

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»

Кафедра физической химии

УТВЕРЖДАЮ



Декан ФЕН НГУ, профессор

Резников В.А.

«29» августа 2014 г.

КИНЕТИКА ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ

Учебно-методический комплекс

Факультет естественных наук

Курс 4, семестр 7

Форма обучения

Очная

Новосибирск 2014

Учебно-методический комплекс «Кинетика процессов горения» предназначен для студентов химиков четвертого курса факультета естественных наук НГУ, специальность 020201 «Фундаментальная и прикладная химия». В состав комплекса включена рабочая программа дисциплины «Кинетика процессов горения», структура курса. Кроме того, приведены перечни теоретических вопросов и задач к экзамену по всему курсу.

Составитель:

Замашников В.В., ст. преподаватель

© Новосибирский государственный университет, 2014

Содержание

Аннотация	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
5. Образовательные технологии	9
6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для проведения аттестации по итогам освоения дисциплины	9
7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины. Рекомендованная литература к теоретическому курсу.....	11
8. Материально-техническое обеспечение дисциплины	11

Рабочая программа дисциплины «Кинетика процессов горения»

Аннотация

Дисциплина «Кинетика процессов горения» относится к вариативной части 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 физической химии.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных со спецификой протекания процесса горения, в том числе химических реакций при высоких температурах. Полученные в рамках данной дисциплины знания, дополняют, и расширяют представления, заложенные в базовых курсах химической кинетики и термодинамики. Усвоение содержания курса предполагает знание гидродинамики, термодинамики, статистической физики и химической кинетики.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника общекультурных компетенций: ОК-11, ОК-16; профессиональных компетенций: ПК-1, ПК-4, ПК-11, ПК-12.

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

Программой дисциплины предусмотрены промежуточная аттестация в форме экзамена.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 академических часа. Программой дисциплины предусмотрены 34 лекционных часа, 35 часов самостоятельной работы студентов, а также 3 часа для проведения экзамена и консультации.

1. Цели освоения дисциплины

Курс ставит своей основной целью ознакомление с основами теории горения, расширение знаний студентов об особенностях протекания химических реакций во фронте пламени. Помимо непосредственного ознакомления с основным материалом, курс ставит целью научить студентов ориентироваться в специальной литературе, том числе с применением аппарата высшей математики и специальной справочной информации, создать у студентов представление о путях развития современной науки в этой области.

Курс содержит семь тематических разделов:

• Введение: основные понятия. Уравнение диффузии, теплопроводности. Термодиффузия. Уравнение движения.

- Плоское пламя. Эффекты кривизны и растяжения пламени.
- Режимы горения.
- Кинетика химических реакций.
- Методы исследования.
- Пределы.
- Детонация.

Студентам предлагается самостоятельное изучение рекомендуемой литературы с последующим обсуждением различных вопросов.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Кинетика процессов горения» относится к вариативной части профессионального (специального) цикла ООП по специальности 020201 «Фундаментальная и прикладная химия».

Дисциплина «Кинетика процессов горения» опирается на следующие дисциплины данной ООП:

- Физическая химия;
- Математический анализ (решение дифференциальных уравнений);
- Физика;
- Химическая термодинамика (свободная энергия системы частиц);
- Химическая кинетика (закон действующих масс, формальная кинетика)

Результаты освоения дисциплины «Кинетика процессов горения» используются в следующих дисциплинах данной ООП:

- Неравновесная термодинамика;
- Современные методы химической кинетики.

Полученные специальные знания необходимы в ходе прохождения производственной практики (НИР) и выполнения квалификационной работы, служат базой для дальнейшего получения квалификации магистра, а также необходимы в дальнейшей профессиональной деятельности.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

а) общекультурные компетенции (ОК):

- способностью использовать в профессиональной деятельности базовые знания в области информатики и современных информационных технологий, наличием навыков использования программных средств и работы в компьютерных сетях, умением создавать базы специальных данных и использовать ресурсы сети Интернет (ОК-11);
- способностью в условиях развития науки и техники к критической переоценке накопленного опыта и творческому анализу своих возможностей (ОК-16);

б) профессиональные компетенции (ПК):

