

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

АПАТИТСКИЙ ФИЛИАЛ

Методические указания к выполнению практических работ

По дисциплине: Б1.В.03.ДВ.03.01 Физико-химическая механика дисперсных систем
указывается цикл (раздел) ОП, к которому относится дисциплина, название дисциплины

для направления подготовки (специальности) 04.03.01 Химия
код и наименование направления подготовки (специальности)

Неорганическая химия и химия координационных соединений
наименование профиля /специализаций/образовательной программы

Квалификация выпускника, уровень подготовки бакалавр
(указывается квалификация (степень) выпускника в соответствии с ФГОС ВО)

Кафедра - разработчик: химии и строительного материаловедения
название кафедры - разработчика рабочей программы

Разработчик(и) А.М. Калинин, профессор, д.х.н.
ФИО, должность, ученая степень, (звание)

Апатиты
2019

Пояснительная записка

1. **Методические указания** составлены на основе ФГОС ВО по направлению подготовки 04.03.01 Химия, утвержденного приказом Минобрнауки РФ от 17 июля 2017 года, № 671, учебного плана в составе ОП по направлению подготовки 04.03.01 Химия, профилю «Неорганическая химия и химия координационных соединений».

2. Цели и задачи учебной дисциплины (модуля).

Целью дисциплины (модуля) «Физико-химическая механика дисперсных систем» является подготовка обучающегося в соответствии с квалификационной характеристикой бакалавра и рабочим учебным планом направления 04.03.01 Химия, что предполагает освоение обучающимися теоретических знаний в области основных закономерностей образования, строения и свойств дисперсных систем.

Задачи дисциплины (модуля):

- усвоение студентами основ физико-химической механики дисперсных систем;
- ознакомление с методами практических расчетов, применяемых в физико-химической механике

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине «Физико-химическая механика дисперсных систем»

Процесс изучения дисциплины «Физико-химическая механика дисперсных систем» направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 04.03.01 Химия:

ПК-1-т Способен выбирать технические средства и методы испытаний для решения технологических задач, поставленных специалистом более высокой квалификации

Результаты формирования компетенций и планируемые результаты обучения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Планируемые результаты обучения

№ п/п	Код компетенции	Компоненты компетенции, степень их реализации	Результаты обучения
1.	ПК-1-т Способен выбирать технические средства и методы испытаний для решения технологических задач, поставленных специалистом более высокой квалификации	Компоненты компетенции соотносятся с содержанием дисциплины и компетенция реализуется полностью	Знать: принципы определения реологических и других физико-механических свойств систем Уметь: выбирать технические средства, а также анализировать и интерпретировать результаты экспериментов и испытаний на основе методов физико-химической механики дисперсных систем Владеть: методологией выбора оптимального метода испытания конкретного объекта и методикой его проведения

			<p>Индикаторы сформированности компетенций в реализуемой части:</p> <p>ПК-1-т-1. Планирует отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИОКР в части, связанной с реологическими и другими физико-механическими свойствами систем</p> <p>ПК-1-т-2 Готовит элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИОКР в части, связанной с реологическими и другими физико-механическими свойствами систем</p> <p>ПК-1-т-3. Выбирает технические средства и методы испытаний (из набора имеющихся) для решения поставленных задач НИОКР в части, связанной с определением реологических и других физико-механических свойств систем</p>
--	--	--	--

Таблица 2 - Перечень практических работ

№ ПЗ	Наименование тем, их содержание	Кол-во часов	№ темы по табл.4 РП
1	2	3	4
1	Дисперсные системы, их общая классификация и свойства	4	2
2	Поверхностное натяжение. Уравнение Лапласа и капиллярные эффекты. Уравнение Томсона (Кельвина), пересыщение и зародышеобразование.	8	3,4
3	Основные понятия и идеальные законы реологии.	4	5
4	Моделирование реологических свойств тел.	4	6
5	Вязкость жидких агрегативно устойчивых дисперсных систем	4	8,9
6	Структурно-механические свойства кристаллов. Теоретическая и реальная прочность твердых тел.	5	13,14
7	Адсорбционное понижение прочности неметаллов. Процессы диспергирования в природе и технике.	6	17
	<u>Всего часов :</u>		35

Рекомендации к выполнению практических работ

Практическое задание 1.

Тема: Дисперсные системы, их общая классификация и свойства

Обучающиеся должны знать определение дисперсных систем, основные виды их классификации:

- по размеру частиц дисперсной фазы,
- по агрегатному состоянию дисперсной фазы и дисперсионной среды,
- по интенсивности межмолекулярного взаимодействия на границе раздела фаз.

