

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижнекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
(НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ»)



УТВЕРЖДАЮ  
Заместитель директора по УР  
Н.И.Никифорова

« 30 » 05 2022г.

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

по дисциплине

**Б1.О.21 «Физическая химия»**

**18.03.01 «Химическая технология»**

(код и наименование направления подготовки/специальности)

«Химическая технология органических веществ»

«Технология переработки полимеров»

«Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов»

(наименование профиля/специализации)

бакалавр

форма обучения:

очная, очно-заочная, заочная

Нижнекамск, 2022г.

Составитель ФОС:  
доцент кафедры ОХБТ



Э.Н. Нуриева

ФОС рассмотрен и одобрен на заседании кафедры ОХБТ, протокол от  
«22» апреля 2022г. № 8

Зав. кафедрой



Л.И.Агзамова

**СОГЛАСОВАНО**

Протокол заседания кафедры НХС, реализующей подготовку основной образовательной  
программы, от «06» апреля 2022г. № 8

Зав. кафедрой



Р.З.Агзамов

Эксперт: ответственный за ООП,  
разработчик учебного плана,  
доцент каф.НХС НХТИ ФГБОУ  
ВО «КНИТУ»



А.И.Новожилова

***Перечень компетенций и индикаторов достижения компетенций с указанием этапов формирования в процессе освоения дисциплины***

Компетенция: ОПК-1 Способен изучать, анализировать, использовать механизмы химических реакций, происходящих в технологических процессах и окружающем мире, основываясь на знаниях о строении вещества, природе химической связи и свойствах различных классов химических элементов, соединений, веществ и материалов.

Индикаторы достижения компетенции:

ОПК 1.1 знает теоретические основы химии, принципы строения вещества, основы классификации соединений, способы получения и химические свойства соединений, основные механизмы протекания химических реакций, основные законы и соотношения физической химии, основные законы термодинамики поверхностных явлений, свойства дисперсных систем, методы исследования поверхностных явлений дисперсных систем.

ОПК 1.2 умеет использовать химические законы, справочные данные и количественные соотношения в химических реакциях для решения профессиональных задач, прогнозировать влияние различных факторов на равновесие, составлять кинетические уравнения, классифицировать электроды и электрохимические цепи, проводить расчеты с использованием основных соотношений термодинамики поверхностных явлений и расчеты основных характеристик дисперсных систем.

ОПК 1.3 владеет навыками описания свойств простых и сложных веществ на основе электронного строения, экспериментальными навыками определения физических и химических свойств соединений, установления структуры соединений, навыками решения типовых задач в области химической термодинамики, фазовых равновесий и фазовых переходов, электрохимии и химической кинетики

Индикаторы достижения компетенции	Этапы формирования компетенции (указать все темы из РПД)				Наименование оценочного средства
	Лекции	Практические занятия, лабораторный практикум	Лабораторные занятия	Курсовой проект (работа)	
ОПК-1.1	Тема 1, тема 2, тема 3.	Не предусмотрены	Тема1, тема 2, тема 3.	Не предусмотрена	<i>Лабораторная работа. Коллоквиум. Контрольная работа у заочников; экзамен.</i>
ОПК-1.2	Тема 1, тема 2, тема 3.	Не предусмотрены	Тема1, тема 2, тема 3.	Не предусмотрена	<i>Лабораторная работа. Коллоквиум. Контрольная работа у заочников; экзамен</i>
ОПК-1.3	Тема 1, тема 2, тема3.	Не предусмотрены	Тема1, тема 2, тема 3.	Не предусмотрена	<i>Лабораторная работа. Коллоквиум. Контрольная работа у заочников; экзамен</i>

### *Перечень оценочных средств по дисциплине*

#### *Шкала оценивания*

Цифровое выражение	Выражение в баллах:	Словесное выражение	Критерии оценки индикаторов достижения при форме контроля:	
			экзамен / зачет с оценкой	зачет
5	87 - 100	Отлично (зачтено)	Оценка «отлично» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов; исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно излагает материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний; использует в ответе дополнительный материал все предусмотренные программой задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному; анализирует полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий	Оценка «зачтено» выставляется студенту, если ответы на вопросы по темам дисциплины последовательны, логически изложены, допускаются незначительные недочеты в ответе студента, такие как отсутствие самостоятельного вывода, речевые ошибки и пр.
4	74 - 86	Хорошо (зачтено)	Оценка «отлично» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов; исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно излагает материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний; использует в ответе дополнительный материал все предусмотренные программой задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному; анализирует полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий	
3	60 - 73	Удовлетворительно (зачтено)	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, большинство предусмотренных программой заданий выполнено, но в них имеются ошибки, при ответе на поставленный вопрос студент допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, наблюдаются нарушения логической последовательности в изложении программного материала.	
2	Ниже 60	Неудовлетворительно (не зачтено)	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если он не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы, необходимые компетенции не сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнено, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к минимальному	Оценка «не зачтено» выставляется студенту, если студент не знает основных понятий темы дисциплины, не отвечает на дополнительные и наводящие вопросы преподавателя.

**3 – семестр – очная/очно-заочная/заочная формы:**

<b>Оценочные средства</b>	<b>Кол-во</b>	<b>Min, баллов</b>	<b>Max, баллов</b>
<b>Лабораторная работа.</b>	<b>2/1/1</b>	<b>8</b>	<b>16</b>
<b>Коллоквиум</b>	<b>4/4/4</b>	<b>20</b>	<b>32</b>
<b>Контрольная работа у заочников</b>	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>12</b>
<b>Экзамен</b>		<b>24</b>	<b>40</b>
<b>Итого</b>		<b>36</b>	<b>60</b>

**4 – семестр – очная/очно-заочная/ заочная формы:**

<b>Оценочные средства</b>	<b>Кол-во</b>	<b>Min, баллов</b>	<b>Max, баллов</b>
<b>Лабораторная работа.</b>	<b>2/1/1</b>	<b>8</b>	<b>16</b>
<b>Коллоквиум</b>	<b>4/4/4</b>	<b>20</b>	<b>32</b>
<b>Контрольная работа у заочников</b>	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>12</b>
<b>Экзамен</b>		<b>24</b>	<b>40</b>
<b>Итого</b>		<b>36</b>	<b>60</b>

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
*Факультет-технологический*  
*Кафедра - ОХБТ*  
Направление 18.03.01 «Химическая технология»  
профиль/программа:  
«Химическая технология органических веществ»  
«Химическая технология высокомолекулярных соединений»  
«Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов»  
Семестр 3

**Экзаменационные вопросы по курсу дисциплины «Физическая химия»  
(3 семестр)**

1. Основные определения и понятия химической термодинамики (система, параметр, функция состояния, процесс). Внутренняя энергия, теплота и работа. Связь между ними.
2. Первый закон термодинамики, формулировки и математическое выражение.
3. Термохимия. Тепловые эффекты реакций при изохорном и изобарном процессах. Связь между термодинамическими величинами изобарных и изохорных процессов. Закон Гесса и следствия из него.
4. Теплоемкость веществ. Изохорная и изобарная теплоемкости. Зависимость теплового эффекта реакции от температуры, закон Кирхгофа, анализ уравнения Кирхгофа.
5. Приближенное и точное интегрирование уравнения Кирхгофа и расчеты тепловых эффектов при любой температуре.
6. Самопроизвольные, равновесные и несамопроизвольные процессы. Два метода определения возможности, направления и предела протекания самопроизвольных процессов.
7. Обратимые и необратимые процессы. Энтропия как мера беспорядка. Энтропия и термодинамическая вероятность. Уравнение Больцмана. Термодинамический взгляд на энтропию.
8. Второй закон термодинамики, математическое выражение.
9. Энтропия как критерий направленности самопроизвольных процессов.
10. Энергия Гиббса и энергия Гельмгольца, их связь с работой процесса.
11. Термодинамические функции как критерии направленности самопроизвольных процессов.
12. Термодинамические характеристические функции. Вывод уравнения Гиббса-Гельмгольца.
13. Химический потенциал.
14. Химическое равновесие. Закон действия масс. Вывод константы равновесия.
15. Способы выражения констант равновесия и связь между ними. Химическое равновесие в гетерогенных системах.
16. Изотерма Вант-Гоффа и ее использование для определения направления протекания химической реакции.
17. Зависимость константы равновесия от температуры (уравнение изобары и изохоры Вант-Гоффа): анализ уравнения изобары.
18. Интегрирование уравнения изобары Вант-Гоффа.
19. Зависимость константы равновесия от давления, уравнение Планка, его анализ.
20. Уравнение изобары Вант-Гоффа и уравнение Планка как количественное выражение принципа Ле Шателье.
21. Третий закон термодинамики. Тепловая теорема Нернста. Расширенная формулировка Планка. Расчет абсолютной энтропии.

22. Расчет константы равновесия по табличным значениям, при заданной температуре (I и II приближение Улиха, метод Шварцмана-Темкина), интегрированием изобары, по комбинированным равновесиям.
23. Термодинамика реальных газовых систем. Уравнение состояния реальных газов. Термодинамика равновесий в реальных газовых системах. Фугитивность и активность.
24. Фазовое равновесие, понятия «фаза», «компонент», «степень свободы». Правило фаз Гиббса. Классификация систем в соответствии с правилом фаз Гиббса.
25. Однокомпонентные системы. Диаграммы состояния воды,  $\text{CO}_2$  и серы.
26. Тепловые эффекты фазовых переходов. Уравнение Клапейрона - Клаузиуса, вывод и анализ. Интегрирование уравнения Клапейрона - Клаузиуса.
27. Растворы. Характеристика и свойства растворов, способы выражения концентраций. Идеальные, предельно разбавленные и реальные растворы.
28. Давление насыщенного пара над раствором. Закон Рауля. Отрицательные и положительные отклонения от закона Рауля.
29. Диаграммы «давление - состав» и «температура - состав» жидких систем с неограниченной взаимной растворимостью компонентов. Законы Коновалова.
30. Перегонка и ректификация двойных жидких систем с неограниченной взаимной растворимостью компонентов.
31. Двухкомпонентные растворы, один из компонентов которого нелетуч. Повышение температуры кипения, понижение температуры замерзания растворов. Определение молярной массы растворенного вещества (эбулиоскопия и криоскопия). Коэффициент Вант-Гоффа  $i$ . Осмотическое давление растворов.
32. Равновесие в двойных конденсированных системах. Диаграммы состояния неизоморфноплавящихся систем с простой эвтектикой на примере  $\text{Bi} - \text{Cd}$ , с образованием устойчивого химического соединения на примере  $\text{Mg} - \text{Sn}$ , изоморфноплавящихся веществ ( $\text{Ag} - \text{Au}$ ). Кривые охлаждения одно- и двухкомпонентных систем, термический анализ.
33. Ограниченная взаимная растворимость жидкостей. Диаграмма состояния «анилин - вода».
34. Трехкомпонентные системы, изображение состава, треугольники Гиббса и Розебума. Ограниченная растворимость в трехкомпонентных системах. Коэффициент распределения и закон распределения. Экстракция.

### Примерные задачи к экзамену (3 семестр)

1. Для реакции  $\text{CO}_2 + \text{H}_2 = \text{HCOOH}_{(г)}$  рассчитайте а) тепловой эффект при  $p = \text{const}$ ; б) при  $V = \text{const}$ ; в)  $\Delta S$ ; г) тепловой эффект при  $T = 500 \text{ K}$ , считая  $C_p = \text{const}$ ; д) напишите выражения для констант равновесия  $K_p$  и  $K_c$ .
2. В объеме 10 л смешали 29 г бутана и 10 г  $\text{H}_2$ . Определите состав равновесной смеси, если для данной реакции при температуре  $T$  константа равновесия  $K_c = 2$  ( $\text{C}_4\text{H}_{10} = \text{C}_4\text{H}_6 + 2\text{H}_2$ ).
3. В объеме 10 л взяли 320 г  $\text{O}_2$ , 10 г  $\text{H}_2$  и 180 г паров воды. Определить, в какую сторону пойдет реакция, если  $K_c = 10$  при температуре  $T$ . В какую сторону сместится равновесие химической реакции, если 1) в равновесную смесь добавить паров воды, 2) повысить температуру, 3) увеличить давление.
4. Водный раствор, содержащий 0,225 моль/кг  $\text{NaOH}$ , замерзает при температуре  $-0,667^\circ\text{C}$ . Определите кажущуюся степень диссоциации  $\text{NaOH}$  в этом растворе, если криоскопическая константа воды  $1,86 \text{ K} \cdot \text{кг} / \text{моль}$ .
5. 68,4 г сахарозы растворено в 1000 г воды. Рассчитайте: а) температуру замерзания, б) температуру кипения раствора. Криоскопическая и эбуллиоскопическая постоянные воды равны  $1,86$  и  $0,52 \text{ K} \cdot \text{кг} \cdot \text{моль}^{-1}$ , соответственно.
6. Определите знак  $\Delta V$ ,  $\Delta H$ ,  $\Delta S$ ,  $dp/dT$  для перехода  $\text{H}_2\text{O}_{(г)} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_{(кр)}$ .

Рассчитайте давление паров воды над 10%-ным водным раствором ацетона при температуре 60 °С, считая раствор идеальным. Давление насыщенного пара над чистой водой при данной температуре равно 19919 Па.

### Экзаменационные вопросы по курсу дисциплины «Физическая химия» (4 семестр)

1. Химическая кинетика. Понятия скорости и константы скорости реакции. Зависимость скорости реакции от концентрации. Общий и частный порядки реакции, понятие молекулярности. Вывод уравнений 0, 1, 2, 3 порядка реакции. Методы определения порядка реакции.
2. Кинетика сложных реакций: обратимых, параллельных и последовательных. Вывод уравнений для констант скоростей сложных реакций и их кинетические кривые. Метод стационарных концентраций Боденштейна.
3. Зависимость скорости реакции от температуры. Правило Вант-Гоффа и уравнение Аррениуса в экспоненциальной, дифференциальной и интегральной форме. Вывод уравнения Аррениуса. Два метода расчета энергии активации. Связь правила Вант-Гоффа с уравнением Аррениуса.
4. Теория активных столкновений. Вывод уравнения ТАС. Мономолекулярные реакции с точки зрения ТАС. Теория Линдемана, его анализ.
5. Теория активированного комплекса (ТАК). Вывод основного уравнения ТАК. Уравнение Эйринга. Физический смысл энтропии и энтальпии активации.
6. Кинетика реакций в растворах с точки зрения ТАС и ТАК, уравнение Бренстеда-Бьеррума для мономолекулярных и бимолекулярных реакций. Кинетика реакций в растворах электролитов, вывод уравнения.
7. Цепные реакции. Стадии зарождения, роста и обрыва цепи. Кинетика неразветвленных и разветвленных цепных реакций. Вывод уравнения Семенова, его анализ. Верхний и нижний пределы взрываемости.
8. Типы фотохимических реакций (ФХР). Законы фотохимии, вывод уравнения скорости ФХР.
9. Гетерогенные процессы и их стадии. Стационарная и нестационарная диффузия, 1 и 2 законы Фика. Примеры процессов стационарной диффузии. Вывод уравнения скорости реакции на границе раздела фаз, его анализ.
10. Адсорбция. Особенности адсорбции на твердом катализаторе, теория Ленгмюра. Уравнения Ленгмюра и Фрейндлиха.
11. Основные положения и особенности катализа. Кинетика гомогенного катализа. Вывод и анализ кинетических уравнений с участием веществ Аррениуса и Вант-Гоффа.
12. Кислотно-основной гомогенный катализ, зависимость константы скорости специфического катализа от pH среды.
13. Особенности гетерогенного катализа. Окислительно-восстановительный и кислотно-основной катализ. Активность катализатора. Теории гетерогенного катализа, мультиплетная теория Баландина (принципы энергетического и структурного соответствия).

### Примерные задачи к экзамену (4 семестр)

**Задача 1.** Для химической реакции получены кинетические данные:

τ, мин	0	10	30	50	70
С, моль/л	0,400	0,270	0,164	0,118	0,092

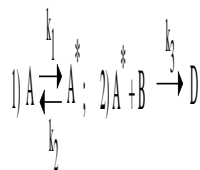
Определите порядок реакции методом подстановки.

**Задача 2.** Для химической реакции, описываемой кинетическим уравнением  $w = kC_A$ , начальная концентрация вещества А составляла 2,5 моль/л, а за 45 мин от начала реакции



концентрация его уменьшилась на 1,5 моль/л. Рассчитайте время полупревращения вещества А.

**Задача 3.** Реакция  $A + B \rightarrow D$  протекает по следующему механизму:



$A^*$  - промежуточная неустойчивая частица. Используя метод стационарных концентраций Боденштейна, выразите скорость процесса через концентрацию промежуточного вещества, если лимитирующей является вторая стадия.

**Задача 4.** Во сколько раз увеличится скорость газовой реакции при 350 К, если в кинетическую систему ввести твердый катализатор. Энергия активации реакции без катализатора равна  $E_1=56$  кДж/моль, а с катализатором -  $E_2=21$  кДж/моль. Предэкспоненциальные множители в уравнении Аррениуса в обоих случаях равны.

**Задача 5.** Химическая реакция протекает согласно кинетическому уравнению  $w=kC_A C_B$ . Рассчитайте константу скорости реакции, если начальные концентрации веществ А и В составляли 1,5 моль/л, а за 80 мин от начала реакции израсходовалось по 0,37 моль/л веществ А и В.

**Задача 6.** Для химической реакции, описываемой кинетическим уравнением  $w=kC_A C_B$ , начальные концентрации веществ А и В составляли:  $[C_A]_0=0,5$  моль/л,  $[C_B]_0=0,9$  моль/л. Через 30 мин от начала реакции концентрация вещества А составила 0,25 моль/л, а концентрация вещества В - 0,30 моль/л. Рассчитайте константу скорости реакции.

### ***Критерии оценки экзамена по дисциплине Б1.О.21 «Физическая химия»***

<b>Оценка</b>	<b>Описание</b>
<b>Отлично (87-100 баллов)</b>	Оценка «отлично» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов; исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно излагает материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний; использует в ответе дополнительный материал все предусмотренные программой задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному; анализирует полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий
<b>Хорошо ( 74-86 баллов)</b>	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено полностью, необходимые практические компетенции в основном сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения достаточно высокое. Студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
<b>Удовлетворительно но ( 60-73 баллов)</b>	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, большинство предусмотренных программой заданий выполнено, но в них имеются ошибки, при ответе на поставленный вопрос студент допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, наблюдаются нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
<b>Не удовлетво- рительно (менее 60 баллов)</b>	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если он не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы, необходимые практические компетенции не сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не

Оценка	Описание
	выполнено, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к минимальному

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 Нижнекамский химико-технологический институт (филиал)  
 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
 высшего образования  
 «Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
*Факультет- технологический*  
*Кафедра - ОХБТ*  
 Направление 18.03.01 «Химическая технология»  
 профиль/программа:  
 «Химическая технология органических веществ»  
 «Химическая технология высокомолекулярных соединений»  
 «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов»

Семестр 3

**Комплект лабораторных работ  
 по дисциплине Б1.О.21 «Физическая химия»  
 Тема 1**

**«Основные понятия физической химии. Химическая термодинамика и  
 химическое равновесие. Термохимия»**

**Лабораторная работа №1**

**«Экспериментальное определение теплоты растворения соли»**

Цель работы:

1. Ознакомление с термодинамикой растворения солей;
2. Освоение калориметрического метода измерения.

