

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»
Химический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Декан химического факультета,
акад. РАН, профессор



/В.В. Лунин/

«30» мая 2014 г..

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)
Основы современных технологий разделения и хранения газов

Уровень высшего образования:
Подготовка кадров высшей квалификации

Направление подготовки (специальность):

04.06.01 Химические науки

Направленность (профиль) ОПОП:

Физическая химия 02.00.04

Форма обучения:

очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методической комиссией факультета
(протокол №3 от 19.05.2014)

Москва 2014

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 04.06.01 «Химические науки» на основе Образовательного стандарта, самостоятельно установленного МГУ имени М.В.Ломоносова (далее – ОС МГУ), утвержденного Приказом № 552 от 23.06.2014 г. по МГУ с учетом изменений в ОС МГУ, внесенных Приказом №831 по МГУ от 31.08.2015 г..

Год (годы) приема на обучение 2014/2015, 2015/2016, 2016/2017, 2017/2018,
2018/2019, 2019/ 2020

1. Курс посвящен знакомству слушателей с теоретическими основами современных технологий работы с газами и их смесями.
2. Уровень высшего образования – подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.
3. Направление подготовки 04.06.01 Химические науки. Направленность программы: Физическая химия.
4. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП Вариативная часть ООП, тип дисциплины «d» - дисциплина (модуль), которую учащийся может освоить на выбор из списка предложенных (электив) и не обязательно в период обучения, отмеченный в базовом учебном плане, в течение 2 или 3 года обучения, во 3 или 4 семестре (по выбору аспиранта), предпочтительно – 4 семестр.
5. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Компетенция	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
СПК-1: Способность проводить комплексные исследования структурных, термодинамических и кинетических характеристик систем разной природы с использованием современных экспериментальных методов	Знать физические принципы, лежащие в основе современных физико-химических методов исследования веществ и материалов, а также возможности, достоинства и ограничения этих методов Уметь модифицировать и разрабатывать методики измерений и интерпретации данных Уметь выбирать оптимальные методы и методики синтеза для получения веществ с заданными свойствами, модифицировать методы и методики и разрабатывать новые

6. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

Объем дисциплины (модуля) составляет 3 зачетных единиц, всего 108 часов, из которых 54 часа составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (36 часов - занятия лекционного типа, 4 часов групповые консультации, 10 часов мероприятия текущего контроля успеваемости, 4 мероприятия промежуточной аттестации), 54 часа составляет самостоятельная работа аспиранта.

7. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (если есть).

В специалитете или магистратуре должны быть освоены общие курсы «Неорганическая химия», «Физическая химия», «Химическая технология».

8. Образовательные технологии (отметить если применяется электронное обучение и дистанционные технологии).

Используются следующие технологии: лекции-демонстрации и интерактивные лекции. Преподавание дисциплин проводится в форме авторских курсов по программам, которые составлены на основе результатов исследований, полученных сотрудниками МГУ и Академии наук РФ.

9. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических или астрономических часов и виды учебных занятий

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					Самостоятельная работа обучающегося, часы			
		из них					из них			
Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости коллоквиумы, практические контрольные занятия и др)*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п..	Всего		
Раздел 1. Основы тео-	6	4	-		-	2	6	-	-	-

рии газов										
Раздел 2. Сорбционное взаимодействие в системах газ-твердое тело	15	6	-	1	-	2	9	6		6
Раздел 3. Сорбционные методы газоразделения	25	10	-	1	-	2	13	6	6	12
Раздел 4. Мембранные методы газоразделения	27	10		1		2	13	8	10	18
Раздел 5. Основы технологии хранения и транспортировки газов	19	6		1		2	9		6	6
Промежуточная аттестация зачет по курсу	16						4	12		
Итого	108	36		4		10	54			54

10. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы аспирантов.