- пониманием сущности и социальной значимости профессии, основных перспектив и проблем, определяющих конкретную область деятельности (ПК-1);
- использованием основных законов естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применением методов математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ПК-4);
- знанием основ теории фундаментальных разделов химии (прежде всего неорганической, аналитической, органической, физической, химии высокомолекулярных соединений, химии биологических объектов, химической технологии) (ПК-11);
- умением применять основные законы химии при обсуждении полученных результатов, в том числе с привлечением информационных баз данных (ПК-12).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- иметь представление о механизмах распространения дефлаграционного и детонационного пламени; о цепном и тепловом взрыве; о влиянии избирательной диффузии и геометрии пламени на характеристики волны горения.
- знать особенности кинетики разветвленных и неразветвленных цепных реакций; механизм ингибирования цепных реакций; виды и природа пределов; основные характеристики волны горения и от чего они зависят; характерные величины нормальных скоростей и температуры пламени для углеводородо-воздушных пламен.
- уметь решать задачи оценочного типа, возникающие в ходе научной работы в области физической химии и химической кинетики.

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)					Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекция	Семинар. работа	Самост. работа	Контр. работа	Экзамен	
1.	Раздел I. Введение.			3		2			
1.1	Тема 1. Цели и задачи теории горения. Основные понятия. Область приложения.	7	1	1	0	1			
1.2	Тема 2. Уравнения диффузии, теплопроводности. Термодиффузия. Уравнение движения.		2-3	2	0	1			
2.	Раздел II. Плоское пламя. Эффекты кривизны и растяжения пламени			10		4			
2.1	Тема 3. Механизм распространения пламени. Основные характеристики плоского пламени.	7	3	2	0	1			
2.2	Тема 4. Устойчивость плоского фронта. Гидродинамическая неустойчивость.		4-5	2	0	1			
2.3	Тема 5. Влияние кривизны, растяжения и ускорения на нормальную скорость.		5-6	3	0	1			
2.4	Тема 6. Диффузионно-тепловая неустойчивость. Зависимость нормальной скорости от кривизны и растяжения.		6-7	3	0	1			
3.	Раздел III. Режимы горения.			3		2			
3.1.	Тема 7. Ламинарное и турбулентное движение газа. Турбулентное горение. Режимы турбулентного горения. Скорость турбулентного горения.	7	7-8	2		1			
3.2.	Тема 8. Диффузионное горение.		9	1		1			
4.	Раздел IV. Кинетика химических реакций			6		2			
4.1.	Тема 9. Неразветвленные и разветвлённые химические реакции. Пепной взрыв.	7	10-11	3		1			
4.2.	Тема 10. Самовоспламенение H_2-O_2 . Водородное пламя. Самовоспламенение CH_4+O_2 . Метановое пламя.		11-12	3		1			
5.	Раздел V. Методы исследования.			6		3			
5.1	Тема 11. Методы измерения нормальной скорости.	7	12	2		1			
5.2.	Тема 12. Спонтанное и вынужденное комбинационное рассеяние света. Двухмерная лазер- индуцированная флюоресценция.		13-14	2		1			
5.3.	Тема 13. Шлирен и теневой метод. Измерение температуры и давления. Измерение скорости газа.		14	2		1			
6.	Раздел VI. Пределы.			3		2			
6.1.	Тема 14. Природа пределов. Тепловая теория. Гасящий лиаметр.	7	15-16	2		1			
6.2	Тема 15. Зажигание. Условие зажигания. Минимальная энергия зажигания		16	1		1			
7	Раздел VII. Детонация.			3		2			
	Тема 16. Распространение слабых возмущений. Формирование ударной волны и ее свойства.	7	16-17	2		1			
	Тема 17. Классическая теория детонации. Точка Чепмена-Жуге.		17	1		1			
								1	Консультация
		7				18		2	Экзамен
	ИТОГО			34		35		3	

Программа курса лекций

I. Введение

1. Цели и задачи теории горения. Основные понятия. Гомогенное и диффузионное пламя. Область приложения.
2. Уравнения диффузии, теплопроводности. Термодиффузия. Уравнение движения.