Обучающиеся также должны уметь рассчитывать такие свойства дисперсных систем (суспензий, паст, эмульсий, коллоидных растворов) как удельная поверхность и концентрация частиц дисперсной фазы, влажность и др.

Практическое задание 2.

Тема: Поверхностное натяжение. Уравнение Лапласа и капиллярные эффекты. Уравнение Томсона (Кельвина), пересыщение и зародышеобразование.

Обучающиеся должны знать силовое и энергетическое определение поверхностного натяжения, а также единицы его измерения в системах СИ и СГС.

Обучающиеся должны уметь применять уравнение Лапласа к расчету капиллярного давления, в том числе для вычисления уровня поднятия (опускания) уровня жидкости в капиллярах и для расчета поверхностного натяжения.

Обучающиеся должны понимать физический смысл уравнения Томсона (Кельвина) и уметь применять его для расчета критического размера зародышей при пересыщении.

Практическое задание №3.

Тема: Основные понятия и идеальные законы реологии

Реология – одна из центральных тем дисциплины. Обучающиеся должны знать сущность трех основных идеальных законов реологии, которым соответствуют три элементарные модели идеализированных материалов, и уметь применять их для количественной оценки основных реологических характеристик – упругости, вязкости и пластичности.

Идеально упругое тело Гука представляют в виде спиральной пружины. В соответствии с законом Гука деформация γ в упругом теле пропорциональна напряжению сдвига P : $\gamma = P/E$, где E — коэффициент пропорциональности (или модуль Юнга). Модуль Юнга E является характеристикой материала (его структуры), количественно отражающей его упругие свойства. Единицами измерения модуля Юнга являются паскаль (СИ) и дин/см² (СГС), т. е. те же, что и для напряжения, так как величина γ безразмерна. После снятия нагрузки идеально упругое тело Гука мгновенно переходит в первоначальное состояние (форму). Деформации в упругих телах происходят со скоростью распространения звука в них.

Идеально вязкое тело Ньютона изображают в виде поршня с отверстиями, помещенного в цилиндр с жидкостью. Идеально вязкая жидкость течет в соответствии с законом Ньютона. Закон Ньютона можно сформулировать следующим образом — напряжение сдвига пропорционально скорости деформации (или скорость деформации пропорциональна напряжению сдвига): $P = \eta(d\gamma/dt)$, где η – вязкость, t - время. Реологические свойства идеальных жидкостей однозначно характеризуются вязкостью. График зависимости P от $(d\gamma/dt)$ представляет собой прямую, выходящую из начала координат, тангенс угла наклона этой прямой к оси $(d\gamma/dt)$ определяет вязкость жидкости, а к оси P — величину, обратную вязкости, называемую текучестью. Если вязкость характеризует сопротивление жидкости движению, то текучесть — ее подвижность. Так как в международной системе единиц напряжение измеряется в паскалях, а

скорость деформации в с^{-1} , то единицей вязкости будет паскаль·секунда (Па·с). В системе СГС за единицу вязкости принят пуаз (П) ($1 \text{ Па}\cdot\text{с}=10 \text{ П}$). Размерность текучести обратна размерности вязкости, следовательно, единицы измерения вязкости обратны единицам текучести. Например, в системе СГС текучесть измеряется в пуазах в минус первой степени (П^{-1}). Иногда эта единица называется и обозначается «ре». Идеальные жидкости способны течь (деформироваться) под действием самых малых внешних нагрузок до тех пор, пока они действуют.

Моделью идеально пластического тела Сен-Венана — Кулона является находящееся на плоскости твердое тело, при движении которого трение постоянно и не зависит от нормальной (перпендикулярной поверхности) силы. В основе этой модели лежит закон внешнего (сухого) трения, в соответствии с которым деформация отсутствует, если напряжение сдвига меньше некоторой величины P_T , называемой пределом текучести, т. е. при $P < P_T$ $\gamma=0$ и $(d\gamma/dt)=0$. Если напряжение достигнет предела текучести, то деформация идеально пластического тела не имеет предела и течение происходит с любой скоростью, т. е. при $P=P_T$ $\gamma>0$ и $(d\gamma/dt) > 0$.

К элементу сухого трения (идеально пластическому телу) не может быть приложено напряжение, превышающее P_T . Величина P_T отражает прочность структуры тела. Структура идеального пластического тела при $P = P_T$ разрушается, после чего сопротивление напряжению полностью отсутствует.

Сравнение идеальных элементов (реологических моделей) показывает, что энергия, затраченная на деформацию упругого тела Гука, возвращается при разгрузке (после прекращения действия напряжения), а при деформации вязкого и пластического тел энергия превращается в теплоту. В соответствии с этим тело Гука принадлежит к консервативным системам, а другие два — к диссипативным (теряющим энергию).