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

11. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Эткинс П., де Паула Дж. "Физическая химия", Мир, 2007
2. Курс физической химии. Т.1, 2. Под ред. Я.И.Герасимова. М., Химия. 1964-1973.
3. Мулдер М. Введение в мембранную технологию: Пер. с англ. М: Мир, 1999. -513 с.
4. Мембраны и мембранные технологии./ Отв. ред. Ярославцев А.Б. М.: Изд-во Научный мир, 2013.
5. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение. Под ред. Д.Ю.Гамбурга, Н.Ф.Дубовкина. М., Химия. 1989 г. 672 с.
6. Г.Алефельд, Ж.Фёлькль. Водород в металлах, т.1,2. Москва. Мир. 1981.
7. 1.Физические методы исследования неорганических веществ (под ред. Никольского А.Б.). М.: Академия, 2006

Дополнительная литература

1. Проблемы водородной энергетики. Российский химический журнал. 2006. №6.
2. D.P.Broom. Hydrogen storage materials.Springer. 2011.
3. Materials Science of Membranes for Gas and Vapor Separation. Ed. Yu.Yampolskii, I. Pinnau and B.D.Freeman.JohnWiley&Sons Ltd. 2006.
4. Воротынцев И.В. Физико-химические основы комплексных процессов разделения и глубокой очистки газов. Дисс. д.т.н. Нижний Новгород. 2011.
5. База Данных «Газоразделительные параметры стеклообразных полимеров». Информрегистр РФ.1998. № 3585

Интернет-ресурсы

<http://www.grasys.ru/technologies/>

- Перечень используемых информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы (при необходимости): нет
- Материально-техническое обеспечение: занятия проводятся в обычной аудитории с возможностью подключения техники для демонстрации презентаций. Вспомогательный материал в виде презентаций доступен аспирантам на сайте <http://chem.msu.ru/>

12. Язык преподавания - русский

13. Преподаватель (преподаватели).

Доцент, доктор химических наук Клямкин Семен Нисонович, E-mail: klyamkin@highp.chem.msu.ru

Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

1. Планируемые результаты обучения приведены в п.5.
 2. Вопросы для подготовки к текущей и промежуточной аттестации
- примеры контрольных вопросов:
 1. Каковы основные отличия в термодинамическом описании идеальных и реальных газов?
 2. Как оценить значение летучести по барической зависимости коэффициента сжимаемости газа?
 3. Каковы возможные причины гистерезиса при адсорбционном взаимодействии в системах газ-твердое тело?
 4. Что такое "металл-органические координационные полимеры" и в чем их преимущества по сравнению с другими адсорбентами?
 5. В каких процессах разделения газов применяются металлические мембраны? Каковы их основные свойства?
 6. Что такое "мембраны со смешанной матрицей" (МММ)?
 - примеры домашних заданий:
 1. Рассчитайте значение констант Генри и определите величину идеальной селективности для пары газов по заданным изотермам адсорбции
 2. Рассчитайте изменение энтропии и энтальпии образования и разложения гидридной фазы в системе интерметаллическое соединение - водород по заданным изотермам абсорбции и десорбции
 3. Рассчитайте коэффициент проницаемости и селективность газоразделение пары газов для пленочной мембраны по заданным результатам экспериментальных измерений потока.
 4. На основе литературных данных выберите оптимальный состав металлгидридного сорбента водорода для заданных p-T условий
 - полный перечень вопросов к зачёту:

1. Термодинамическое описание газообразного состояния. Идеальные и реальные газы. Уравнения состояния и область их применимости. Коэффициент сжимаемости и летучесть.
2. Критическое состояние вещества и закон соответственных состояний. Квантовые флюиды.
3. Расчеты параметров газовых систем с использованием уравнений состояния, коэффициента сжимаемости и летучести
4. Типы сорбционных взаимодействий. Адсорбция и абсорбция. Изотермы адсорбции газов. Уравнение и константа Генри. Изостерическая теплота адсорбции.
5. Уравнение изотермы полимолекулярной адсорбции Брунауэра, Эммета, Теллера (уравнение БЭТ). Определение удельной поверхности сорбентов. Интерпретация результатов расчета удельной поверхности по уравнению БЭТ.
6. Адсорбция на пористых сорбентах. Влияние размера и конфигурации пор. Капиллярная конденсация. Гистерезис при адсорбционном взаимодействии. Типы изотерм адсорбции по классификации ИЮПАК.
7. Хемосорбционное взаимодействие. Абсорбция в системах металл-водород. Основные стадии процесса и их характеристика.
8. Расчет термодинамических параметров взаимодействия по изотермам адсорбции и абсорбции.
9. Типы сорбентов, их основные характеристики. Влияние пористой структуры и состояния поверхности на сорбционную способность.
10. Углеродные материалы для сорбции газов. Активированные угли. Терморасширенный графит. Нанюглеродные материалы. Графен и материалы на его основе.
11. Металл-органические координационные полимеры. Особенности строения. Методы получения и активации. Возможные области применения.
12. Гидридообразующие металлы и интерметаллические соединения как абсорбенты водорода. Основные типы, их преимущества и недостатки. Особенности применения.
13. Металлогидридные системы для выделения водорода из газовых смесей. Влияние примесей на процесс сорбции-десорбции водорода. Эффект отравления поверхности и ее реактивация. Разделение изотопов водорода.
14. Селективность сорбции и методы ее определения. Идеальная селективность.
15. Короткоцикловая адсорбция, способы реализации процесса. Безнагревная КЦА. Напорные, вакуумные и смешанные методы. Преимущества и недостатки КЦА, области применения.
16. Мембраны: определение, принципы классификации, основные типы, свойства и методы получения.
17. Принцип мембранного газоразделения. Массоперенос в мембранах. Механизм "растворение-диффузия". Основные уравнения. Проницаемость и селективность. Диаграммы Робсона.
18. Неорганические мембраны: керамические, углеродные пористые, металлические мембраны. Палладиевые мембраны и мембраны на основе гидридообразующих интерметаллических соединений для очистки водорода.
19. Полимерные газоразделительные мембраны. Выбор материалов. Преимущества и недостатки полимерных мембран.