II. Плоское пламя. Эффекты кривизны и растяжения пламени.

1. Механизм распространения пламени. Основные характеристики плоского пламени. Законы сохранения. Энтальпия. Критерии подобия в горении.
2. Упрощенное выражение для нормальной скорости. Устойчивость плоского фронта. Гидродинамическая неустойчивость.
3. Влияние кривизны, растяжения и ускорения на нормальную скорость. Диффузионно-тепловая неустойчивость. Зависимость нормальной скорости от кривизны и растяжения.
4. Особенности горения в замкнутом объеме. Влияние силы тяжести. Распространения пламени в вертикальной и горизонтальной трубе.

III. Режимы горения.

1. Турбулентное горение. Ламинарное и турбулентное движение газа. Взаимное влияние горения и течения. Режимы турбулентного горения. Скорость турбулентного горения.
2. Диффузионное горение. Одномерное диффузионное пламя (упрощенная модель).
3. Стабилизация пламени на бунзеновской горелке. Стабилизация пламени в расходящемся потоке.
4. Влияние электрического и магнитного поля. Акустические явления.

IV. Кинетика химических реакций.

1. Неразветвленные и разветвленные цепные реакции. Цепной взрыв. Развитие цепной реакции во времени.
2. Самовоспламенение H_2-O_2 . Водородное пламя. Окисление монооксида углерода.
3. Самовоспламенение CH_4+O_2 . Метановое пламя.
4. Тепловой взрыв. Условие воспламенения. Период индукции.

V. Методы исследования.

1. Методы измерения нормальной скорости.
 - a. По начальному участку записи давления.
 - b. По зависимости радиуса пламени от времени.
 - c. Определение нормальной скорости на горелках.
2. Зависимость нормальной скорости от начальных условий.
3. Излучение пламен. Спонтанное и вынужденное комбинационное рассеяние света.
4. Двухмерная лазер- индуцированная флюоресценция.
5. Шлирен и теневой метод. Измерение температуры и давления. Измерение скорости газа.

VI. Пределы.

1. Природа пределов. Тепловая теория. Свободно-конвективный предел при распространении пламени сверху вниз. Кондуктивный предел. Гасящий размер.
2. Концентрационные пределы.
3. Зажигание. Условие зажигания. Минимальная энергия зажигания.

VII. Детонация.

1. Распространение слабых возмущений. Скорость звука. Формирование ударной волны и ее свойства.
2. Классическая теория детонации. Точка Чепмена-Жуге.

5. Образовательные технологии

Учебный курс «Кинетика процессов горения» читается в виде лекций с элементами семинара – студенты привлекаются к решению возникающих по ходу изложения лекционного материала задач-оценок. В целом занятия проводятся в интерактивной форме - обсуждаются способы решения поставленных задач, оптимальность предложенных решений.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для проведения аттестации по итогам освоения дисциплины.

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующим учебными материалами, которые имеются в библиотеке ИХКГ СО РАН:

1. В.Н. Кондратьев, Е.Е. Никитин. Кинетика и механизм газофазных реакции. Наука. М., 1974
2. Б. Льюис, Г. Эльбе. Горение, пламя и взрывы в газах. Мир. М., 1968
3. А.Я. Зельдович, Г.И. Баренблатт, В.Б. Либрович, Г.М. Махвиладзе. Математическая теория горения и взрыва. Наука, М., 1980
4. Д.А. Франк-Каменецкий. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. Наука. М., 1977

Перечень задач для самостоятельной работы

1. Роль избирательной диффузии при распространении пламени.
2. Выражения для скорости растяжения (stretch rate) цилиндрического пламени и пламен, полученных на встречных потоках.
3. Турбулентное горение предварительно не перемешанной смеси.
4. Пламя Burke-Schumann.
5. Вибрационное горение.
6. Холодные пламена.
7. Фильтрационное горение. Туннельная горелка.
8. Ионный ветер. Образование ионов в пламени.
9. Двигатель внутреннего сгорания.
10. Фундаментальный предел.
11. Концентрационные пределы для топливных смесей. Принцип Ле Шателье
12. Ингибирование и промотирование пламени.
13. Горение в сверхзвуковых потоках.
14. Горение аэрозолей.
15. Зажигание горячей поверхностью.
16. Влияние давления и начальной температуры на нормальную скорость.
17. Методы уменьшения вредных выбросов при горении.