Тема: Моделирование реологических свойств тел

Учащиеся должны уметь моделировать многообразные реологические свойства реальных тел с помощью различных сочетаний рассмотренных идеальных моделей. Сложные модели состоят из нескольких идеальных моделей (элементов), соединенных между собой последовательно или параллельно. При последовательном соединении элементов полная нагрузка P приходится на каждый элемент, а полная деформация γ или ее скорость складываются из деформаций и скоростей составляющих элементов. При параллельном соединении элементов деформации и их скорости у одинаковы для всех элементов, а полная нагрузка P складывается из нагрузок отдельных элементов. С помощью этих правил сравнительно просто моделировать реологические свойства реальных тел. Для расширения возможности количественной характеристики реологических свойств реальных тел используют несколько составных идеальных моделей.

Известно, что нет принципиальной разницы в реологических свойствах реальных жидкостей и твердых тел. Объясняется это тем, что те и другие представляют собой конденсированное состояние вещества, характеризующееся высокой плотностью упаковки атомов и молекул и малой сжимаемостью. Жидкости и твердые тела имеют практически одинаковую природу сил сцепления, которые зависят только от расстояния между частицами. Максвеллом было выдвинуто представление о механических свойствах тел как о непрерывном ряде переходов между идеальными жидкостью и твердым телом. Механические свойства были смоделированы с помощью последовательного соединения элементов Гука и Ньютона. Модель получила название модели Максвелла. Наиболее интересна эта модель для мгновенной и фиксированной деформации ($\gamma = \text{const}$ и $(d\gamma/dt) = 0$). Такое состояние реализуется при мгновенном растяжении модели с сохранением в дальнейшем постоянной деформации. После этого возникшее внутреннее напряжение постепенно спадает со временем (релаксирует) вследствие деформирования вязкого элемента. При таких условиях уравнение для P

принимает вид

$$P = P_0 \exp(-\tau/\lambda),$$

где P_0 – напряжение при $\tau=0$, $\lambda=\eta/E$ — время релаксации напряжения. Величина λ представляет собой время, в течение которого начальное напряжение P_0 в теле уменьшается в e раз. Чем больше λ , тем медленнее рассасываются (релаксируют) напряжения в системе. Полное рассасывание напряжений может произойти при τ , стремящимся к бесконечности. Явление релаксации, как и процесс диффузии, связан с тепловым движением молекул или частиц дисперсной фазы тела. Модель Максвелла представляет собой упруговязкую жидкость, которая может течь (релаксировать) под действием любых нагрузок.

Моделью вязкоупругого твердого тела, способного восстанавливать свои свойства после снятия нагрузки (эластичность), является модель Кельвина — Фойгта. Она представляет собой соединенные параллельно элементы Гука и Ньютона. Деформация в таком теле под действием постоянной нагрузки P_0 развивается во времени. Скорость ее снижается, так как на упругий элемент Гука приходится все большее усилие. Когда скорость деформации уменьшится до нуля, деформация достигнет максимального значения. При условии постоянного напряжения P_0 математическая модель тела Кельвина — Фойгта имеет вид

$$\gamma=(P_0/E)(1-\exp(-\tau/\theta)),$$

где $\theta = \eta/E$ — время релаксации деформации, характеризующее эластичность тела. Если снять напряжение после достижения определенной деформации, то система возвращается в исходное состояние в течение определенного времени. В отличие от упругости, характеризуемой мгновенными деформациями (равновесное состояние достигается со скоростью, близкой к скорости звука в данном теле), эластичность, или упругое последствие, проявляется во времени. Чем больше время релаксации деформации, тем больше эластичность тела. Как правило, гуковские деформации твердых тел не превышают 0,1%, эластические

деформации могут достигать нескольких сот процентов. Такими свойствами обладают, например, полимеры. Эластические деформации имеют энтропийный характер. Растяжение полимеров приводит к статистически менее вероятному распределению конформаций макромолекул, т. е. к уменьшению энтропии. После снятия нагрузки образец полимера самопроизвольно сокращается, возвращаясь к наиболее вероятному распределению конформаций, т. е. энтропия возрастает.

Примером тела, проявляющего вязкие или упругие свойства в зависимости от напряжения, является вязкопластическое тело Бингама. Модель Бингама представляет собой комбинацию из соединенных параллельно элементов Ньютона и Сен-Венана — Кулона. В этой модели при достижении $P > P_T$ имеет место пластическая деформация, растущая до бесконечности (течение). Уравнение математической модели вязкопластического тела Бингама имеет вид:

$$P = P_T + \eta^* (dy/dt).$$

де η^* — пластическая вязкость.