Приоры и реактивы:

1. Калориметр в сборе.
2. Секундомер или другой хронометр.
3. Стакан химический на 300 мл.
4. Весы аналитические до 200 г.
5. Вода дистиллированная.
6. Соли: KI, KCl, KBr, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>Cl или др.

**1. Теоретическое введение.**

1.1. Теплота растворения солей.

При растворении солей происходят два основных процесса:  
 физический – разрушение кристаллической решетки с одновременной электролитической диссоциацией соли и химический – сольватация молекул и ионов соли в растворе. Следовательно, согласно закону Гесса, теплоту растворения соли следует рассматривать как сумму теплот указанных процессов:

$$\Delta H_p = \Delta H_{\phi} + \Delta H_x,$$

где  $\Delta H_{\phi}$  – теплота физической стадии;

$\Delta H_x$  - теплота химической стадии процесса.

Теплота физической стадии растворения зависит от прочности кристаллической решетки соли и обычно бывает положительной ( $\Delta H_{\phi} > 0$ ). Химическая стадия растворения обычно сопровождается выделением теплоты, т.е. ее теплота отрицательная ( $\Delta H_x < 0$ ). Но знак теплоты растворения ( $\Delta H_p$ ) соли будет определяться знаком теплоты той стадии процесса, значение которой будет больше по модулю.

Кроме того, на значение теплоты химической стадии ( $\Delta H_x$ ) существенно влияет глубина процесса, а она находится в прямой зависимости от объема (массы) растворителя. Поэтому, приводя значение теплоты растворения, необходимо указывать и концентрацию образующего раствора. В справочниках (см. приложение) концентрацию обычно выражают в моль соли на 1 кг растворителя – моляльность.

Различают следующие основные формы теплоты растворения: интегральная теплота растворения ( $\Delta H_m$ ) – представляет собой теплоту растворения 1 моль соли в заданной массе растворителя (в кг); первая теплота растворения ( $\Delta H_0$ ) – представляет собой теплоту растворения 1 моль соли в бесконечно большой массе растворителя; полная теплота растворения ( $\Delta H_s$ ) – это теплота растворения 1 моль соли с образованием насыщенного раствора.

### 1.2. Калориметрическая установка:

Простейший калориметр с изотермической оболочкой изображен на рис 1. Химический стакан 1 вставлен в оболочку 2 на подставке 3 из материала с малой теплопроводностью (пробка, резина, дерево). Для уменьшения испарения калориметрической жидкости и для придания всей установке в собранном виде механической жесткости стакан закрывают крышкой 4 из такого же материала, как подставка 3. В крышке сделаны отверстия для мешалки, термометра и других частей калориметра. Для быстрого установления теплового равновесия между частями калориметрической системы и для энергичного смешения исследуемых веществ используют мешалку 5, приводимую в движение электрическим мотором. Изменение температуры в ходе опыта наблюдают с помощью термометра Бекмана 6, укрепленного за верхнюю часть лапкой 7 штатива 8.

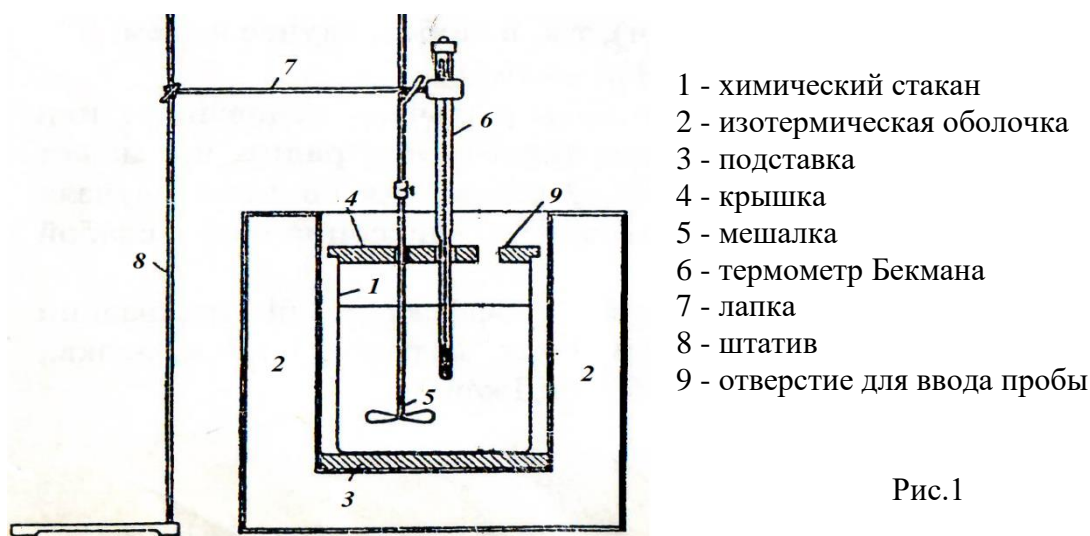


Рис.1

### 1.3. Принципиальные основы калориметрии.

В основу калориметрических измерений заложен закон сохранения энергии в его частной форме – принципе теплового баланса: значение теплоты ( $Q_k$ ), поступающей в теплоприемник, численно равно значению теплоты ( $Q_m$ ), теряемой теплоотдатчиком.

$$(Q_k) = (Q_m)$$

Для выполнения калориметрических измерений, следовательно, требуется иметь четкое разграничение между приемником и отдатчиком теплоты. Обычно они представляют собой некоторое множество предметов. Так, в данной работе происходит теплообмен между микрочастицами соли и воды, - с одной стороны, и деталями калориметра (химический стакан, вода в стакане, ртуть термометра, мешалка и т.п.), с другой стороны. Согласно принципу теплового баланса, энергия  $Q_x$ , освобождающаяся взаимодействующими частицами соли и воды, равна энергии (теплоте  $Q_{\text{кал}}$ ), поступающей к частям установки:  $Q_x = Q_{\text{кал}}$ .

Таким образом, для определения теплоты  $Q_x$  изучаемого процесса, достаточно определить  $Q_{\text{кал}}$ , поступающей к частям калориметра.

Для этого необходимо знать теплоемкость калориметра ( $K$ ) и значение изменения его температуры ( $\Delta T$ ) в результате теплообмена с исследуемым объектом:

$$Q_x = Q_{\text{кал}} = K \cdot \Delta T \quad (1)$$

Теплоемкость калориметра легко рассчитать как сумму теплоемкостей его частей:

$$K = V_{\text{Hg}} \cdot C_{\text{Hg}} + m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot C_{\text{H}_2\text{O}} + m_{\text{ст}} \cdot C_{\text{ст}} \quad (2)$$

Где:  $V_{\text{Hg}}$  - объем ртути в термометре Бекмана ( $\text{см}^3$ )

$C_{\text{Hg}}$  - объемная теплоемкость ртути ( $\text{Дж}/(\text{см}^3 \cdot \text{K})$ )

$m_{\text{H}_2\text{O}}$  - масса жидкости в стакане калориметра)

$C_{\text{H}_2\text{O}}$  - удельная теплоемкость растворов ( $\text{Дж}/(\text{г} \cdot \text{K})$ )

$m_{\text{ст}}$  - масса стакана калориметра( $\text{г}$ )

$C_{\text{ст}}$  - удельная теплоемкость стекла ( $\text{Дж}/(\text{г} \cdot \text{K})$ )

Значение  $m_{\text{H}_2\text{O}}$  и  $m_{\text{ст}}$  определяется на технических весах с точностью 0,05 г. Значение  $V_{\text{Hg}}$  можно определить с помощью мерного цилиндра по объему воды, вытесняемой погружением ртути термометра.

Значение теплоемкостей материалов соответственно равны:

$$C_{\text{Hg}} = 1,930 \text{ Дж}/(\text{см}^3 \cdot \text{K});$$

$$C_{\text{ст}} = 0,790 \text{ Дж}/(\text{г} \cdot \text{K});$$

$$C_{\text{H}_2\text{O}} = 4,187 \text{ Дж}/(\text{г} \cdot \text{K})$$

## 2. Экспериментальная часть

### 2.1. Подготовка к эксперименту.

1. Убедитесь в комплектности калориметра.
2. С помощью мерного цилиндра определить объем ртути термометра Бекмана по объему вытесняемой воды (способ Архимеда). Устройство смотри в приложении.
3. Взвесить на технических весах пустой химический стакан вместимостью 250-300  $\text{см}^3$  с точностью  $\pm 0,05$  г ( $m_{\text{ст}}$ ).
4. Налить в этот стакан до метки дистиллированной воды и снова взвесить ( $m_{\text{H}_2\text{O}} + m_{\text{ст}}$ ).
5. Установить стакан с водой в калориметр и собрать установку: установить мешалку, погрузить ртуть термометра Бекмана в жидкость и все закрепить.
6. Взвесить на аналитических весах ( $\approx 2-5$  г) предложенной руководителем соли с точностью  $\pm 0,0005$  г.
7. Проверить исправность секундомер.

### 2.2. Порядок выполнения эксперимента

1. Включить мешалку калориметра и дать ему поработать 1 минуту (отрегулировать обороты моторчика).
2. Включить секундомер и приступить к регистрации показаний термометра Бекмана. Рекомендуется регистрировать через каждую минуту.
3. Убедившись, что температура установки стабилизировалась (это примерно через 5-6 минут после включения мешалки), аккуратно ввести (посыпать) навеску испытуемой соли. Внимание! Секундомер НЕ ВЫКЛЮЧАТЬ, регистрацию показаний термометра НЕ ПРЕРЫВАТЬ!
4. Убедившись, что температур калориметра снова стабилизировалась (это произойдет примерно на 6-7 минуте после ввода навески соли), можно прекратить запись показаний термометра.
5. Остановить мешалку и разобрать установку. Стакан калориметра вымыть и ополоснуть дистиллированной водой.

### 3. Обработка результатов

3.1. Расчет теплоемкости калориметра выполняется по формуле (2).

3.2. Значение скачка температуры ( $\Delta T$ ) определяется построением графика изменения температуры во времени (см. рис.2).

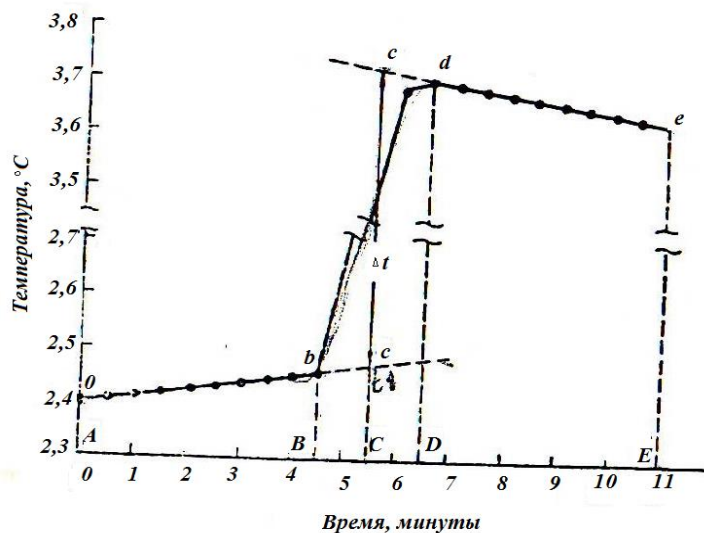


Рис.2

3.2. Расчет интегральной теплоты растворения соли.

1. По формуле (1) рассчитывается значение теплоты  $Q_{\text{кал}}$ , поступившей к частям калориметра.

2. Такое количество теплоты сопровождает растворение  $m$  г соли. Эта масса составляет (моль):

$$n_c = \frac{m_c}{M_{\text{соли}}}$$

Тогда, теплота, сопровождающая растворение 1 моль соли, будет составлять (Дж/моль):

$$\Delta H_m = \frac{Q_{\text{кал}}}{n_c} = \frac{Q_{\text{кал}} \cdot M_{\text{соли}}}{m_c}$$

3. Моляльность образовавшегося раствора рассчитывается по формуле (моль/кг воды):

$$m = \frac{m_c \cdot 1000}{m_v \cdot M_{\text{соли}}}$$

где:  $m_c$  — масса соли, г;

$m_v$  — масса воды, г;

$M_{\text{соли}}$  — молярная масса соли, г/моль.

#### 4. Контрольные вопросы

1. Объясните природу теплоты растворения.
2. Почему растворение  $\text{CuSO}_4$  сопровождается выделением теплоты, а растворение  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  — поглощением?
3. Почему при разбавлении концентрированных растворов сильных кислот и щелочей происходит выделение теплоты?
4. Используя справочник, рассчитайте теплоту приготовления 100 кг 1 мл раствора  $\text{NaOH}$ , в воде.

## Лабораторная работа №2 «Определение теплоты нейтрализации»

### Цель работы:

1. Ознакомление с принципом калориметрических измерений;
2. Определение теплоты нейтрализации и теплоты диссоциации.

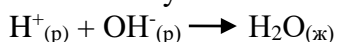
### Приоры и реактивы:

1. Калориметр;
2. Секундомер;
3. Стакан на 300-400 мл;
4. Пипетки на 20 мл., 2 шт.;
5. Весы аналитические до 250 г;
6. Водный раствор KOH, 1н;
7. Водный раствор NaOH, 1н;
8. Водный раствор HCl, 1н;
9. Водный раствор CH<sub>3</sub>COOH, 2н;
10. Водный раствор H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 1н.

### 1. Теоретическое вступление.

#### 1.1. Теплота реакции нейтрализации:

Значение теплоты, наблюдаемой при взаимодействии эквивалента кислоты с эквивалентом основания, называют теплотой нейтрализации. При нейтрализации водных растворов сильных кислот основаниями всегда выделяется одинаковая теплота, равная  $57,1 \cdot 10^3$  Дж/экв (кислоты или основания) (закон постоянства теплоты нейтрализации), т.к. в любом случае имеем:



При нейтрализации слабой кислоты сильным основанием или сильной кислоты слабым основанием теплота нейтрализации может быть меньше или больше  $57,1 \cdot 10^3$  Дж/экв, т.к. в этих случаях процесс нейтрализации сопровождается диссоциацией слабой кислоты (основания) на ионы.

Так, например, тепловой эффект нейтрализации фтористоводородной кислоты едким натром равен 66,9 кДж/экв., сильной кислоты - едким натром -53,9 кДж/экв.

Реакции нейтрализации слабых кислот и оснований состоят из двух процессов : собственно нейтрализация и диссоциация. Отсюда:

$$Q_{\text{эксп}} = Q_{\text{нейт}} + Q_{\text{дис}} = 57,1 \cdot 10^3 + Q_{\text{дис}}$$

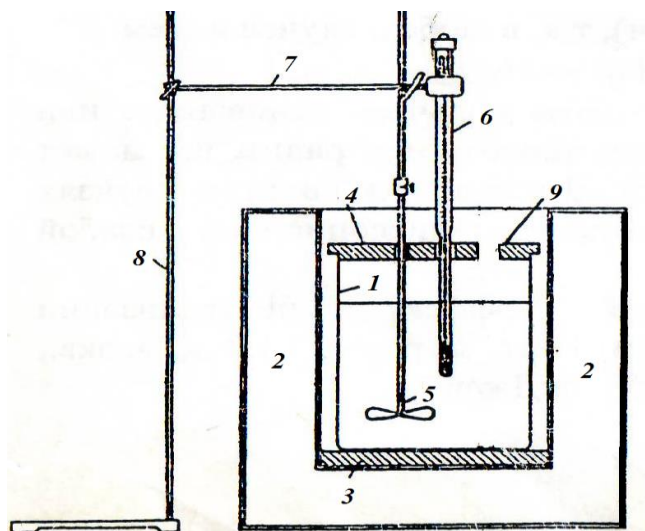
Определив опытным путем тепловой эффект нейтрализации слабой кислоты сильным основанием ( $Q_{\text{эксп}}$ ), можно на основании закона Гесса рассчитать теплоту диссоциации данной слабой кислоты:

$$Q_{\text{дис}} = Q_{\text{эксп}} - Q_{\text{нейт}} = Q_{\text{эксп}} - 57,1 \cdot 10^3 \text{ Дж/экв.}$$

#### 1.2. Калориметрическая установка:

Простейший калориметр с изотермической оболочкой изображен на рис 1. Химический стакан 1 вставлен в оболочку 2 на подставке 3 из материала с малой теплопроводностью (пробка, резина, дерево). Для уменьшения испарения калориметрической жидкости и для придания всей установке в собранном виде механической жесткости стакан закрывают крышкой 4 из такого же материала, как подставка 3. В крышке сделаны отверстия для мешалки, термометра и других частей калориметра. Для быстрого установления теплового равновесия между частями

калориметрической системы и для энергичного смешения исследуемых веществ используют мешалку 5, приводимую в движение электрическим мотором. Изменение температуры в ходе опыта наблюдают с помощью термометра Бекмана 6, укрепленного за верхнюю часть лапкой 7 штатива 8.



- 1 - химический стакан
- 2 - изоотермическая оболочка
- 3 - подставка
- 4 - крышка
- 5 - мешалка
- 6 - термометр Бекмана
- 7 - лапка
- 8 - штатив
- 9 - отверстие для ввода пробы

Рис.1

Принцип калориметрического измерения

основывается на использовании закона сохранения энергии. В данном случае следствием этого закона является абсолютное равенство теплоты исследуемого явления (процесса нейтрализации) теплоте, поступающей к частям калориметра и приводящей к повышению (или понижению) температуры. Тогда, зная теплоемкость калориметра (постоянную калориметра), легко рассчитать теплоту, поступившую в калориметр, а следовательно, и теплоту исследуемого явления.

Постоянную калориметра можно определить расчетным путем:

$$K = V_{\text{Hg}} \cdot C_{\text{Hg}} + m^{\text{H}_2\text{O}} \cdot C^{\text{H}_2\text{O}} + m_{\text{ст}} \cdot C_{\text{ст}}$$

Где:  $V_{\text{Hg}}$  - объем ртути в термометре Бекмана ( $\text{см}^3$ )

$C_{\text{Hg}}$  - объемная теплоемкость ртути ( $\text{Дж}/(\text{см}^3 \cdot \text{К})$ )

$m^{\text{H}_2\text{O}}$  - масса жидкости в стакане калориметра (сумма взятых количеств растворов щелочи -  $m^{\text{I H}_2\text{O}}$  и кислоты  $m^{\text{II H}_2\text{O}}$  (г))

$C^{\text{H}_2\text{O}}$  - удельная теплоемкость растворов ( $\text{Дж}/(\text{г} \cdot \text{К})$ )

$m_{\text{ст}}$  - масса стакана калориметра (г)

$C_{\text{ст}}$  - удельная теплоемкость стекла ( $\text{Дж}/(\text{г} \cdot \text{К})$ )

$$C_{\text{Hg}} = 1,930 \text{ Дж}/(\text{см}^3 \cdot \text{К});$$

$$C_{\text{ст}} = 0,790 \text{ Дж}/(\text{г} \cdot \text{К});$$

$$C^{\text{H}_2\text{O}} = 4,187 \text{ Дж}/(\text{г} \cdot \text{К})$$

$m^{\text{I H}_2\text{O}}$  - определить взвешиванием на технических весах

$m^{\text{II H}_2\text{O}}$  - определить по объему вливаемого раствора кислоты для нейтрализации щелочи.