Перечень теоретических вопросов и задач к экзамену по всему курсу

1. Уравнения диффузии, теплопроводности. Термодиффузия. Уравнение движения.
2. Диффузия тепла и частиц в плоском пламени. Толщина зоны подогрева и химического превращения (зоны, где протекают основные химические реакции).
3. Что такое нормальная скорость? Характерные значения нормальной скорости для углеводородо-воздушных пламен.
4. Гидродинамическая неустойчивость плоского пламени.
5. Влияние кривизны и растяжения поверхности пламени на основные характеристики волны горения. Что такое скорость растяжения (stretch rate)?

6. Число Льюиса. Как зависит реакция фронта горения на деформацию от числа Льюиса.
7. Выражение для скорости растяжения (stretch rate) бесконечно тонкого фронта горения.
8. Турбулентное и ламинарное течение. В чем различие? Число Рейнольдса.
9. Скорость турбулентного горения. Режимы турбулентного горения.
10. Диффузионное горение. Рассмотреть на основе простейшая модель диффузионного горения.
11. Горелка Бунзена. Механизм стабилизации пламени на ней. Пламена, полученные на встречных потоках. Механизм стабилизации.
12. Акустические явления при горении.
13. Цепные реакции. Неразветвленные и разветвленные цепные реакции. Цепной взрыв.
14. Тепловой взрыв.
15. Детальная кинетика водородного и метанового пламени. Основные реакции продолжение цепи.
16. Методы измерения нормальной скорости.
17. Зависимость нормальной скорости от температуры и давления.
18. Спонтанное и вынужденное комбинационное рассеяние. В чем различие?
19. Двухмерная лазер- индуцированная флуоресценция.
20. Методы измерения скорости газа.
21. Теневая и шпирен фотография.
22. Тепловая теория пределов. Критический размер канала. Предельное условие. Число Пекле.
23. Концентрационные пределы.
24. Условие зажигания. Минимальная энергия зажигания.
25. Звуковая и ударная волна. Детонационная волна. Основные уравнения.
26. Адиабаты Гюгонье. Точка Чепмена-Жуге.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины. Рекомендованная литература к теоретическому курсу.

Список основной литературы

1. В.Н. Кондратьев, Е.Е. Никитин. Кинетика и механизм газофазных реакции. Наука. М., 1974
2. Б. Льюис, Г. Эльбе. Горение, пламя и взрывы в газах. Мир. М., 1968
3. А.Я. Зельдович, Г.И. Баренблатт, В.Б. Либрович, Г.М. Махвиладзе. Математическая теория горения и взрыва. Наука, М., 1980
4. Д.А. Франк-Каменецкий. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. Наука. М., 1977
5. К.И. Щелкин, Я.К. Трошин. Газодинамика горения. Наука, М., 1963
6. Е.С. Щетинков. Физика горения газов. Наука, М., 1965

Список дополнительной литературы

1. Ф.А. Вильямс. Теория горения. Наука. М., 1976
2. Ю. Варнатц, У. Маас, Р. Диббл. Горение. Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ. Пер. с англ. Под. ред. П.А. Власова. М., Физматлит. 2003
3. С.К. Law. Combustion Physics. Cambridge. University Press, New York. 2006
4. С.И. Футько, С.А. Жданок. Химия фильтрационного горения газов. Минск. "Беларуская навука". 2004
5. А.С. Соколик. Самовоспламенение. Пламя и детонация в газах. Наука, М., 1960
6. Дж. Г. Маркштейн. Нестационарное распространение пламени. "Мир". М. 1968

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Аудитории в ИХКГ СО РАН, оборудованные всем необходимым для чтения лекций: доска, экран, компьютер, мультимедийный проектор.

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».

Авторы: Замашиков Валерий Владимирович, д.ф.-м.н., старший преподаватель кафедры физической химии ФЕН, в.н.с. ИХКГ СО РАН

Программа одобрена на заседании кафедры физической химии 21 мая 2014 г.

Секретарь кафедры к.х.н., доцент  Л.Н. Зеленина