20. Композитные мембраны, мембраны со смешанной матрицей (МММ). Типы наполнителей в МММ. Особенности структуры и свойства композитных мембран.
21. Половолоконные мембраны и мембранные модули. Методы получения, особенности конструкции. Требования к материалам мембранных полых волокон.
22. Сжижение и компримирование как технология хранения газов. Композитные баллоны высокого давления. Гибридные системы хранения высокого давления.
23. Сорбционные методы хранения газов, цеолиты, углеродные материалы и металл-органические координационные полимеры. Выбор сорбентов и анализ их применимости.
24. Методы хранения водорода. Гидриды интерметаллических соединений и комплексные гидриды. Латентные методы хранения, водородгенерирующие материалы.

Примеры ПКЗ.

Задание 1.

Выберите оптимальный по соотношению проницаемость/селективность полимерный материал для мембранного разделения заданной пары газов на основе табличных значений коэффициентов проницаемости

Задание 2.

Рассчитайте объемную и гравиметрическую емкость металлогидридной системы хранения водорода при заданных термобарических условиях на основе набора изотерм абсорбции.

Задание 3.

Предложите тип наполнителя для создания мембраны со смешанной матрицей на основе заданного полимера для повышения эффективности газоразделения определенной пары газов.

(*) ПКЗ могут предлагаться в процессе индивидуального собеседования; оценка по ним учитывается как одна из составляющих общей оценки экзамена кандидатского минимума.

Основные типы контроля знаний:

- тестирование;
- индивидуальное собеседование,
- письменные ответы на вопросы.

Основной тип контроля умений и владений - практические контрольные задания (ПКЗ), включающих одну или несколько задач (вопросов) в виде краткой формулировки действий (комплекса действий), которые следует выполнить, или описание результата, который нужно получить.

Виды практических контрольных заданий:

- задания на установление правильной последовательности, взаимосвязанности действий, выяснения влияния различных факторов на результаты выполнения задания;
- установление последовательности (описать алгоритм выполнения действия),
- нахождение ошибок в последовательности (определить правильный вариант последовательности действий);
- указать возможное влияние факторов на последствия реализации умения и т.д.
- задания на принятие решения в нестандартной ситуации (ситуации выбора, многоальтернативности решений, проблемной ситуации);
- задания на оценку последствий принятых решений;
- задания на оценку эффективности выполнения действия
- т.п.

Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Зачет проводится по билетам. В ходе сдачи зачета проверяется, в первую очередь, формирование «знаниевой» компоненты компетенций, перечисленных в п.5, а также сформированность перечисленных в п.5 умений. Уровень знаний аспиранта по каждому вопросу оценивается на «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». В случае, если на все вопросы был дан ответ, оцененный не ниже чем «удовлетворительно», аспирант получает общую оценку «зачтено». Ведомость приема зачета подписывается членами комиссии.

Шкала оценивания знаний, умений и навыков является единой для всех дисциплин (приведена в таблице ниже)

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)				
Оценка \ Результат	2	3	4	5
Знания	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения	Отсутствие	В целом успешное, но не	В целом успешное, но содержащее	Успешное и систематическое

	умений	систематическое умение	отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	умение
Навыки (владения)	Отсутствие навыков	Наличие отдельных навыков	В целом, сформированные навыки, но не в активной форме	Сформированные навыки, применяемые при решении задач