## 2. Порядок выполнения эксперимента

1. Определить с помощью мерного цилиндра объем ртути термометра Бекмана (устройство см. в приложении).

2. Взвесить на весах пустой стакан на 250-300 мл.

3. Налить в этот стакан 50 мл КОН 1 н, долить до метки дистиллированной воды и снова взвесить ( $m_{\text{ст}} + m^{\text{I H}_2\text{O}}$ ).

4. Аккуратно установить стакан с раствором в калориметр. Закрыть калориметр крышкой и опустить термометр Бекмана до кольца.
5. Включить мотор мешалки и выдержать 1 мин (ртуть в термометре должна оставаться в пределах шкалы).
6. Включить секундомер и вести наблюдения температуры (начальный период), записывая показания термометра через каждую минуту (см. табл.). Секундомер не выключать, запись показаний не прерывать до конца опыта.
7. Пипеткой на 20 мл ( $m^{II} H_2O$ ) отобрать раствор кислоты. После записи пятого замера (по шестой минуте) влить раствор кислоты в стакан калориметра с раствором КОН через специальное отверстие в крышке калориметра. Во время этой операции секундомер не выключать! Запись показаний термометра продолжать в течение еще 5 мин не менее (заключительный период).

### 3. Обработка результатов

1. Построить график изменения температуры во времени:  $T=f(\tau)$ .
2. Определить графически значение скачка температуры:

$$\Delta T = T^I_2 - T^I_1 \quad (\text{см. рис. 2})$$

1. Рассчитать экспериментальную теплоту нейтрализации по формуле:

$$Q_{\text{эксп}} = K \cdot \Delta T \cdot 50(1/N), \quad (\text{Дж/экв}),$$

где  $K$  - постоянная калориметра, (Дж/К);

$\Delta T$  - изменение (скачок) температуры в период нейтрализации;

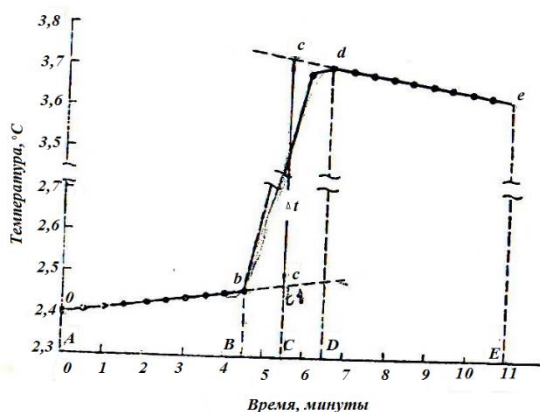
$N$  - нормальность раствора кислоты, (экв/л).

4. Сравнить полученный результат с ожидаемым ( $Q=57,1$  кДж/экв). Объяснить отклонения.
5. Рассчитать теплоту диссоциации ( $Q_{\text{дис}}$ ).

Таблица:

Время, мин	0	1	2	3	4	5	6	7	и т.д.
Показания термометра	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$T_5$	$T_6$	$T_7$	$T_8$	и т.д.

Рис. 2



### 4. Контрольные вопросы

1. Почему теплота нейтрализации разбавления растворов кислот и оснований близка к 57,1 кДж/моль?
2. Из каких составляющих складывается теплота нейтрализации муравьиной кислоты (НСООН) гидроксидом калия (КОН)?
3. Объясните физический смысл постоянной калориметра.
4. Рассчитайте значение теплоты, сопровождающей смешение 2,5 литров 0,5н КОН с 1,5 литрами 1,5м  $H_2SO_4$ , если теплота нейтрализации равна 61,3 кДж/экв.



**Тема 2**  
**«Термодинамика фазового равновесия в одно-, двух- и**  
**трехкомпонентных системах»**

**Лабораторная работа №2**

**«Экспериментальное изучение равновесия жидкий раствор – насыщенный пар  
в двухкомпонентных системах. Построение диаграммы»**

Цель работы: изучить равновесие между жидкостью и паром и построить равновесную диаграмму «состав-температура кипения двойной жидкой системы» (смеси летучих компонентов).

Приоры и реактивы:

1. Сосуд для перегонки;
2. Колбонагреватель;
3. Кипятильники;
4. Термометр;
5. Холодильник;
6. Система "ацетон - изопропиловый спирт";
7. Рефрактометр

В общем случае составы равновесных жидкости и пара в системе летучих смесей не совпадают друг с другом. На указанном различии составов явление перегонки (разделения) компонентов смеси, которое широко используется для получения чистых жидкостей.

Если приготовить ряд бинарных смесей неограниченно растворимых жидкостей, определить их температуру кипения при атмосферном давлении и составы равновесных фаз (пар + жидкость), то на основании этих данных может быть построена диаграмма «температура кипения – состав» для исследованной системы.

Такая диаграмма характеризует фазовые равновесия в системе, которые подчиняются правилу Гиббса.

**Порядок выполнения работы**

1. Сосуд для перегонки (рис. 1) через шлиф заполните на 2/3 его объёма исследуемой жидкостью. Для предотвращения бурного кипения и переброса жидкости опустите в неё 2-3 кусочка кирпича, обычно называемых «кипятильниками». Проверьте тока воды в холодильнике.
2. Включите колбонагреватель и доведите до равномерного кипения. При изучении легковоспламеняющихся и горючих жидкостей необходимо соблюдать максимальную осторожность и пользоваться нагревательными приборами закрытого типа.
3. За температуру кипения следует принять среднюю из величин температуры начала и конца периода отбора конденсата.
4. После отбора конденсата отключите и уберите колбонагреватель.
5. Определите состав конденсата.
6. Результаты опытов запишите в табл.1 (для системы «ацетон – изопропиловый спирт»).

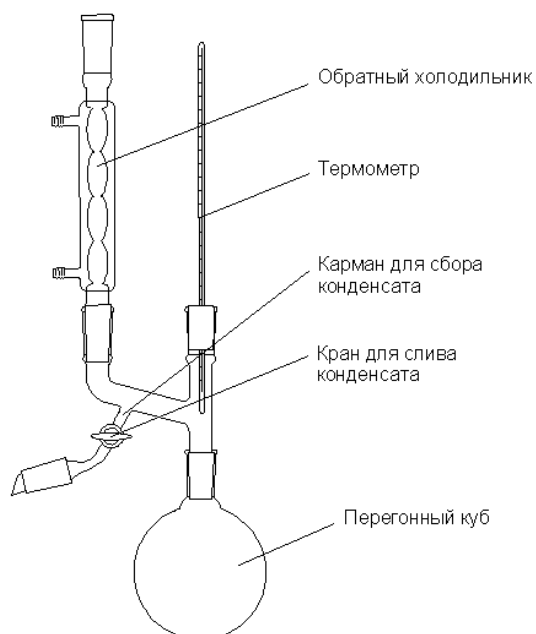


Рис. 1. Прибор Свентославского.

Таблица 1

№ раств ора	Концентрация исходного раствора		Показатель преломления		Концентрация конденсата		Температура кипения, °С		
	об. %	мол. %	Исход ного раство ра	Парового конденсата	об. %	мол. %	До отбора пробы	После отбора пробы	Средняя

Состав собранного конденсата, который принимают равным составу равновесного пара при температуре кипения раствора, определяют рефрактометрическим методом. Показатель преломления раствора линейно зависит от его концентрации, выраженной в объемных долях  $W$ .

$$W_B^0 = \frac{V_B}{V_A + V_B} \quad (1)$$

Определение состава конденсата производится по калибровочному графику. Для его построения измеряют показатели преломления чистых компонентов ацетона и изопропилового спирта (или если нет уверенности в чистоте исходных компонентов, для конденсата, собранного при определении температур их кипения) и проводят на графике зависимость показателя преломления  $n$  от объемной доли  $W_B^0$  компонента ацетона, соединяющую полученные значения (рис. 2.).

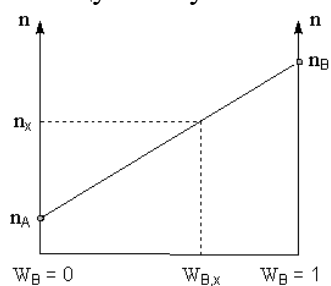


Рис. 2. Калибровочная прямая для определения состава конденсата.

### Определение состава равновесных фаз и построение диаграмм

Для определения состава могут быть использованы различные методы объёмного или инструментального анализа.

Для органических жидкостей пользуются измерением показателя преломления. Измеряют показатели преломления исходных растворов известного состава и чистых веществ. Далее вычерчивают калибровочную кривую зависимости показателя преломления от состава. По этой калибровочной кривой, зная показатель преломления конденсата, определяют его состав.

Количественный состав растворов выражают различными способами. Однако на диаграммах равновесия «жидкость – пар» состав обычно выражают в мольных долях или молярных процентах. Для перевода объёмных процентов в молярное надо сначала найти число молей каждого компонента.

$$n_i = \frac{v_i}{V_i},$$

где  $v_i$  - объёмная доля  $i$ -го компонента в растворе;

$$V_i = \frac{M_i}{\rho_i} \quad \text{— молекулярный объём } i\text{-го компонента в чистом виде:}$$

$M_i$  - молекулярный вес  $i$ -го компонента;

$\rho_i$  — плотность компонента, г/см<sup>3</sup>.

Далее находят долю  $i$ -го компонента в растворе по уравнению

$$N_i = \frac{n_i}{\sum n_i},$$

где  $\sum n_i$  - сумма числа молей всех компонентов в смеси.

Молярный процент определяется как  $N \cdot 100$ .

Для построения диаграммы «температура кипения - состав» на оси абсцисс откладывают состав в мол. %, а на осях ординат — температуры кипения чистых веществ и изученных растворов. Каждой температуре (кроме температур кипения чистых веществ) соответствуют две точки, определяющие составы жидкости и равновесного с ней пара. Соединяя соответствующие точки, получают две кривые; кривую жидкости и пара. Анализ полученной диаграммы проводят на основе законов Коновалова и правила фаз.

После пересчета состава раствора и пара в мольные доли строят диаграмму состояния системы. На графике в координатах состав — температура наносят точки, образующие две зависимости: зависимость температуры кипения от состава раствора и зависимость температуры кипения раствора от состава равновесного пара (рис. 3). Соединяя эти точки, получают диаграмму состояния системы.

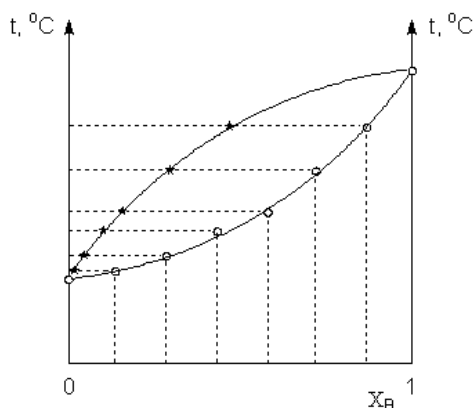


Рис. 3. Построение диаграммы состояния системы раствор – пар.

4 семестр

Тема 3

«Химическая кинетика и катализ».

Лабораторная работа №1

«Изучение скорости гидролиза сахарозы»

Цель работы:

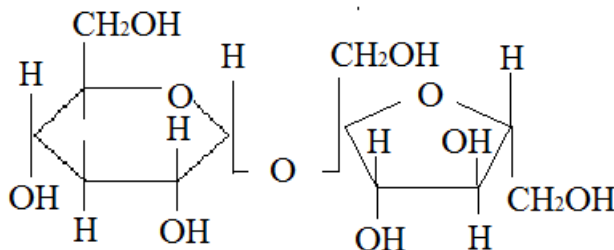
1. Ознакомиться с методикой научного эксперимента.
2. Освоить методику определения кинетических характеристик химического процесса.
3. Установить кинетическое уравнение гидролиза сахарозы.
4. Выявить температурную зависимость скорости гидролиза сахарозы.
5. Выявить зависимость скорости гидролиза сахарозы от концентрации ионов  $H_3O^+$  в системе.

Приборы и реактивы:

1. Поляриметр с набором кювет (трубок).
2. Хронометр (секундомер и т.п.)
3. Термостат.
4. Химическая посуда ( стаканчики, колбы)
5. Пипетки на 1, 2, 5, 10, 15, 20, 25 мл.
6. Водный раствор сахарозы ( $\approx 0,25 \text{ г/см}^3$ ).
7. Водный раствор  $HCl$  (4М).
8. Дистиллированная вода.
9. Фильтровальная бумага.

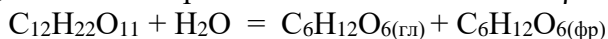
**Теоретическое введение**

Сахароза – дисахарид, молекулы которого состоят из звеньев глюкозы и фруктозы, связанных между собой за счет гликозидных гидроксильных групп:



Под действием кислот или фермента инвертазы сахароза гидролитически

расщепляется с образованием  $\alpha$ -D-глюкозы и  $\beta$ -D-фруктозы:



Как сахароза, так и образующиеся при гидролизе глюкоза и фруктоза обладают асимметрическими атомами углерода, что придает им оптическую активность.

Оптической активностью называют способность вращать плоскость поляризации проходящего через вещество поляризованного луча света. Угол ( $\alpha$ ) поворота плоскости поляризации и его направление (+ - направо или - - влево) зависят от природы вещества, толщины ( $l$ ) слоя и концентрации ( $C$ ) вещества (для растворов):

$$\alpha = [\alpha] \cdot l \cdot C, \quad (A)$$

где  $[\alpha]$  - удельное вращение равно углу поворота плоскости поляризации света 1 г вещества, содержащегося в 1 мл раствора при толщине слоя  $l^\circ = 1,0$  дм. У сахарозы  $[\alpha]_c = +66,55^\circ$ , у глюкозы  $[\alpha]_{г\text{л}} = +52,56^\circ$ , у фруктозы  $[\alpha]_{фр} = -91,9^\circ$ .

Угол вращения, судя по формуле (A), является экстенсивной величиной, т.е. обладает аддитивностью. Следовательно, угол вращения смеси веществ ( $\alpha_{см}$ ) равен сумме углов вращения компонентов смеси с учетом их содержания в смеси:

$$\alpha_{см} = ([\alpha]_1 \cdot C_1 + [\alpha]_2 \cdot C_2 + [\alpha]_3 \cdot C_3 + \dots) \cdot l \quad (B)$$

Допуская, что исходная концентрация сахарозы в системе  $\alpha_1$  г/см<sup>3</sup>, к моменту времени  $\tau$  она стала  $C_\tau$  и концентрация глюкозы и фруктозы стали равными, согласно стехиометрическому уравнению (1)  $\alpha_\tau - C_\tau$  для угла вращения системы к моменту времени  $\tau$  имеем:

$$\alpha_{см} = (66,55 \cdot C_\tau + (\alpha - C_\tau) \cdot (52,56 - 91,9)) \cdot l$$

Выполняя преобразования, получим:

$$\alpha_{см} = (66,55 \cdot C_\tau + 39,34 \cdot (\alpha - C_\tau)) \cdot l;$$

$$\alpha_{см} = ((66,55 + 39,34) \cdot C_\tau - 39,34 \cdot \alpha) \cdot l;$$

$$\alpha_{см} = (105,89 \cdot C_\tau - 39,34 \cdot \alpha) \cdot l;$$

$$C_\tau = (\alpha_{см}/l + 39,34 \cdot \alpha) / 105,89$$

$$\text{или } C_\tau = (\alpha_{см} + 39,34 \cdot \alpha \cdot l) / (105,89 \cdot l). \quad (C)$$

Шкала поляриметра СУ-4 градуирована в  $^\circ S$  ( $100^\circ S = 34,62^\circ$  угловых).

Учитывая это, формула (C) примет вид:

$$C_\tau = (\alpha_\tau + 113,63 \cdot \alpha \cdot l) / (305,9 \cdot l) \quad (C')$$

где  $\alpha$  – начальная концентрация сахарозы, г/см<sup>3</sup>;

$l$  – длина кюветы (поляризметрической трубки, дм);

$\alpha_\tau$  - угол поворота луча,  $^\circ S$ ;

$C_\tau$  – концентрация сахарозы в момент измерения угла поворота луча, г/см<sup>3</sup>.

Используя полученное выражение (C'), по значениям исходной концентрации ( $\alpha$ ) сахарозы в системе и угла поворота ( $\alpha_\tau$ ), определенного во времени, можно рассчитать концентрацию сахарозы в реагирующей смеси в соответствующий момент времени. Таким образом можно выполнить изучение кинетики кислотного (или ферментативного) гидролиза сахарозы.

Предположительно предстоит выявить зависимость скорости гидролиза от концентрации сахарозы, воды, ионов  $H_3O^+$ , а также температуры:

$$w = f(C_{сах}; C_{H_3O^+}; C_{H_2O} \cdot T)$$

### Выполнение эксперимента

Для изучения кинетики гидролиза сахарозы целесообразно воспользоваться методом исключения. В данном случае удобнее всего воспользоваться возможностью создания такого избытка содержания одного из компонентов (например воды) в системе, что изменение его концентрации будет незначительно. Без видимого искажения концентрацию воды можно считать постоянной. Например, если исходная концентрация сахара будет составлять 20% масс, что составляет:

$$n_{сах} = 20\text{г} / 342\text{г/моль} = 0,06 \text{ моль} / 100\text{г раствора}$$

то содержание воды в системе составит:

$$n_{H_2O} = 80\text{г} / 18\text{г/моль} = 4,44 \text{ моль} / 100\text{г раствора}$$

При полном гидролизе 0,06 моль сахарозы израсходуется согласно стехиометрическому уравнению (1) реакции 0,06 моль воды. Это составляет всего лишь:  
 $(0,06 \cdot 100\%) / 4,44 = 1,3\%$

что не превышает погрешность измерений.

Приготовленный исходный раствор сахарозы должен быть достаточно прозрачным, не содержать взвешенных частиц и растворенных примесей.

1. Предварительно необходимо определить "нуль" поляриметра, чтобы в расчетах учитывать значение  $\Delta\alpha_0$  в качестве инструментальной поправки ( $\alpha_{II}$ ) к показаниям прибора ( $\alpha$ ):

$$\alpha_{ист} = \alpha' + \alpha_{II}$$

В полутеневом поляриметре положение плоскости поляризации света определяется по наступлению равной слабой освещенности. В других положениях анализатора поле зрения в окуляре резко разделено на две части по освещенности или все освещено ярко. Если полутеневое положение найдено правильно (рис1), то малейший поворот анализатора вправо (рис1, в) или влево (рис 1, а) нарушает равномерность освещения вплоть до резкого контраста в освещенности обеих половин поля зрения.

