перемешивании. Уравнение Ньютона для течения жидкостей. Выделение тепла при течении жидкостей.

2. Модель Кельвина и время релаксации деформации твердообразных тел. Модели описания механического поведения жидкостей и твердых тел.

Билет № 9.

1. Развитие деформации во времени для различных механических моделей, описывающих твердые и жидкие тела. Модели Максвелла, Кельвина, Бингама, Бюргера. Кинетика развития деформации. Псевдопластические жидкости и жидкости с памятью.

2. Физические процессы при механической обработке твердых тел. Упругая и пластическая деформация. Разрушение (образование поверхности, оборванные связи). Локальное повышение температуры и давления.

Билет № 10.

1. Уравнение адсорбции Гиббса. Определение удельной поверхности методом сорбции красителей из раствора. Поверхностно-активные и поверхностно-инактивные вещества.

2. Механохимические реакции в ковалентных твердых телах и теория короткоживущих активных центров (модель Шёна - Бутягина). Механохимические реакции твердое + газ (на примере кварца, карбида кремния, кремния).

Билет № 11.

1. Самопроизвольное диспергирование. Получение наноразмерных частиц физическими и химическими методами. Влияние дисперсности на температуру плавления.

2. Энергетический выход механохимических реакций как характеристика механохимических процессов. Доза подведенной и механической энергии мощность дозы.

Билет № 12.

1. Массоперенос между твердыми телами, внедрение примесей, аморфизация. Статическая электризация, электростатические разряды. Эмиссия электронов, фотонов и компонентов решетки.

2. Дефекты, возникающие при механической обработке твердых тел. Время жизни возбужденных активных состояний и неравновесных дефектов. Механохимические реакции и механическая активация твердых тел, сходство и различие. Влияние дефектов на протекание твердофазных реакций.

Билет № 13

1. Роль электронных процессов в механохимических реакциях и влияние донорно – акцепторных добавок на механохимические превращения. Радиационные, термические и механические ряды устойчивости солей.

2. Физико-химические процессы при ультразвуковой обработке жидких сред и суспензий. Кавитация. Энергетический выход химических реакций при обработке ультразвуком.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Щукин Е.Д., Перцев А.В., Амелина Е.А. *Коллоидная химия*. М., Высшая школа, 2004.
2. Шрамм Г. *Основы практической реологии и реометрии*. М., Колосс, 2003.
3. Сергеев Г.Б. *Нанохимия*. М., Университет, 2007.
4. Аввакумов Е.Г. *Механические методы активации химических процессов*. Новосибирск, Наука. 1984.

б) дополнительная литература:

1. Фридрихсберг Д.А. *Курс коллоидной химии*. Л., Химия, 1974.
2. Воюцкий С.С. *Курс коллоидной химии*. М., Высшая школа, 1978.

3. Круглицкий Н.Н. *Основы физико-химической механики*. Т. 1 - 3. Киев. Вища школа, 1975.
4. Адамсон А. *Физическая химия поверхностей*. М., Мир, 1979.
5. Фуке Г.И. *Вязкость и пластичность нефтепродуктов*. М. – Л., Гостоптехиздат. 1951, гл. I – IV.
6. Каргин В.А., Слонимский Г.Л. *Краткие очерки по физикохимии полимеров*. М., Химия. 1967.
7. Петров Ю.И. *Кластеры и малые частицы*. М., Наука. 1986.
8. Ферри Дж. *Вязкоупругие свойства полимеров*. М., Инлит. 1963.
9. Хайнике Г. *Трибохимия*. М., Мир, 1987.
10. Барамбойм Н.К. *Механохимия высокомолекулярных соединений*. М., Химия, 1978.
11. Ходаков Г. С. *Физика измельчения*. М., Наука, 1972.
12. Регель В. Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.Е. *Кинетическая природа прочности твердых тел*. М., Наука, 1974.
13. Боуден Ф.П., Тейбор Д. *Трение и смазка твердых тел*. М., Машиностроение, 1968.
14. Болдырев В.В. *Экспериментальные методы в механохимии твердых неорганических веществ*. Новосибирск, Наука, 1983.
15. Болдырев В.В. *Реакционная способность твердых веществ*. Новосибирск, Наука. 1997.
16. Болдырев В.В. *О кинетических факторах, определяющих специфику механохимических процессов в неорганических системах // Кинетика и катализ. – 1972. – Т. 13, вып. 6. – С. 1411 – 1421.*
17. Болдырев В.В., Аввакумов Е.Г. *Механохимия неорганических веществ. // Успехи химии. – 1971. – Т. XL. Вып. 10. – С. 1835 – 1856.*
18. Бутягин П.Ю. *Разупорядочение структуры и механохимические реакции в твердых телах. // Успехи химии. – 1984. – Т. LIII, вып. 11. – С. 1769 – 1789.*
19. Зархин Л.С. и др. *Механодеструкция полимеров. Метод молекулярной динамики. // Успехи химии. - 1989. Т. LVII, вып. 4 С. 644 – 662.*
20. Стрелецкий А.Н. и др. *Кинетика механохимического синтеза карбида алюминия // Коллоидный журнал. - 2006. - Т. 68, № 4, С 513 – 524.*
21. Дубинская А.М. *Превращение органических веществ под действием механических напряжений. // Успехи химии. – 1999. Т. – 68, вып. 8. – С. 708 – 724.*
22. Butyagin P.Yu., Pavlychev I.K. *Energy yields of mechanochemical reaction. // Reactivity of solids. – 1986. – V. – 1. С. 361 – 372.*
23. Закревский В.А., Пахотин В.А. *Автоионизационный механизм разрыва химических связей в макромолекулах. // Высокомолекулярные соединения. – 1981. – Т. 23. - № 3. С. 658 – 662.*
24. Радциг В.А., Политов А.А. *Парамагнитные центры в продуктах механической обработки персульфата калия // Кинетика и катализ. 1985. – Т . XXVI, вып. 1. С. 42 – 50.*
25. Gerasimov K.B., Boldyrev V.V. *On mechanism of new phase formation during mechanical alloying of Ag – Cu, Al – Ge, Fe – Sn. // Material Research Bulletin. – 1996. – V. 32, No 10. – P. 1297 – 1305.*
26. Yong-Soon Kwon, Ji-Soon Kim, Dong-Wook Choi, K.B. Gerasimov, S.S. Avramchuk. *Mechanically driven decomposition of intermetallics. // J. Mater. Science. – 2003. – V. 39. P. 5233 – 5216.*
27. Suryanarayana C. *Mechanical alloying and milling. // Progress in Materials Science. - 2001. V. – 46. - P 1 – 184.*

28. Прут Э.В., Зеленецкий А.Н. *Химическая модификация и смешение полимеров в экструдере-реакторе.* // Успехи химии. - 2001. - Т. 70. - С. 72 - 87.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. Программа курса и список литературы доступны на сайте <http://fen.nsu.ru/fen.phtml?topic=prg>.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- Ноутбук, медиа-проектор, экран.
- Доска и набор цветных фломастеров.
- Программное обеспечение для демонстрации слайд-презентаций.
- Лабораторное оборудование для демонстрационных экспериментов.

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 специальности 020201 «Фундаментальная и прикладная химия».

Автор: Политов Анатолий Александрович, к.х.н., доцент кафедры химии твердого тела ФЕН НГУ, с.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