Скорость деформации равна нулю при $P < P_T$, и только при $P > P_T$ она возрастает с увеличением напряжения. При $P_T = 0$ уравнение Бингама переходит в закон Ньютона. Напряжение P разбивается на две составляющие: напряжение P_T , необходимое для разрушения структуры, и напряжение $(P - P_T)$, осуществляющее собственно течение. По физическому смыслу пластическая вязкость отличается от ньютоновской вязкости. Соотношение между ньютоновской и пластической вязкостью

$$\eta = \eta^* + P_T / (dy/dt).$$

показывает, что ньютоновская вязкость учитывает все сопротивления течению, а пластическая вязкость, являясь частью ньютоновской, не учитывает прочности структуры, характеризуемой величиной P_T , но отражает скорость ее разрушения.

Тема: Вязкость жидких агрегативно устойчивых дисперсных систем

Обучающиеся должны знать определение вязкости, единицы ее измерения в системах СИ и СГС, а также основные уравнения, применяемые для расчета вязкости дисперсных систем различной природы:

- уравнение Эйнштейна,
- уравнение Штаудингера,
- уравнение Мартина,
- уравнение Хаггинса,
- соотношение Марка-Куна-Хаувинка.

Обучающиеся должны иметь представление об основных закономерностях реологических свойств структурированных жидкообразных систем, о характере течения суспензий при различных концентрациях дисперсной фазы и его связи со структурой дисперсных систем. Обучающиеся должны также уметь графически представлять кривые течения жидкообразных структурированных систем в координатах скорость деформации – напряжение сдвига и вязкость - напряжение сдвига.

Практическое задание №6.

Тема: Структурно-механические свойства кристаллов. Теоретическая и реальная прочность твердых тел.

Обучающиеся должны на примере металлов объяснить связь кристаллического строения твердого вещества с характером деформации монокристаллов и поликристаллических твердых тел.

Обучающиеся должны знать вывод формулы Гриффитса, объясняющей расхождение теоретической и реальной прочности твердых тел при хрупком разрушении. Обучающиеся должны также уметь применять формулу Гриффитса для расчета реальной прочности исходя из длины зародышевой трещины и справочных данных по удельной поверхностной энергии и

модулю Юнга.

Обучающиеся должны иметь представление о теории дислокаций, а также о ее значении для понимания процессов деформации и разрушения твердых тел.

Практическое задание №7.

Тема: Адсорбционное понижение прочности неметаллов. Процессы диспергирования в природе и технике.

Обучающиеся должны знать сущность эффекта адсорбционного понижения прочности (эффекта Ребиндера) и уметь прогнозировать снижение прочности твердых тел с различным типом химической связи при контакте с поверхностно-активными средами.

На примере кристаллов гидроксида магния обучающиеся должны объяснить связь понижения поверхностной энергии с уменьшением прочности высокодисперсных пористых тел с развитой поверхностью раздела фаз.

На примере системы хлорид калия – гептан – диоксан – вода обучающиеся должны проиллюстрировать влияние степени полярности среды на прочность ионных кристаллов.

На примере монокристаллов нафталина и ряда карбоновых кислот обучающиеся должны объяснить суть правила Дюкло-Траубе и уметь применять его для прогнозирования прочности молекулярных кристаллов в соответствующих средах.

Обучающиеся должны иметь представление о закономерностях измельчения твердых тел. Обучающиеся должны знать и уметь применять правило Риттингера и правило Кирпичева-Кика для расчета работы диспергирования.

Список рекомендуемой литературы

№ п\п	Название учебников, учебных пособий и других источников	Авторы (под ред.)	Издательство	Год издания
1	2	3	4	5
Основная литература				
1.	Коллоидная химия.	Б.Д. Сумм	Academia	2013
2.	Коллоидная химия.	Е.Д. Шукин, А.В. Перцов, Е.А. Амелина	М.: Высшая школа	2007
3.	Физическая и коллоидная химия	Кругляков П. М., Хаскова Т. Н.	М.: Высшая школа	2007
4.	Нанохимия http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785211053724.html?SSr=010134171b106b0b2512518	Г.Б. Сергеев	М., Университет.	2007
Дополнительная литература				
1.	Коллоидная химия	Гельфман М. И., Ковалевич О. В., Юстратов В. П.	Лань	2003
2.	Практикум по коллоидной химии : Методические указания и задания к выполнению лабораторных работ для студентов специальности 020101 "Химия"	Печенюк С.И.	Мурманск : МГТУ	2011
3.	Физико-химия наноструктурных материалов http://www.studentlibrary.ru/book/MIS044.html?SSr=010134171b106b0b2512518	Лёвина В.В.	М. : МИСиС	2010