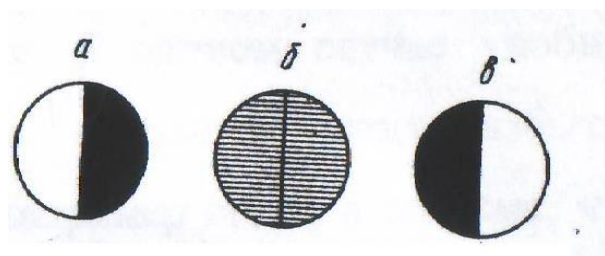


Рисунок 1

2. Поместить реактивы (раствор HCl и раствор сахарозы) в термостат и выдержать 15-20 мин для надежного термостатирования.

3. Приготовить реакционную смесь смешиванием строго определенных объемов термостатированных растворов сахарозы ( $V_{сах}$ ) и соляной кислоты ( $V_{HCl}$ ) известных концентраций.

**Внимание!** В момент смешивания растворов включить хронометр, т.к. с этого момента начинается процесс гидролиза.

4. Заправить кювету (трубку) поляриметра приготовленной смесью. Закрывая ее, исключить наличие пузырька воздуха в кювете (трубке).

5. Установить кювету (трубку) со смесью в поляриметр и произвести замер угла вращения раствора, отмечая при этом время выполнения замера ( $\tau_1 - \alpha_1$ ).

Отсчеты производят следующим образом. Число целых градусов определяют по последнему делению шкалы, которое оказывается слева от нуля (центральной метки) нониуса; десятые доли градуса определяют на правой части шкалы нониуса по делению, совпадающему в данном положении с каким-либо делением основной шкалы лимба. Так отсчитываются положительные углы вращения. Например, рис.2 угол вращения соответствует  $20,3^\circ$ . При вращении анализатора в противоположную сторону отсчитывают отрицательные углы вращения. Десятые доли градуса определяются по делениям в левой части нониуса.

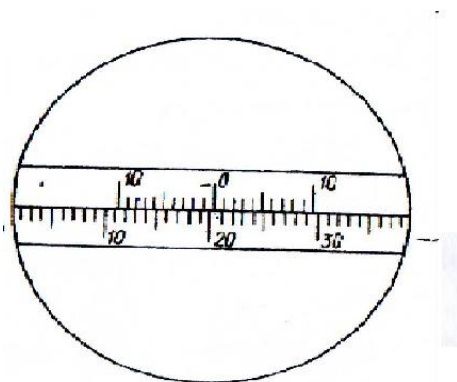


Рисунок 2. Определение сотых долей градуса на поляриметре круговом.

6. Кювету (трубку) со смесью перенести в термостат и по истечении некоторого времени ее извлечь из термостата, протереть насухо и произвести очередной замер ( $\tau_2 - \alpha_2$ ).

Замеры следует выполнять пока не убедитесь в достаточном замедлении процесса (изменения в показаниях поляриметра стали незначительными).

Все измерения, включая поправку  $\alpha_{II}$ , значения объемов  $V_{сах}$  и  $V_{HCl}$ , температуры термостата, толщины слоя раствора (длина трубки), замеры на поляриметре и др., должны быть внесены в журнал наблюдений.

Выполнить несколько серий опытов, варьируя концентрации HCl и сахарозы, а также температуру процесса.

По полученным данным установить значения порядка, константы скорости, энергии активации и температурного коэффициента скорости реакции, используя любой метод расчета.

Дайте обоснование выбранного метода расчета.

#### **Контрольные вопросы**

1. Как отражается на механизме реакции участие катализатора при гомогенном катализе?
2. Определите влияние катализатора на энергию активации в изученной Вами реакции.
3. Составьте полное кинетическое уравнение изученной Вами реакции.
4. Определите активность катализатора в изученной Вами реакции.

### **Тема «Химическая кинетика и катализ»**

#### **Лабораторная работа №2**

##### **«Изучение скорости реакции разложения мурексида»**

Цель работы: Определение среднего значения константы скорости разложения мурексида в кислой среде при двух температурах. Расчет энергии активации и энтропии активации. Выявить роль катализатора в кинетике химических реакций.

Сущность метода: В кислой среде мурексид (аммонийная соль пурпуровой кислоты) разлагается с образованием урамила, аллоксана и ионов аммония и сопровождается изменением окраски от фиолетовой до бесцветной. Поэтому для изучения кинетики реакции используется спектрофотометрический метод.

Реакция разложения мурексида практически необратима и по своему механизму относится к бимолекулярным.

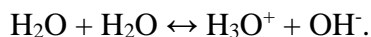


Скорость этой реакции зависит от концентрации и мурексида, и ионов водорода:

$$v = \kappa C_{мур}^{n_{мур}} C_{H^+}^{n_{H^+}},$$

где  $n$  – частные порядки реакции по соответствующим компонентам.

Следует отметить, что данная реакция с малой скоростью протекает и в отсутствии кислоты (нейтральная среда) вследствие реакции автопротолиза воды (образование ионов  $\text{H}_3\text{O}^+$ ):



Вследствие этого водные растворы мурексида неустойчивы.

Однако если начальная концентрация ионов водорода значительно выше начальной концентрации мурексида, то ее изменение в ходе реакции на скорость практически не влияет и ее можно считать постоянной.

Таким образом  $C_{\text{H}^+} = \text{const}$ , а значит в кинетическом уравнении концентрацию ионов водорода можно объединить с константой скорости реакции:

$$v = \kappa' C_{\text{мур}}^{n_{\text{мур}}},$$

где

$$\kappa' = \kappa C_{\text{H}^+}^{n_{\text{H}^+}} \approx \kappa (C_{\text{H}^+}^0)^{n_{\text{H}^+}}.$$

Здесь константу скорости  $\kappa'$  можно назвать условной константой скорости, а общий порядок – псевдопорядком, равным частному порядку реакции по мурексиду.

Водный раствор мурексида в нейтральной и слабоосновной среде обладает устойчивой фиолетовой окраской. В присутствии  $\text{H}^+$  молекула мурексида разрушается, что ведет к постепенному ослаблению окраски раствора.

Таким образом, за изменением концентрации мурексида в реагирующей системе можно наблюдать по изменению окрашенности раствора. Согласно закону Бугера-Ламберта-Бера, светопропускание ( $T=I/I_0$ ) раствора зависит от толщины ( $\ell$ ) светопоглощающего слоя и концентрации ( $C$ ) светопоглощающего вещества в этом слое:

$$I_0 = 10^{-\varepsilon \ell C} \quad (1)$$

$I_0$  – интенсивность падающего луча света;

$I$  – интенсивность луча, прошедшего через слой раствора;

$\ell$  – толщина поглощающего слоя раствора, см;

$C$  – концентрация поглощающего вещества в растворе;

$\varepsilon$  – молярный коэффициент поглощения.

Выражение (1) неудобно для изучения кинетики процесса, поэтому используется другая зависимость:

$$-\lg T\% = D = \varepsilon \cdot \ell \cdot C, \quad (2)$$

где  $D$  – оптическая плотность среды.

Из выражения (2) следует, что оптическая плотность ( $D$ ) пропорциональна концентрации ( $C$ ) растворенного светопоглощающего вещества. Следовательно, за ходом реакции можно наблюдать по изменению оптической плотности исследуемой системы.

#### Средства измерений, реактивы, вспомогательное оборудование и материалы

- спектрофотометр PercinElmer Lambda 25;
- комплект кювет шириной 1 см.;
- термостат TW 2.02;
- химическая посуда (стаканчики, колбы);
- пипетки градуированные (1, 2, 5, 10 см<sup>3</sup>);
- бумага фильтровальная лабораторная;
- резиновая груша вместимостью 50 см<sup>3</sup>;
- водный раствор мурексида (1М);
- водный раствор соляной кислоты HCl (0,1М);
- вода дистиллированная.

### **2.1. Выполнение работы**

#### **2.1.1. Определение длины волны, соответствующей максимальной оптической плотности раствора мурексида**

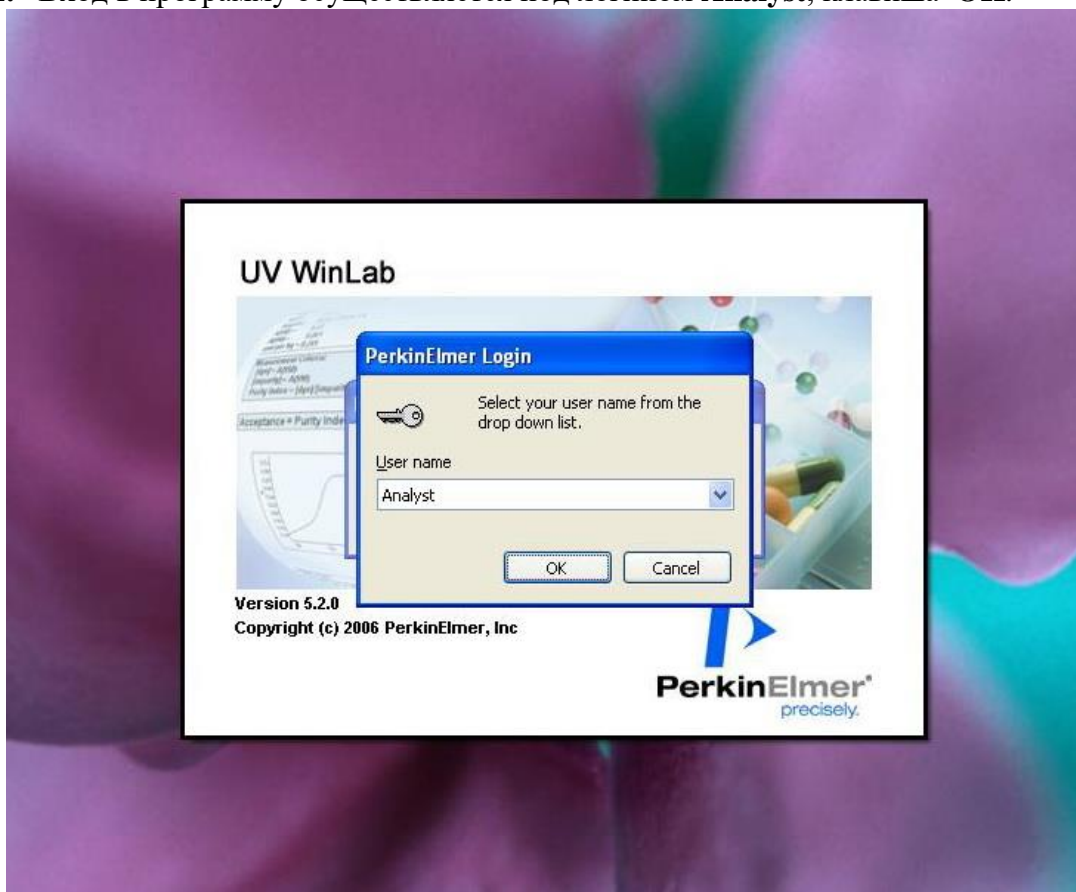
Отметьте температуру в помещении.



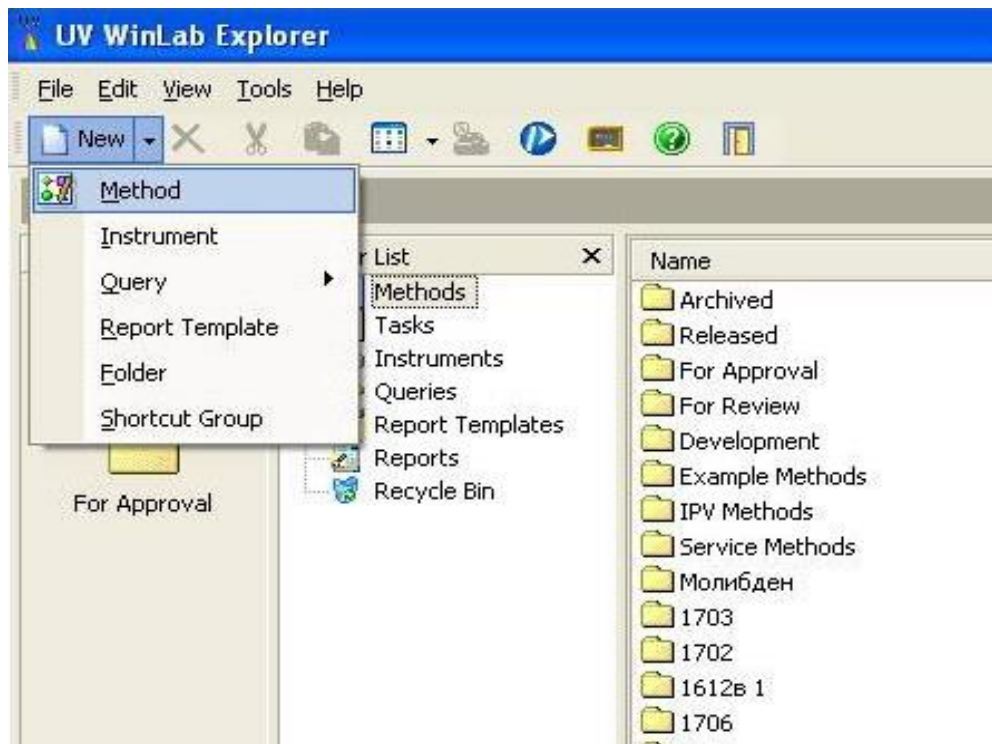
Ознакомьтесь с устройством спектрофотометра и с инструкцией по работе с ним. Спектрофотометр подключают согласно Руководству по эксплуатации, через сетевой фильтр к сети 220В. Включить прибор и прогреть в течении 30 мин.

Управление процессом измерения в спектрофотометре осуществляется от внутреннего контроллера и внешнего IBM-совместимого компьютера с помощью специального программного обеспечения UV WinLab для Windows 95 и Windows NT. Включить сопровождающий компьютер.

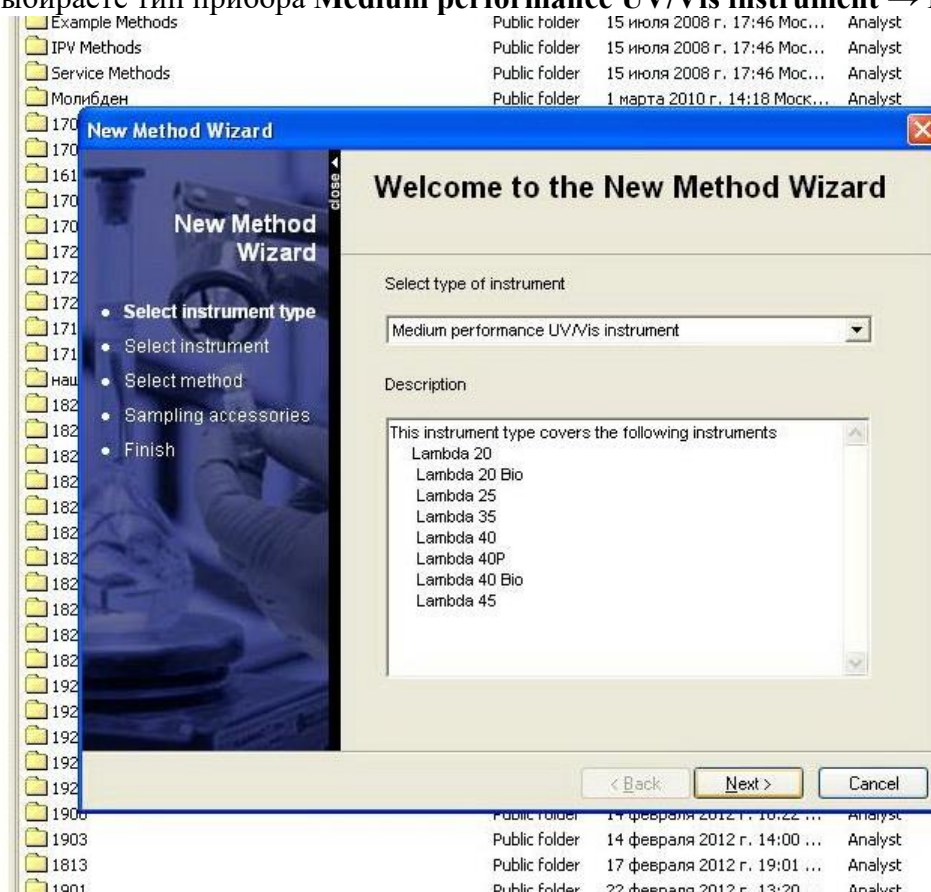
1. На рабочем столе компьютера двойным нажатием левой клавиши компьютерной мышки на иконку программы **PerkinElmer UV WinLab**, осуществляете вход в программу.
2. Вход в программу осуществляется под логином **Analyst**, клавиша **OK**.



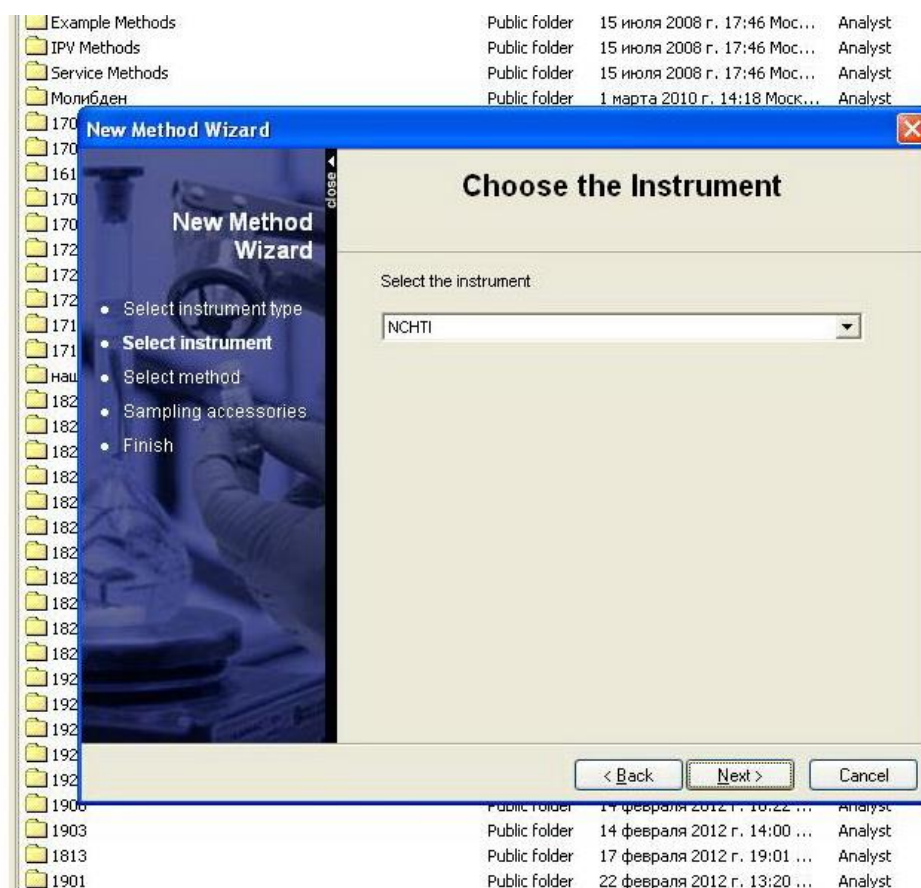
3. В рабочем окне программы выбираете создание нового метода **New→Method**.



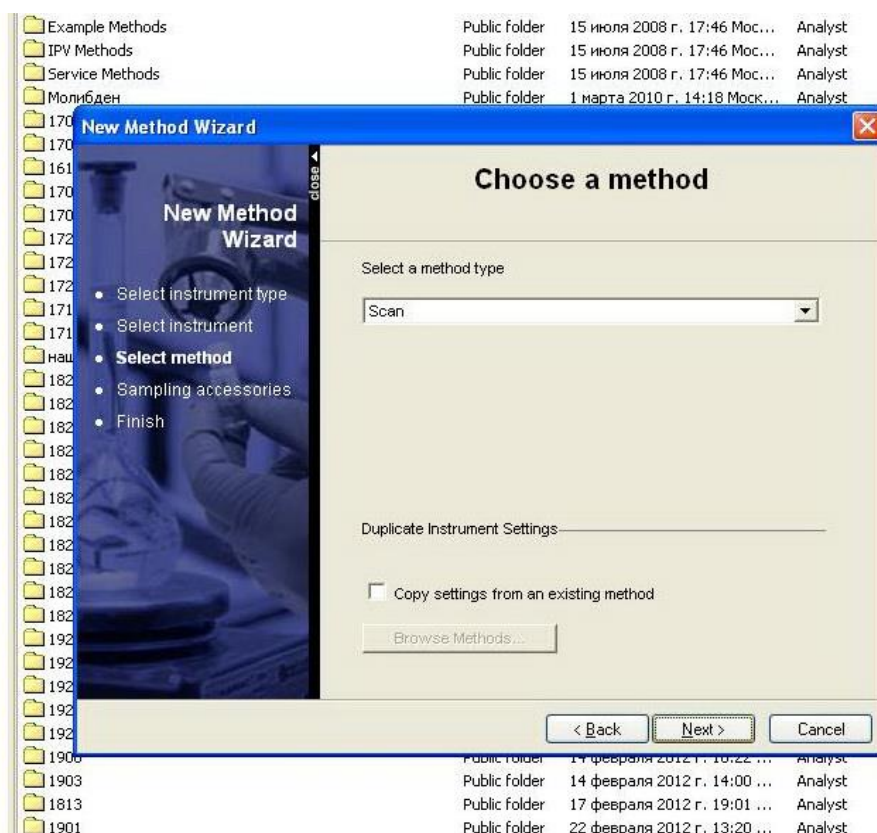
4. Выбираете тип прибора **Medium performance UV/Vis instrument** → **Next**.



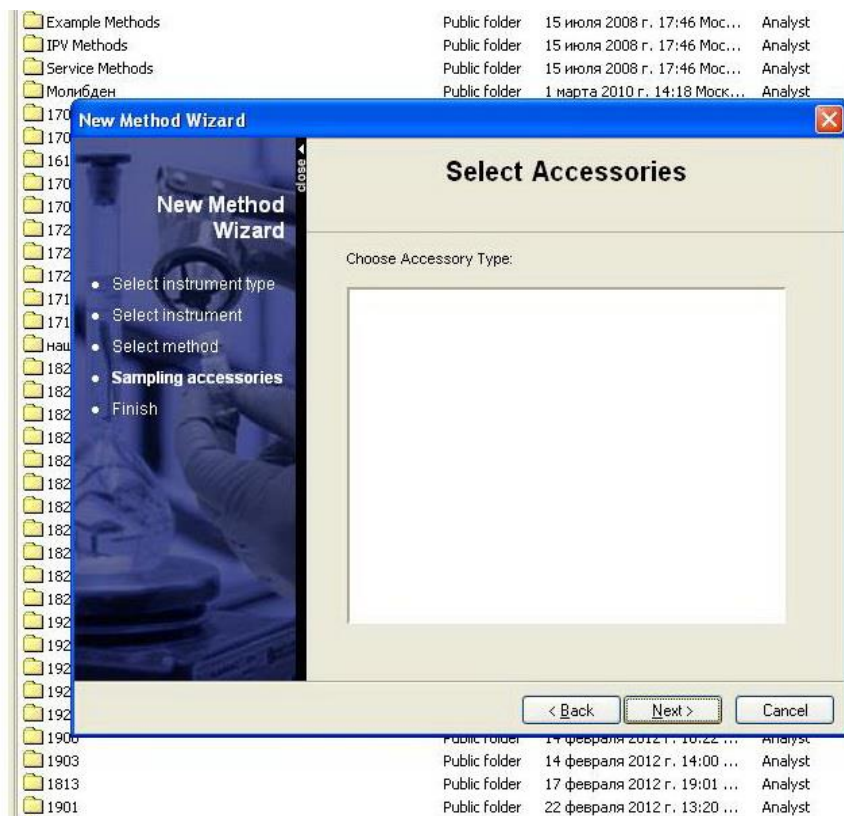
5. Выбираете прибор, на котором осуществляется данный метод **NCHTI** → **Next**.



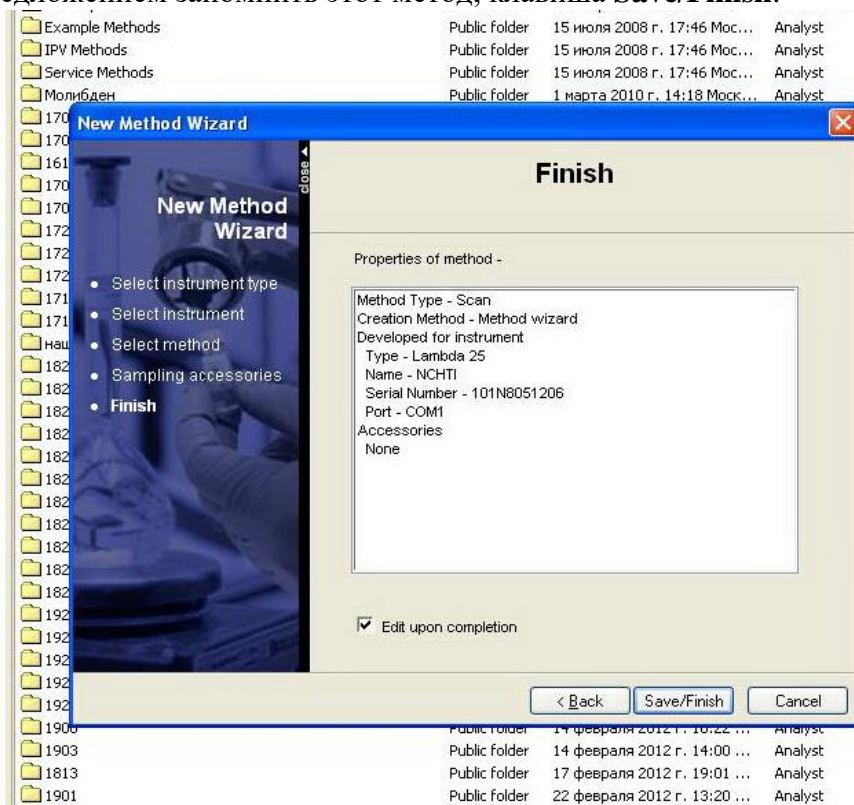
6. Выбираете тип метода, который вы хотите создать **Scan** → **Next**.



7. Появится окно выбора аксессуаров (на данном приборе аксессуары не установлены). Нажмите **Next**.

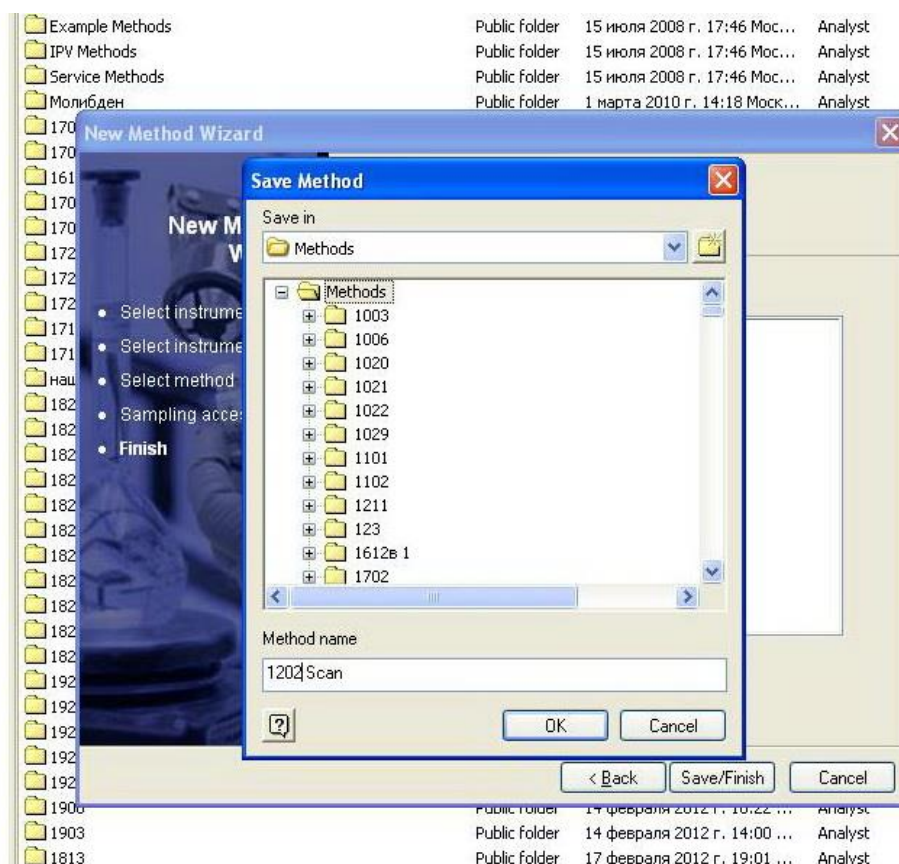


8. Появится окно с краткой информацией по созданному вами методу и предложением запомнить этот метод, клавиша **Save/Finish**.



9. В появившемся окне введите название вашего нового метода (например, номер вашей группы), клавиша **ОК**.



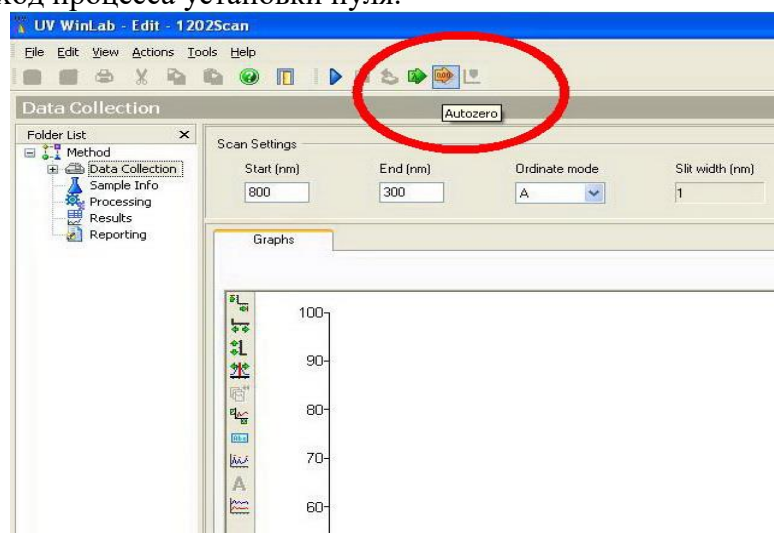


10. В открывшемся рабочем окне программы по умолчанию выставлен диапазон длин волн, в котором будет проводиться исследование оптической плотности водного раствора мурексида от 300 до 800 нм. При необходимости эти параметры можно установить самостоятельно.

11. В меню **Actions** выберите **Autozero**.

12.

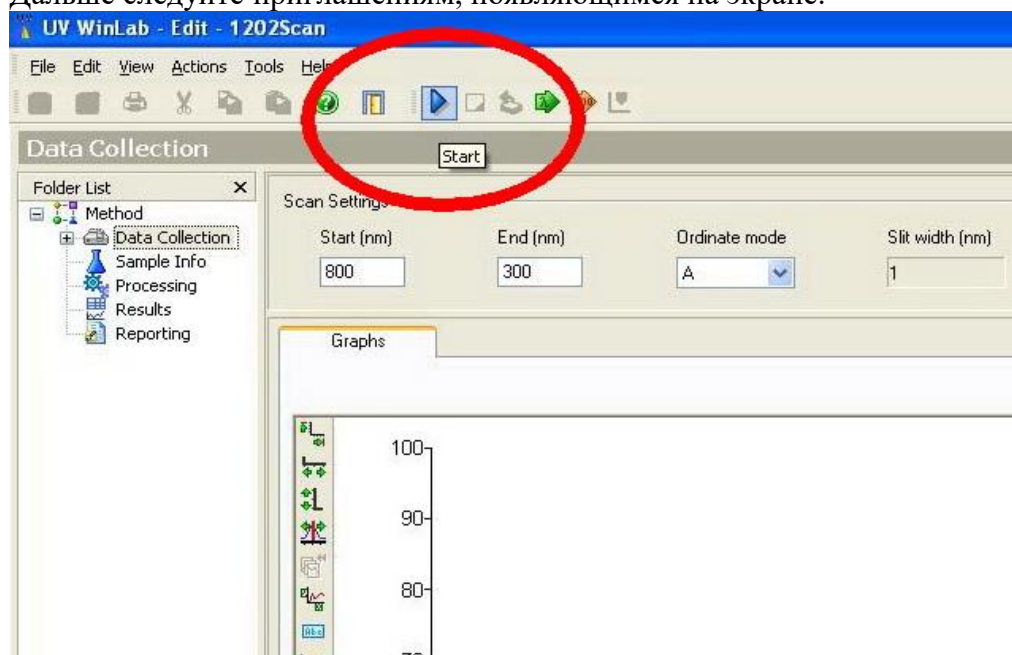
Появится следующее сообщение – *'Remove sample(s) and press OK to perform an Autozero'* (Удалите образец(цы) и затем нажмите ОК, чтобы выполнить установку нуля). Отображается ход процесса установки нуля.



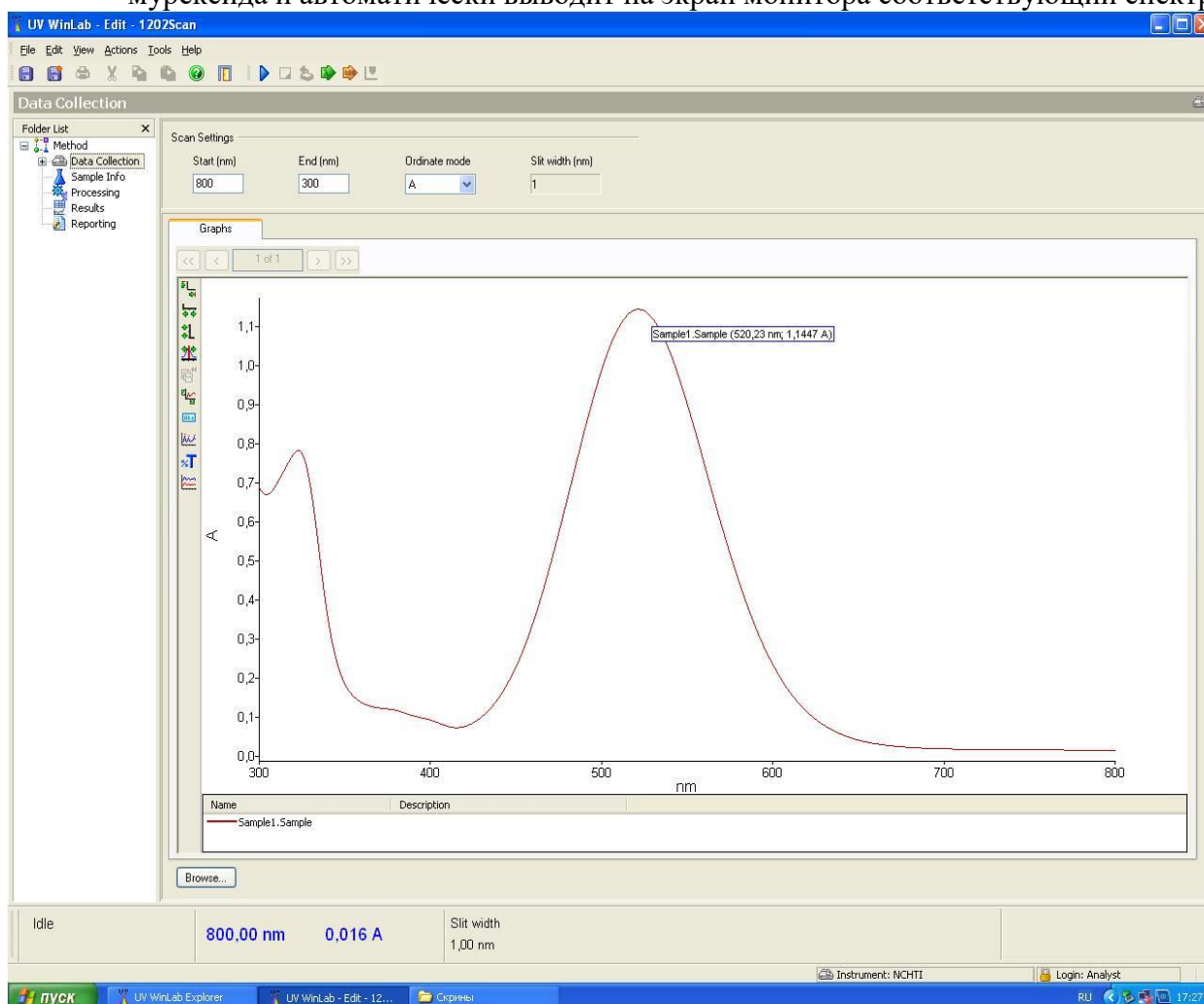
13. Наполните одну из кювет дистиллированной водой (кюветы необходимо держать только за боковые матовые стороны) и установите в дальнейшее кюветное отделение. Наполните вторую кювету водным раствором мурексида и установите в ближайшее кюветное отделение. При необходимости глянцевые стороны кювет протрите фильтровальной бумагой. Закройте крышку прибора.

14. Для запуска задачи в меню **Actions** выберите **Start**.

Далее следуйте приглашениям, появляющимся на экране.



15. Прибор начинает замерять оптическую плотность вашего водного раствора мурексида и автоматически выводит на экран монитора соответствующий спектр.



16. Для определения оптимальной длины волны ( $\lambda_{\text{раб}}$ ) наведите курсор на пик спектра, который соответствует максимуму оптической плотности исследуемого раствора. Для водного раствора мурексида оптимальная длина волны должна составлять 520 нм. Запишите получившееся значение.

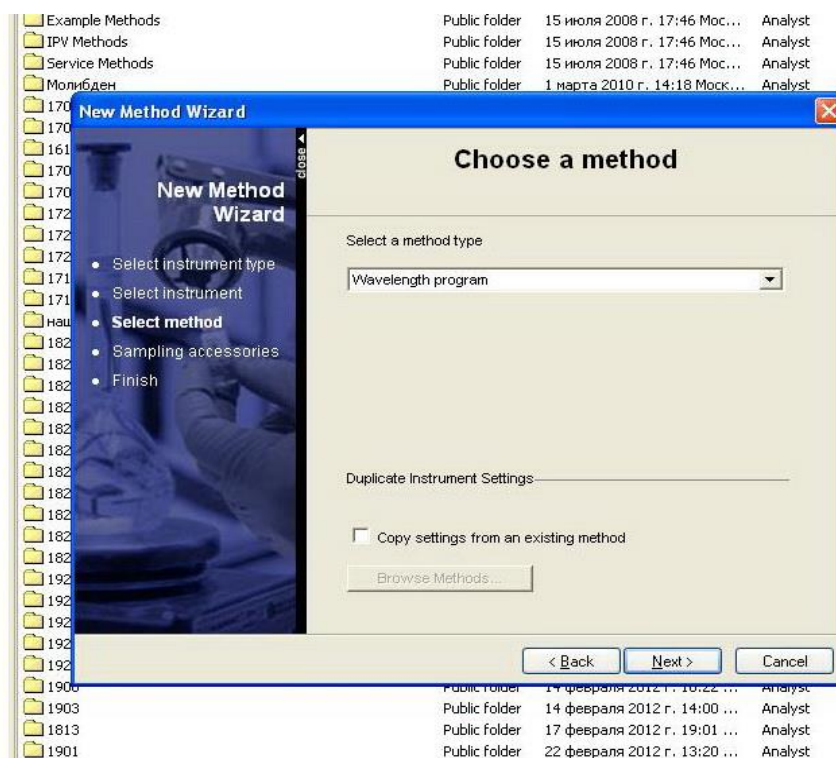
17. Для сохранения результатов в меню **File** выберите **Save As** и затем **Task**. Появится окно диалога **Save Results**. Введите свои данные. Нажмите **OK**. Окно диалога закроется, и результаты будут сохранены в разделе **Task** Проводника.

### 2.1.2. Выполнение эксперимента при комнатной температуре

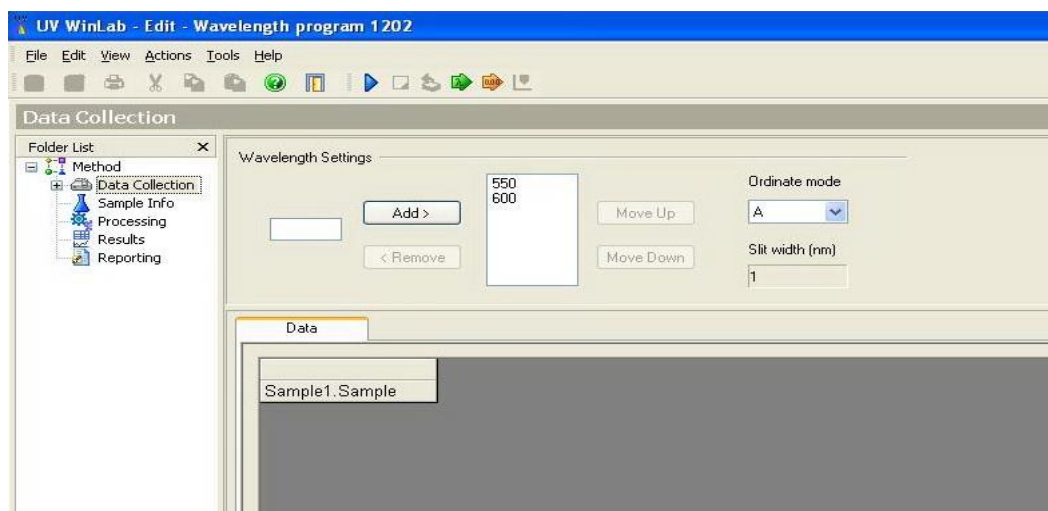
**Подготовьте необходимые растворы.** В отдельный стаканчик отмерьте, при помощи градуированной пипетки, 10 см<sup>3</sup> водного раствора мурексида, заданной концентрации. Во второй стаканчик отмерьте, при помощи градуированной пипетки, 5 см<sup>3</sup> соляной кислоты HCl, заданной концентрации.

**Подготовьте прибор к эксперименту.** Повторите пункты 3 - 9 из предыдущего раздела, с отличием в пункте:

6. Выбираете тип метода, который вы хотите создать **Wavelength program** → **Next**.



10. Открывается рабочее окно программы.



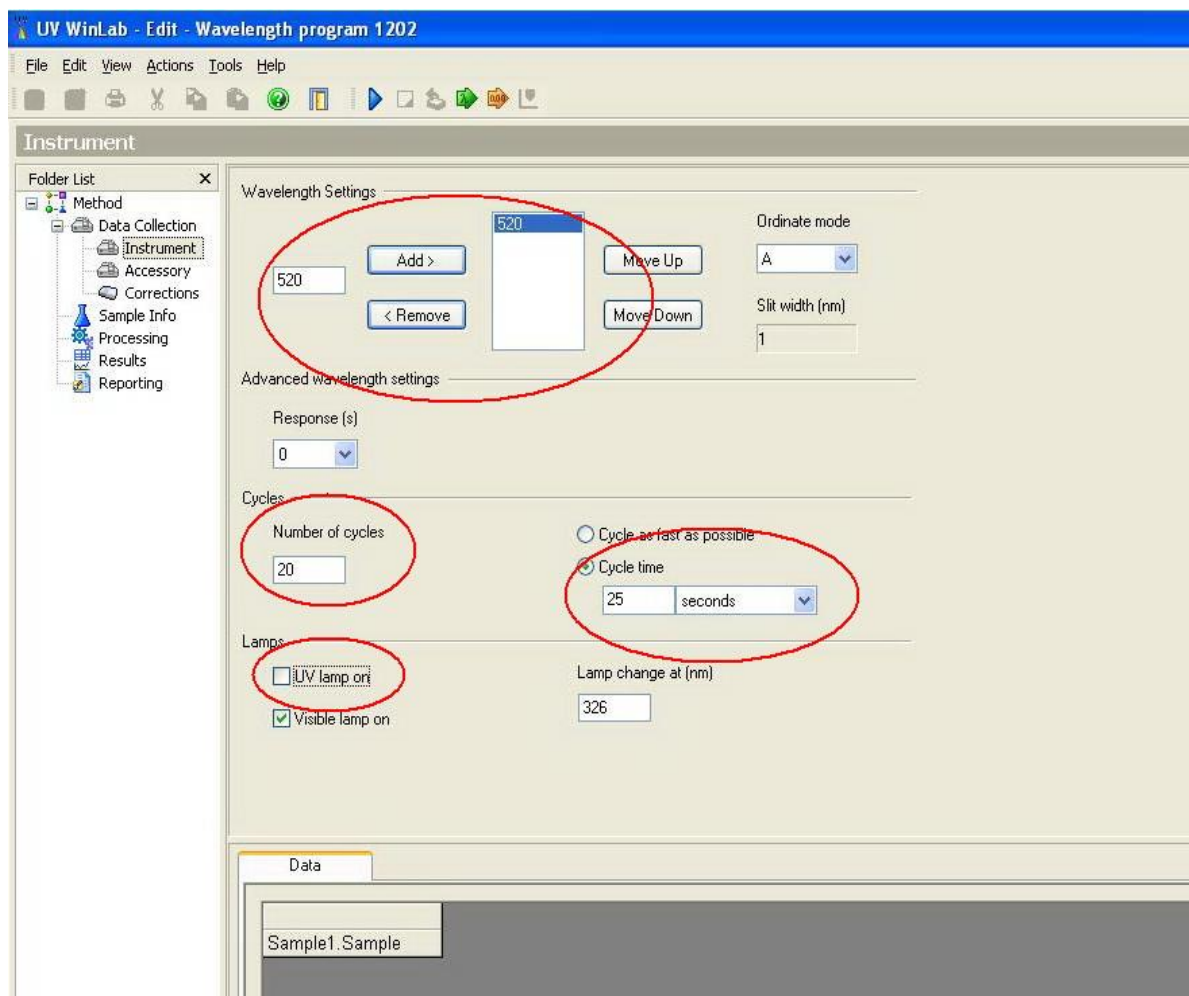
11. Переходим на страницу **Data Collection** → **Instrument**.

В списке длин волн необходимо ввести рабочую длину волны. Для этого необходимо

сначала очистить список. Щелкните мышью на ту длину волны, которую хотите удалить. Выделенная длина волны будет высвечена. Нажмите кнопку **Remove**. Длина волны будет удалена из списка. Введите рабочую длину волны в поле рядом с кнопками **Add** и **Remove**. Нажмите **Add**. Длина волны будет добавлена к списку.

Установите число циклов в поле **Number of cycles**. Так же необходимо задать временной интервал между циклами в поле **Cycle time**. В раскрывающемся списке выберите **second**, **minutes** или **hours** (число циклов и временной интервал задается преподавателем или лаборантом, в зависимости от проводимого эксперимента).

Так как рабочая длина волны для водного раствора мурексида находится в видимой области спектра и используется только **Visible lamp**, то УФ лампу нужно выключить. Для этого в поле рядом с **UV lamp on** снимите отметку.



**12.** После установки всех необходимых параметров, переходим в основное рабочее окно **Data Collection**.

**13.** В меню **Actions** выберите **Autozero**. Появится следующее сообщение – ‘*Remove sample(s) and press OK to perform an Autozero*’ (Удалите образец(цы) и затем нажмите ОК, чтобы выполнить установку нуля). Отображается ход процесса установки нуля.

**14.** Наполните одну из кювет дистиллированной водой (кюветы необходимо держать только за боковые матовые стороны) и установите в дальнейшее кюветное отделение. Смешайте отмеренное заранее количество мурексида и соляной кислоты в одном стаканчике и заполните получившимся раствором вторую кювету. Установите ее в ближайшее кюветное отделение. При необходимости глянцевые стороны кювет протрите фильтровальной бумагой. Закройте крышку прибора. **При смешении раствора мурексида с раствором соляной кислоты начинается реакция разложения мурексида**



и обесцвечивание раствора, поэтому данный пункт необходимо проделать максимально быстро.

15. Для запуска задачи в меню **Actions** выберите **Start**. Далее следуйте приглашениям, появляющимся на экране.

16. Прибор начинает проводить заданное число замеров через установленный временной интервал и выводит получившиеся данные на экран монитора. Результаты измерений занесите в таблицу. Эксперимент проводите до тех пор, пока три последних значения не будут постоянны. Это означает, что реакция разложения мурексида завершилась, а реакционная смесь обесцветилась.

UV WinLab - Edit - Wavelength program 1202

File Edit View Actions Tools Help

Data Collection

Folder List

- Method
  - Data Collection
    - Instrument
    - Accessory
    - Corrections
    - Sample Info
    - Processing
    - Results
    - Reporting

Wavelength Settings

520

Add >

< Remove

Move Up

Move Down

Ordinate mode

A

Slit width (nm)

1

Data

	520 nm
Sample1.Sample.Cycle1 (A)	0,664
Sample1.Sample.Cycle2 (A)	0,514
Sample1.Sample.Cycle3 (A)	0,381
Sample1.Sample.Cycle4 (A)	0,284
Sample1.Sample.Cycle5 (A)	0,214
Sample1.Sample.Cycle6 (A)	0,162
Sample1.Sample.Cycle7 (A)	0,125
Sample1.Sample.Cycle8 (A)	0,098
Sample1.Sample.Cycle9 (A)	0,078
Sample1.Sample.Cycle10 (A)	0,064
Sample1.Sample.Cycle11 (A)	0,053
Sample1.Sample.Cycle12 (A)	0,046
Sample1.Sample.Cycle13 (A)	0,040
Sample1.Sample.Cycle14 (A)	0,036
Sample1.Sample.Cycle15 (A)	0,033
Sample1.Sample.Cycle16 (A)	0,031
Sample1.Sample.Cycle17 (A)	0,030
Sample1.Sample.Cycle18 (A)	0,029
Sample1.Sample.Cycle19 (A)	0,028
Sample1.Sample.Cycle20 (A)	0,027

18. Если полученные значения уже постоянны, а количество циклов еще не завершено, можно остановить процесс, выбрав в меню **Actions** клавишу **Stop**.

19. Для сохранения результатов в меню **File** выберите **Save As** и затем **Task**.

Появится окно диалога **Save Results**. Введите свои данные. Нажмите **OK**. Окно

диалога закроется, и результаты будут сохранены в разделе **Task** Проводника.

20. Проводиться необходимое количество экспериментов, в которых может меняться заданная концентрация раствора мурексида или раствора соляной кислоты.

### 2.1.3. Выполнение эксперимента при температуре, отличающейся от комнатной

**Подготовьте необходимые растворы.** В колбу №1 из термостойкого стекла отмерьте 100 см<sup>3</sup> водного раствора мурексида, заданной концентрации. В колбу №2 из термостойкого стекла отмерьте 50 см<sup>3</sup> соляной кислоты HCl, заданной концентрации. Поместите обе колбы в термостат, с установленной температурой, на 20 мин.

**Подготовьте спектрофотометр к эксперименту по описанным выше пунктам.**

После нагревания смешать растворы мурексида и соляной кислоты в одной из колб и оставить ее в термостате до завершения опыта. Как только мурексид вступает во взаимодействие с соляной кислотой и начинается реакция разложения мурексида, необходимо включить секундомер.

Перед каждым циклом измерения оптической плотности, не выключая прибор, обновляете содержимое измерительной кюветы новой порцией реакционной смеси из основного объема, находящегося постоянно в термостате. В момент измерения, крышка прибора должна быть закрыта. Провести не менее 5 замеров оптической плотности.

### 2.3. Обработка результатов

Результаты измерений заносите в таблицу.

τ, сек	D			
τ <sub>1</sub>				
τ <sub>2</sub>				
τ <sub>3</sub>				
τ <sub>4</sub>				
...				
τ <sub>i</sub>				

Определите порядок реакции.

Порядок реакции можно определить следующими способами: метод подстановки, метод половинного превращения, графический метод, метод Вант-Гоффа, метод избытков Оствальда.

Для нашей лабораторной работы удобно использовать графический метод.

Рассматриваемая реакция может описываться уравнением:

$$\ln(C_1/C_2) = \kappa \cdot (\tau_2 - \tau_1),$$

если она первого порядка или уравнением:

$$1/C_2 - 1/C_1 = \kappa \cdot (\tau_2 - \tau_1),$$

если она второго порядка. Помня, что оптическая плотность (D) системы пропорциональна концентрации мурексида в растворе, имеем:

а) в случае I порядка:  $\ln(D_1/D_2) = \kappa_i(\tau_2 - \tau_1);$

б) в случае реакции II порядка:  $1/D_2 - 1/D_1 = \varepsilon \cdot \ell \cdot \kappa_i(\tau_2 - \tau_1).$

Постройте графики в координатах:

а) « $\ln D - \tau$ »

б) « $1/D - \tau$ ».

Линейность графика (а) укажет – реакция первого порядка, а линейность графика (б) – реакция второго порядка.

После выявления порядка реакции можно (графически или аналитически) рассчитать значение константы скорости реакции ( $\kappa$ ).

По значениям констант скорости реакции (при двух различных температурах) рассчитайте энергию активации ( $E$ ) и температурный коэффициент Вант-Гоффа ( $\gamma$ ).

$$E = \frac{R \ln \frac{k_2}{k_1}}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \qquad \gamma = \frac{k_{T+10}}{k_T} = 2 \div 4$$

Выявите роль катализатора в кинетике химических реакций.

***Критерии оценки лабораторных работ: (о/о-з/з)***

При подготовке к лабораторной работе по «Физической химии» в 3 семестре студент должен выполнить следующие виды работ:

- самостоятельная проработка теоретического материала к лабораторной работе;
- ознакомление с установкой, прибором, методикой выполнения лабораторной работы;
- выполнение необходимого эксперимента;
- обработка результатов исследования, построение графиков;
- анализ результатов исследования и вывод по работе.
- **максимально  $3 \cdot 8 = 24 / 2 \cdot 10 = 20 / 1 \cdot 15 = 15$**  за каждую выполненную лабораторную работу, если работа выполнена в полном объеме, в отчете правильно и аккуратно выполнены все вычисления и построены графики, логически и обоснованно приведены выводы по теме лабораторной работы.
- **минимально  $3 \cdot 4 = 12 / 2 \cdot 6 = 12 / 1 \cdot 9 = 9$**  если в ходе эксперимента допущены грубые промахи, в отчете есть грубые ошибки, присутствуют ошибки в вычислениях, неточно построены графики, не логически сформирован вывод к лабораторной работе.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
*Факультет-технологический*  
*Кафедра - ОХБТ*  
Направление 18.03.01 «Химическая технология»  
профиль/программа:  
«Химическая технология органических веществ»  
«Химическая технология высокомолекулярных соединений»  
«Химическая технология переработки полимеров и эластомеров»  
«Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов»

Семестр 3

**Комплект вопросов для коллоквиума**  
по дисциплине Б1. О.21 «Физическая химия»

### Тема 1

**«Основные понятия физической химии. Химическая термодинамика и химическое равновесие. Термохимия»**

**Коллоквиум 1: «Первый закон термодинамики. Термохимия»**

#### *Вариант № 1*

К каждому заданию А даны несколько ответов, из которых только один верный. Выберите верный, по Вашему мнению, ответ.

А1. Из приведенных ниже формул выберите ту, которая справедлива только для идеального газа.

1)  $C_p = \left( \frac{\partial(\Delta H)}{\partial T} \right)_p$ ;    2)  $H = U + PV$ ; 3)  $\left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_T = 0$ ;    4)  $\delta Q = dU + \delta W$ ;    5)  $\delta W = PdV$ .

А2. Являются ли теплота и работа функциями состояния?

- 1) теплота – да, а работа – нет;
- 2) теплота – нет, а работа – да;
- 3) и теплота, и работа являются функциями состояния;
- 4) и теплота, и работа не являются функциями состояния;
- 5) ответ зависит от направления процесса.

А3. Как выбирают знаки Q и W в уравнении первого закона термодинамики? Эти величины считаются положительными, если

- 1) теплота поглощается системой, а работа совершается над системой;
- 2) теплота поглощается системой, а работа совершается самой системой;
- 3) теплота выделяется системой, а работа совершается над системой;
- 4) теплота выделяется системой, а работа совершается самой системой;
- 5) процесс проводится обратимо.

А4. Стандартная теплота образования аммиака равна  $\Delta H_{f,298}^0(NH_3) = -294,1$  кДж/моль. В какой из приведенной ниже реакций тепловой эффект при T=298 К равен этой величине?

- 1)  $HCN + 3H_2 = NH_3 + CH_4$ ;
- 2)  $1/2N_2 + 3/2H_2 = NH_3$ ;
- 3)  $N + 3H = NH_3$ ;
- 4)  $NH_2COONH_4 = CO_2 + 2NH_3$ ;
- 5)  $2NO_2 + 6H_2O = 4NH_3 + 7O_2$ .

A5. Для каких веществ справедливо соотношение  $C_p = C_v + R$ ?

- 1) для твердых; 2) для жидких; 3) для конденсированных;  
4) для идеальных газов; 5) для простых кристаллических систем.

К каждому заданию В даны ответы, из которых могут быть верными несколько вариантов. Выберите верные, по Вашему мнению, ответы.

B1. Выражения, справедливые для изохорной теплоемкости  $C_v$  одного моля идеального газа.

- 1)  $\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p$ ; 2)  $\left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_p$ ; 3)  $\left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_v$ ; 4)  $C_p - R$ ; 5)  $\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_v$ ; 6)  $\Delta U + W$ .

B2. Укажите реакции, для которых можно пренебречь разностью между изменением энтальпии и изменением внутренней энергии.

- 1)  $\text{Ca}(\text{OH})_{2(p-p)} + \text{CO}_{2(g)} = \text{CaCO}_{3(тв)} + \text{H}_2\text{O}_{(ж)}$ ; 2)  $\text{CaO}_{(тв)} + \text{CO}_{2(g)} = \text{CaCO}_{3(тв)}$ ;  
3)  $2\text{AsH}_{3(g)} = 2\text{As}_{(тв)} + 3\text{H}_{2(g)}$ ; 4)  $\text{Pb}_{(тв)} + \text{PbO}_{2(тв)} = 2\text{PbO}_{(тв)}$ ;  
5)  $\text{Sb}_2\text{O}_{4(тв)} + 4\text{C}_{(тв)} = 2\text{Sb}_{(тв)} + 4\text{CO}_{(г)}$ ; 6)  $\text{Si}_{(тв)} + 2\text{Li}_2\text{O}_{(тв)} = \text{SiO}_{2(тв)} + 4\text{Li}_{(тв)}$ .

B3. Выберите экстенсивные параметры процесса:

- 1) давление; 2) масса; 3) объем; 4) температура; 5) концентрация;  
6) внутренняя энергия; 7) молярная теплоемкость.

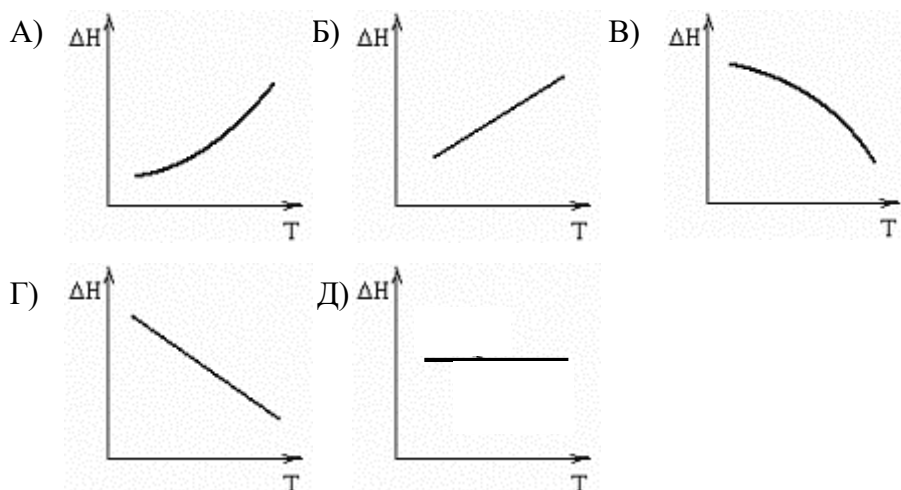
### Задания С

C1. Найдите соответствие между представленными реакциями и соотношением энтальпии и внутренней энергии (ответ представьте в виде последовательности букв, например, АБВ).

- 1)  $\text{CO}_{(г)} + \frac{1}{2}\text{O}_{2(г)} = \text{CO}_{2(г)}$ ; А)  $\Delta H > \Delta U$ ;  
2)  $\text{CaCO}_{3(тв)} = \text{CaO}_{(тв)} + \text{CO}_{2(г)}$ ; Б)  $\Delta H = \Delta U$ ;  
3)  $\text{H}_2\text{S}_{(г)} + \text{Sn}_{(тв)} = \text{SnS}_{(тв)} + \text{H}_{2(г)}$ . В)  $\Delta H < \Delta U$ .

C2. Найдите соответствие между знаком изменения теплоемкости процесса и зависимостью  $\Delta H = f(T)$  (ответ представьте в виде последовательности букв, например, АВГ).

- 1)  $\Delta C_p = 0$ ;  
2)  $\Delta C_p > 0$ ;  
3)  $\Delta C_p < 0$ .



C3. Стандартные энтальпии сгорания веществ в кислороде (кДж/моль) при температуре 298 К

$\text{C}_2\text{H}_4$ (г)	$\text{C}_{(тв, \text{графит})}$	$\text{H}_{2(г)}$
-1411	-393	-286

По приведенным табличным данным о стандартных энтальпиях сгорания веществ в кислороде при температуре 298 К вычислите стандартную энтальпию образования этилена  $C_2H_4$  из простых веществ при указанной температуре. Ответ выразите в кДж/моль.

С4. Совокупность тел, взаимодействующих между собой и обособленных от окружающей среды реальной или воображаемой оболочкой, называется..... (напишите пропущенное слово).

С5. Параметр термодинамической системы, не зависящий от общего количества вещества в системе, называется..... (напишите пропущенное слово).

## Вариант № 2

К каждому заданию А даны несколько ответов, из которых только один верный. Выберите верный, по Вашему мнению, ответ.

А1. При каком процессе работа, совершаемая системой, достигает максимального значения?

- 1) при изотермическом;    2) при необратимом;    3) при обратимом;  
4) при адиабатном;    5) при круговом.

А2. Стандартная теплота образования нитробензола  $\Delta H_{f,298}^0(C_6H_5NO_2) = -11,2$  кДж/моль. В какой из приведенных ниже реакций тепловой эффект при  $T=298$  К равен этой величине?

- 1)  $C_6H_6 + HNO_3 = C_6H_5NO_2 + H_2O$ ;    2)  $C_6H_5NH_2 + 3S + 6NH_3 + 3H_2O = C_6H_5NO_2 + 3(NH_4)_2S$ ;  
3)  $12C + 5H_2 + N_2 + 2O_2 = 2C_6H_5NO_2$ ;    4)  $6C + 5/2H_2 + 1/2N_2 + O_2 = C_6H_5NO_2$ ;  
5)  $C_6H_5NH_2 + 2H_2O = C_6H_5NO_2 + 3H_2$ .

А3. Какое выражение справедливо для изобарной теплоемкости  $C_p$  одного моля идеального газа?

- 1)  $\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p$ ;    2)  $\left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_p$ ;    3)  $\left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_v$ ;    4)  $\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_v$ ;    5)  $\Delta U + W$ .

А4. Для каких веществ справедливо соотношение  $C_p \approx C_v$ ?

- 1) только для твердых;    2) только для жидких;    3) для идеальных газов;  
4) для конденсированных веществ;    5) только для кристаллических систем.

А5. Что показывает величина  $\Delta H$  системы при её переходе из одного состояния в другое?

- 1) работу, совершенную системой при постоянном давлении;  
2) работу, совершенную системой при постоянной температуре;  
3) теплоту, отданную или поглощенную системой при постоянном давлении;  
4) теплоту, отданную или поглощенную системой при постоянной температуре.

К каждому заданию В даны ответы, из которых могут быть верными несколько вариантов. Выберите верные, по Вашему мнению, ответы.

В1. Выражение первого начала термодинамики, записанное с использованием теплоты процесса  $Q$ , имеет вид:

- 1)  $Q = \Delta U - W$ ;    2)  $\delta Q = dU + PdV$ ;    3)  $\delta Q = PdV - dU$ ;    4)  $Q = \Delta U + W$ ;  
5)  $\Delta U = Q + W$ ;    6)  $\Delta U = Q - W$ ;    7)  $W = \Delta U + Q$ ;    8)  $\delta W = dU - \delta Q$ .

В2. Выберите все виды уравнения Кирхгофа:

- 1)  $\Delta H_T^0 = \Delta H_{298}^0 - \Delta C_p (T - 298)$ ;    2)  $\Delta H_T^0 = \Delta H_{298}^0 + \Delta C_p (T - 298)$ ;  
3)  $\left(\frac{\partial(\Delta H)}{\partial P}\right)_T = \Delta C_p$ ;    4)  $\left(\frac{\partial(\Delta H)}{\partial T}\right)_p = \Delta C_p$ ;  
5)  $\left(\frac{\partial(\Delta U)}{\partial V}\right)_T = \Delta C_v$ ;    6)  $\left(\frac{\partial(\Delta U)}{\partial T}\right)_v = \Delta C_v$ .

В3. Выберите интенсивные параметры процесса:

- 1) давление; 2) масса; 3) объем; 4) температура; 5) концентрация;  
6) внутренняя энергия; 7) мольная теплоемкость.

### Задания С

С1. Определите, какой функцией (состояния или процесса) являются нижеприведенные функции (*ответ представьте в виде последовательности букв, например, ААБА*)?

- 1) энтальпия  $\Delta H$ ; А) функция процесса;  
2) внутренняя энергия  $\Delta U$ ; Б) функция состояния.  
3) теплота  $Q$ ;  
4) давление  $P$ ;  
5) работа  $W$ .

С2. Используя справочник, найдите соответствующие приведенным веществам теплоты сгорания ( $\Delta H_{c,298}^0$ , кДж/моль) (*ответ представьте в виде последовательности букв, например, АВДГ*).

- 1) этилен  $C_2H_4(g)$ ; А) -4194,75;  
2) сахароза  $C_{12}H_{22}O_{11(тв)}$ ; Б) -3301,51;  
3) этанол  $C_2H_5OH_{(ж)}$ ; В) -5646,73;  
4) гексан  $C_6H_{14(g)}$ ; Г) -1410,97;  
5) бензол  $C_6H_{6(g)}$ ; Д) -1370,68.

С3. Изменение энтальпии реакции при  $T=298\text{ К}$   $2NaOH_{(тв)}+CO_{2(г)}=Na_2CO_{3(тв)}+H_2O_{(г)}$  равно  $\Delta H_{298}^0 = -126,4\text{ кДж}$ . Найдите тепловой эффект этой реакции при температуре 800 К, используя данные о мольных теплоемкостях веществ (Дж/(моль·К)). Ответ выразите в кДж.

$NaOH_{(тв)}$	$CO_{2(г)}$	$Na_2CO_{3(тв)}$	$H_2O_{(г)}$
38,49	37,13	110,50	33,57

С4. Переход системы из одного состояния в другое вследствие изменения хотя бы одного параметра называется.....(*напишите пропущенное слово*).

С5. Параметр термодинамической системы, зависящий от общего количества вещества в системе, называется..... (*напишите пропущенное слово*).

### Вариант № 3

К каждому заданию А даны несколько ответов, из которых только один верный. Выберите верный, по Вашему мнению, ответ.

А1. Как энтальпия процесса зависит от температуры?

- 1)  $H_{T_2}^0 = H_{T_1}^0 + \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_p}{T} dT$ ; 2)  $H_{T_2}^0 = H_{T_1}^0 + \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$ ;  
3)  $\Delta H_{T_2}^0 = \Delta H_{T_1}^0 + \int_{T_1}^{T_2} \Delta C_p dT$ ; 4)  $H_{T_2}^0 = H_{T_1}^0 + \int_{T_1}^{T_2} \Delta C_p dT$ .

А2. Каково аналитическое выражение I закона термодинамики?

- 1)  $\delta Q = dU + \delta W$ ; 2)  $\delta Q = dU + dW$ ; 3)  $dQ = dU + \delta W$ ;  
4)  $dQ = \delta U + dW$ ; 5)  $dQ = \delta U + \delta W$ .

А3. Из приведенных ниже формул выберите ту, которая справедлива только для идеального газа.

- 1)  $C_p = \left( \frac{\partial(\Delta H)}{\partial T} \right)_p$ ; 2)  $H = U + PV$ ; 3)  $\left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_T = 0$ ; 4)  $\delta Q = dU + \delta W$ ; 5)  $\delta W = PdV$ .

А4. Что такое  $\Delta H_{f,298}^0$  данного вещества? Это изменение энтальпии при



- 1) нагревании этого вещества от 0 до 298 К;
- 2) реакции образования этого вещества из элементов;
- 3) реакции образования этого вещества из простых веществ, взятых в их наиболее устойчивых состояниях, при  $T=298$  К и парциальных давлениях всех компонентов газовой фазы, равных 1 атм;
- 4) реакции окисления данного вещества.

А5. Что показывает величина  $\Delta U$  системы при её переходе из одного состояния в другое?

- 1) работу, совершенную системой при постоянном объёме;
- 2) работу, совершенную системой при постоянной температуре;
- 3) теплоту, отданную или поглощенную системой при постоянном объёме;
- 4) теплоту, отданную или поглощенную системой при постоянной температуре.

**К каждому заданию В даны ответы, из которых могут быть верными несколько вариантов. Выберите верные, по Вашему мнению, ответы.**

В1. Выберите химические реакции, у которых изменение энтальпии больше изменения внутренней энергии.

- |  |  |
|--|--|
| 1) $\text{MgCO}_{3(\text{тв})} = \text{MgO}_{(\text{тв})} + \text{CO}_{2(\text{г})}$ ;   | 2) $2\text{H}_{2(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})} = 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}$ ;     |
| 3) $\text{H}_2\text{S}_{(\text{г})} + 2\text{NaOH}_{(\text{ж})} = \text{Na}_2\text{S}_{(\text{ж})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$ ; | 4) $2\text{CO}_{2(\text{г})} = 2\text{CO}_{(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})}$ ;             |
| 5) $\text{NH}_4\text{Cl}_{(\text{тв})} = \text{NH}_{3(\text{г})} + \text{HCl}_{(\text{г})}$ ;  | 6) $\text{CH}_{4(\text{г})} + \text{CO}_{2(\text{г})} = \text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{г})}$ . |

В2. Какие величины имеют размерность Дж/(моль·К)?

- 1) теплота Q; 2) работа W; 3) молярная изобарная теплоёмкость  $C_p$ ; 4) энтальпия  $\Delta H$ ;
- 5) универсальная газовая постоянная R; 6) энтропия S; 7) внутренняя энергия  $\Delta U$ .

В3. Условия, отличающие изолированную термодинамическую систему:

- 1) запас внутренней энергии в изолированной системе постоянен;
- 2) запас внутренней энергии в изолированной системе не постоянен;
- 3) исключен обмен веществом и энергией с окружающей средой;
- 4) возможен обмен энергией с окружающей средой, но исключен обмен веществом;
- 5) возможен обмен веществом с окружающей средой, но исключен обмен энергией;
- 6) возможен обмен веществом и энергией с окружающей средой.

#### Задания С

С1. Найдите соответствие между названием процесса и его обозначением из правого столбца (ответ представьте в виде последовательности букв, например, АВДЕГ).

- |                             |  |
|-----------------------------|--|
| 1) изобарный;               | А) $T = \text{const}$ ;                      |
| 2) изотермический;          | Б) $P = \text{const}$ ;                      |
| 3) изохорный;               | В) $T = \text{const}$ и $P = \text{const}$ ; |
| 4) изобарно-изотермический; | Г) $T = \text{const}$ и $V = \text{const}$ ; |
| 5) изохорно-изотермический; | Д) $Q = 0$ ;                                 |
| 6) адиабатный;              | Е) $V = \text{const}$ .                      |

С2. Найдите соответствие между принадлежностью параметра и указанной величиной (ответ представьте в виде последовательности букв, например, АББАБ).

- | ВЕЛИЧИНА                                   | ПАРАМЕТР         |
|--|------------------|
| 1) температура T;                          | А) экстенсивный; |
| 2) внутренняя энергия $\Delta U$ ;         | Б) интенсивный.  |
| 3) давление P;                             |                  |
| 4) молярная изобарная теплоёмкость $C_p$ ; |                  |
| 5) концентрация C;                         |                  |
| 6) масса m;                                |                  |
| 7) объём V.                                |                  |

С3. По теплотам сгорания  $\alpha$ -глюкозы,  $\beta$ -фруктозы и сахарозы (в кДж/моль) при 25 °С рассчитайте теплоту гидролиза сахарозы  $C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O = C_6H_{12}O_6(\alpha\text{-глюкоза}) + C_6H_{12}O_6(\beta\text{-фруктоза})$ . Ответ выразите в кДж.

$\alpha$ -глюкоза	$\beta$ -фруктоза	сахароза
-2802	-2810	-5644

С4. Отношение количества теплоты, подведенной к системе, к тому изменению температуры, которое при этом происходит, называется..... (напишите пропущенное слово).

С5. При постоянном давлении или объёме тепловой эффект химической реакции зависит только от вида и состояния исходных веществ и продуктов реакции, но не зависит от пути перехода (напишите, какой закон сформулирован).

## Коллоквиум 2: «Второй закон термодинамики»

### Вариант № 1

К каждому заданию А даны несколько ответов, из которых только один верный. Выберите верный, по Вашему мнению, ответ.

А1. Известно соотношение  $dS \geq \frac{\delta Q}{T}$ . Когда следует брать знак > и когда знак =?

- 1) > для необратимого процесса и = для изотермического;
- 2) > для неизотермического процесса и = для обратимого;
- 3) > для изотермического процесса и = для неизотермического;
- 4) > для неизолированной системы и = для изолированной;
- 5) > для необратимого процесса и = для обратимого.

А2. Может ли энтропия вещества быть отрицательной?

- 1) только при низких температурах;
- 2) только при высоких температурах;
- 3) только для простых веществ, взятых в их наиболее устойчивом состоянии;
- 4) да;
- 5) нет.

А3. Укажите правильную формулу:

- 1)  $dH = Vdp + TdS + \sum_i \mu_i dn_i$ ;
- 2)  $dH = -pdV + TdS + \sum_i \mu_i dn_i$ ;
- 3)  $dH = pdV + SdT - \sum_i \mu_i dn_i$ ;
- 4)  $dH = -pdV + SdT - \sum_i \mu_i dn_i$ ;
- 5)  $dH = -Vdp - TdS + \sum_i \mu_i dn_i$ .

А4. Укажите правильную формулу:

- 1)  $F = U - TS$ ;
- 2)  $F = H - TS$ ;
- 3)  $F = U + TS$ ;
- 4)  $F = H + TS$ ;
- 5)  $F \leq U + TS$ .

А5. Укажите правильную формулу:

- 1)  $\left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_p = V$ ;
- 2)  $\left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_V = -S$ ;
- 3)  $\left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_p = -S$ ;
- 4)  $\left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_p = -V$ ;
- 5)  $\left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_p = S$ .

К каждому заданию В даны ответы, из которых могут быть верными несколько вариантов. Выберите верные, по Вашему мнению, ответы.

В1. Свойства химического потенциала компонента системы в общем случае

- 1) функция состояния системы;
- 2) функция процесса;
- 3) экстенсивная функция;
- 4) интенсивная функция;
- 5) функция, равная теплоте процесса;
- 6) функция, равная работе процесса.

В2. Дан ряд утверждений, касающихся энергии Гиббса. Укажите, какие из них - правильные.

- 1) убыль энергии Гиббса равна полезной работе процесса;
- 2) убыль энергии Гиббса равна полной работе процесса;
- 3) размерность энергии Гиббса кДж/(моль·К);
- 4) размерность энергии Гиббса кДж/моль.

### Задания С

**С1.** Найдите соответствие между частными производными термодинамических функций и параметрами процесса (ответ представьте в виде последовательности букв, например, АВВГ).

$$1) \left( \frac{\partial G}{\partial T} \right)_p; \quad 2) \left( \frac{\partial F}{\partial V} \right)_T; \quad 3) \left( \frac{\partial H}{\partial S} \right)_p; \quad 4) \left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_S.$$

А) –S; Б) S; В) P; Г) –P; Д) T; Е) V; Ж) –V.

**С2.** Напишите определение химического потенциала.

**С3.** Напишите уравнение Гиббса-Гельмгольца для системы.

### Вариант № 2

**К** каждому заданию А даны несколько ответов, из которых только один верный. Выберите верный, по Вашему мнению, ответ.

**А1.** Для каких процессов справедливо соотношение  $dS = \frac{\delta Q}{T}$  ?

- 1) для любых;
- 2) для любых изотермических;
- 3) для адиабатных;
- 4) для любых обратимых;
- 5) для обратимых изотермических.

**А2.** Как связаны между собой величины измерений энтропии, энтальпии и температуры при фазовых переходах?

$$1) \Delta S = \frac{\Delta H}{T}; \quad 2) \Delta S = \Delta H \cdot T; \quad 3) \Delta S = -\frac{\Delta H}{T}; \quad 4) \Delta S = \frac{d\Delta H}{dT}; \quad 5) \Delta S = \Delta H.$$

**А3.** Укажите правильную формулу:

$$1) \left( \frac{\partial F}{\partial T} \right)_p = V; \quad 2) \left( \frac{\partial F}{\partial T} \right)_V = -S; \quad 3) \left( \frac{\partial F}{\partial T} \right)_V = S; \quad 4) \left( \frac{\partial F}{\partial T} \right)_p = -V;$$

$$5) \left( \frac{\partial F}{\partial T} \right)_V = P.$$

**А4.** Укажите правильную формулу:

$$1) dF = Vdp + SdT + \sum_i \mu_i dn_i; \quad 2) dF = -Vdp + SdT + \sum_i \mu_i dn_i;$$

$$3) dF = -pdV - SdT + \sum_i \mu_i dn_i; \quad 4) dF = -pdV - SdT - \sum_i \mu_i dn_i;$$

$$5) dF = Vdp + SdT - \sum_i \mu_i dn_i.$$

**А5.** Укажите правильную формулу:

$$1) G = U - TS + PV; \quad 2) G = U - TS - PV; \quad 3) G = U + TS + PV; \quad 4) G = U + TS - PV; \quad 5) G \leq U + TS + PV.$$

**К** каждому заданию В даны ответы, из которых могут быть верными несколько вариантов. Выберите верные, по Вашему мнению, ответы.

**В1.** Свойства энергии Гиббса компонента системы в общем случае

- 1) функция состояния системы;
- 2) функция процесса;
- 3) экстенсивная функция;
- 4) интенсивная функция;
- 5) функция, равная теплоте процесса;
- 6) функция, равная полезной работе процесса.

**В2.** Дан ряд утверждений, касающихся энтропии. Укажите, какие из них - правильные.

- 1) энтропия – мера беспорядка системы;
- 2) энтропия – теплота процесса;
- 3) размерность энтропии кДж/моль;
- 4) размерность энтропии кДж/(моль·К);

5) энтропия - экстенсивная функция;

6) энтропия - интенсивная функция.

### Задания С

**С1.** Найдите соответствие между частными производными термодинамических функций и параметрами процесса (*ответ представьте в виде последовательности букв, например, АВВГ*).

1)  $\left(\frac{\partial G}{\partial P}\right)_T$ ;    2)  $\left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_V$ ;    3)  $\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_S$ ;    4)  $\left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_V$ .

А) -S; Б) S; В) P; Г) -P; Д) T; Е) V; Ж) -V.

**С2.** Напишите постулаты II закона термодинамики.

**С3.** Напишите уравнение Гиббса-Гельмгольца для процесса.

### Вариант № 3

**К** каждому заданию **А** даны несколько ответов, из которых только один верный. Выберите верный, по Вашему мнению, ответ.

**А1.** Как изменяется энтропия вещества при его нагревании при постоянном объеме или постоянном давлении?

- 1) увеличивается;    2) уменьшается;    3) не изменяется;  
4) может изменяться немонокотонно;  
5) возрастает пропорционально изменению температуры.

**А2.** Укажите правильную формулировку: «При постоянном объеме и температуре самопроизвольные процессы идут в сторону...»

- 1) возрастания энергии Гиббса системы; 2) убывания энергии Гиббса системы;  
3) возрастания энтропии системы;    4) возрастания энергии Гельмгольца системы;  
5) убывания энергии Гельмгольца системы.

**А3.** При каком процессе работа, совершаемая системой, достигает максимального значения?

- 1) при изотермическом;    2) при необратимом;    3) при обратимом;  
4) при адиабатном;    5) при круговом.

**А4.** Укажите правильную формулу:

1)  $dG = Vdp + SdT + \sum_i \mu_i dn_i$ ; 2)  $dG = -Vdp + SdT + \sum_i \mu_i dn_i$ ; 3)  $dG = Vdp - SdT + \sum_i \mu_i dn_i$ ;  
4)  $dG = -pdV + TdS + \sum_i \mu_i dn_i$ ;    5)  $dG = VdT + pdT - \sum_i \mu_i dn_i$ .

**А5.** Укажите правильную формулу:

- 1)  $H = U - PV$ ; 2)  $H = U + PV$ ; 3)  $H = U/PV$ ; 4)  $H = U \cdot PV$ ; 5)  $H \leq U + PV$ .

**К** каждому заданию **В** даны ответы, из которых могут быть верными несколько вариантов. Выберите верные, по Вашему мнению, ответы.

**В1.** Свойства энергии Гельмгольца компонента системы в общем случае

- 1) функция состояния системы;    2) функция процесса;  
3) экстенсивная функция;    4) интенсивная функция;  
5) функция, равная теплоте процесса;    6) функция, равная работе процесса.

**В2.** Дан ряд утверждений, касающихся энтальпии. Укажите, какие из них - правильные.

- 1) энтальпия – мера беспорядка системы;    2) энтальпия – теплота процесса;  
3) размерность энтальпии кДж/моль;    4) размерность энтальпии кДж/(моль·К);  
5) энтальпия - экстенсивная функция;    6) энтальпия - интенсивная функция.

### Задания С

**С1.** Найдите соответствие между частными производными термодинамических функций и параметрами процесса (*ответ представьте в виде последовательности букв, например, АВВГ*).

1)  $\left(\frac{\partial G}{\partial P}\right)_T$ ;    2)  $\left(\frac{\partial F}{\partial V}\right)_T$ ;    3)  $\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_S$ ;    4)  $\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_S$ .

А) –S; Б) S; В) P; Г) –P; Д) T; Е) V; Ж) –V.

**С2.** Дайте определения самопроизвольного, несамопроизвольного и равновесного процессов.

**С3.** Напишите формулу химического потенциала компонента при постоянном объеме и температуре.

## Коллоквиум2: «Химическое равновесие».

### Вариант № 1

**К** каждому заданию **А** даны несколько ответов, из которых только один верный. Выберите верный, по Вашему мнению, ответ.

**А1.** Уравнение изотермы Вант-Гоффа для химической реакции  $2\text{AsH}_{3(\text{г})} = 2\text{As}_{(\text{тв})} + 3\text{H}_{2(\text{г})}$  (газы - идеальные, твердая фаза - чистое вещество)

- 1)  $\Delta G_{p,T} = \Delta G_T^0 + RT \ln \frac{P_{\text{As}} P_{\text{H}_2}}{P_{\text{AsH}_3}}$ ;      2)  $\Delta G_{p,T} = \Delta G_T^0 + RT \ln \frac{P_{\text{H}_2}^3}{P_{\text{AsH}_3}^2}$ ;  
3)  $\Delta G_{p,T} = \Delta G_T^0 + RT \ln \frac{P_{\text{AsH}_3}}{P_{\text{As}} P_{\text{H}_2}}$ ;      4)  $\Delta G_{p,T} = \Delta G_T^0 + RT \ln \frac{P_{\text{AsH}_3}^2}{P_{\text{H}_2}^3}$ ;  
5)  $\Delta G_{p,T} = \Delta G_T^0 + RT \ln \frac{P_{\text{As}}^2}{P_{\text{AsH}_3}^2 P_{\text{H}_2}^3}$ ;      6)  $\Delta G_{p,T} = \Delta G_T^0 + RT \ln (P_{\text{As}} P_{\text{H}_2} P_{\text{AsH}_3})$ .

**А2.** В изохорных условиях температурная зависимость константы химического равновесия выражается уравнением:

- 1)  $\frac{d \ln K_c}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2}$ ; 2)  $\frac{d \ln K_c}{dT} = \frac{\Delta U}{RT^2}$ ; 3)  $\frac{d \ln K_p}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2}$ ; 4)  $\frac{d \ln K_p}{dT} = \frac{\Delta U}{RT^2}$ ;  
5)  $\Delta G^0 = -RT \ln K_p$ .

**А3.** Для химической реакции в идеальной газовой фазе  $\text{C}_2\text{H}_{4(\text{г})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{г})} = \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{г})}$  стандартное изменение энтальпии отрицательно и составляет около -47кДж. Для увеличения выхода продукта необходимо

- 1) увеличить температуру и давление;  
2) увеличить температуру, уменьшить давление;  
3) уменьшить температуру, увеличить давление;  
4) уменьшить температуру и давление;  
5) увеличить только температуру, т.к. давление не влияет на равновесный выход;  
6) уменьшить только температуру, т.к. давление не влияет на равновесный выход;  
7) увеличить только давление, т.к. температура не влияет на равновесный выход;  
8) уменьшить только давление, т.к. температура не влияет на равновесный выход;  
9) температура и давление не влияют на равновесный выход.

**К** каждому заданию **В** даны ответы, из которых могут быть верными несколько вариантов. Выберите верные, по Вашему мнению, ответы.

**В1.** Реакции, химическое равновесие в которых при увеличении давления смещается вправо (в сторону продуктов)

- 1)  $\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{р-р})} + \text{CO}_{2(\text{г})} = \text{CaCO}_{3(\text{тв})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$ ;      2)  $\text{CaO}_{(\text{тв})} + \text{CO}_{2(\text{г})} = \text{CaCO}_{3(\text{тв})}$ ;  
3)  $2\text{AsH}_{3(\text{г})} = 2\text{As}_{(\text{тв})} + 3\text{H}_{2(\text{г})}$ ;      4)  $\text{Pb}_{(\text{тв})} + \text{PbO}_{2(\text{тв})} = 2\text{PbO}_{(\text{тв})}$ ;  
5)  $\text{Sb}_2\text{O}_{4(\text{тв})} + 4\text{C}_{(\text{тв})} = 2\text{Sb}_{(\text{тв})} + 4\text{CO}_{(\text{г})}$ ;      6)  $\text{Si}_{(\text{тв})} + 2\text{Li}_2\text{O}_{(\text{тв})} = \text{SiO}_{2(\text{тв})} + 4\text{Li}_{(\text{тв})}$ .

**В2.** Реакции в идеальной газовой фазе, равновесие которых при уменьшении общего давления смещается влево (в сторону исходных веществ)

- 1)  $2\text{NO}_2 = 2\text{NO} + \text{O}_2$ ; 2)  $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 = 2\text{NH}_3$ ;      3)  $\text{H}_2 + \text{I}_{2(\text{г})} = 2\text{HI}_{(\text{г})}$ ;  
4)  $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{SO}_3$ ; 5)  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{г})} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$ ;      6)  $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}_{(\text{г})} = \text{CO} + 3\text{H}_2$ ;  
7)  $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 = 2\text{CO} + 2\text{H}_2$ .

**В3.** Реакции, химическое равновесие в которых при увеличении температуры смещается вправо (в сторону продуктов)

- 1)  $\text{C}_3\text{H}_8 = \text{C}_3\text{H}_6 + \text{H}_2$  ( $\Delta H^\circ = 266,06$  кДж);
- 2)  $4\text{HCl} + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})} + 2\text{Cl}_2$  ( $\Delta H^\circ = -119,9$  кДж);
- 3)  $2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} = \text{CH}_3\text{COCH}_3 + 3\text{H}_2 + \text{CO}$  ( $\Delta H^\circ = 141,5$  кДж);
- 4)  $\text{CO} + 3\text{H}_2 = \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}$  ( $\Delta H^\circ = -206,13$  кДж);
- 5)  $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 = 2\text{CO} + 2\text{H}_2$  ( $\Delta H^\circ = 247,3$  кДж).

#### Задания С

**С1.** Найдите соответствие между химической реакцией, протекающей в идеальной газовой фазе, и соотношением констант равновесия (ответ представьте в виде последовательности букв, например, АВБАВВ)

- 1)  $K_p = \frac{K_c}{RT}$ ; 2)  $K_c = K_p(RT)^2$ ; 3)  $K_p = K_c RT$ ; 4)  $K_N = \frac{K_p}{P}$ ; 5)  $K_p = \frac{K_N}{P^2}$ ; 6)  $K_N = K_p P$ .

А)  $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 = 2\text{NH}_3$ ;      Б)  $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{SO}_3$ ;      В)  $2\text{NO}_2 = 2\text{NO} + \text{O}_2$ .

**С2.** Напишите выражение связи термодинамической константы равновесия ( $K$ ) реакции  $\text{CaO}_{(\text{тв})} + \text{CO}_{2(\text{г})} = \text{CaCO}_{3(\text{тв})}$  ( $K$ ) с константами равновесия ( $K_1 - K_3$ ) следующих реакций:

$\text{Ca}_{(\text{тв})} + 1/2\text{O}_2 = \text{CaO}_{(\text{тв})}$  ( $K_1$ );

$\text{C}_{(\text{тв, графит})} + \text{O}_2 = \text{CO}_{2(\text{г})}$  ( $K_2$ );

$\text{Ca}_{(\text{тв})} + \text{C}_{(\text{тв})} + 3/2\text{O}_2 = \text{CaCO}_{3(\text{тв})}$  ( $K_3$ ).

#### Вариант № 2

К каждому заданию А даны несколько ответов, из которых только один верный. Выберите верный, по Вашему мнению, ответ.

**А1.** В изобарных условиях температурная зависимость константы химического равновесия выражается уравнением:

- 1)  $\frac{d \ln K_c}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2}$ ; 2)  $\frac{d \ln K_c}{dT} = \frac{\Delta U}{RT^2}$ ; 3)  $\frac{d \ln K_p}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2}$ ; 4)  $\frac{d \ln K_p}{dT} = \frac{\Delta U}{RT^2}$ ;  
5)  $\Delta G^0 = -RT \ln K_p$ .

**А2.** Для химической реакции в идеальной газовой фазе  $2\text{NO}_2 = 2\text{NO} + \text{O}_2$  критерием самопроизвольности процесса разложения  $\text{NO}_2$  при постоянных давлении и температуре и при заданных парциальных давлениях реагентов  $P_i$  служит выражение

- 1)  $RT \ln K_p < RT \ln \frac{P_{\text{O}_2} P_{\text{NO}}^2}{P_{\text{NO}_2}^2}$ ;      2)  $RT \ln K_p = RT \ln \frac{P_{\text{O}_2} P_{\text{NO}}^2}{P_{\text{NO}_2}^2}$ ; 3)  $RT \ln K_p > RT \ln \frac{P_{\text{O}_2} P_{\text{NO}}^2}{P_{\text{NO}_2}^2}$ ;  
4)  $RT \ln K_p < RT \ln \frac{P_{\text{NO}_2}}{P_{\text{O}_2} P_{\text{NO}}}$ ;      5)  $RT \ln K_p > RT \ln \frac{P_{\text{NO}_2}}{P_{\text{O}_2} P_{\text{NO}}}$ ; 6)  $RT \ln K_p = RT \ln \frac{P_{\text{NO}_2}}{P_{\text{O}_2} P_{\text{NO}}}$ .

**А3.** Для химической реакции в идеальной газовой фазе  $\text{CO}_{(\text{г})} + 2\text{H}_{2(\text{г})} = \text{CH}_3\text{OH}_{(\text{г})}$  стандартное изменение энтальпии отрицательно и составляет около -91 кДж. Для увеличения выхода продукта необходимо

- 1) увеличить температуру и давление;
- 2) увеличить температуру, уменьшить давление;
- 3) уменьшить температуру, увеличить давление;
- 4) уменьшить температуру и давление;
- 5) увеличить только температуру, т.к. давление не влияет на равновесный выход;
- 6) уменьшить только температуру, т.к. давление не влияет на равновесный выход;
- 7) увеличить только давление, т.к. температура не влияет на равновесный выход;
- 8) уменьшить только давление, т.к. температура не влияет на равновесный выход;
- 9) температура и давление не влияют на равновесный выход.

К каждому заданию В даны ответы, из которых могут быть верными несколько вариантов. Выберите верные, по Вашему мнению, ответы.

**В1.** Реакции, химическое равновесие в которых при увеличении давления смещается влево (в сторону исходных веществ)

- 1)  $\text{Ca(OH)}_{2(\text{р-р})} + \text{CO}_{2(\text{г})} = \text{CaCO}_{3(\text{тв})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$ ; 2)  $\text{CaO}_{(\text{тв})} + \text{CO}_{2(\text{г})} = \text{CaCO}_{3(\text{тв})}$ ;  
 3)  $2\text{AsH}_{3(\text{г})} = 2\text{As}_{(\text{тв})} + 3\text{H}_{2(\text{г})}$ ; 4)  $\text{Pb}_{(\text{тв})} + \text{PbO}_{2(\text{тв})} = 2\text{PbO}_{(\text{тв})}$ ;  
 5)  $\text{Sb}_2\text{O}_{4(\text{тв})} + 4\text{C}_{(\text{тв})} = 2\text{Sb}_{(\text{тв})} + 4\text{CO}_{(\text{г})}$ ; 6)  $\text{Si}_{(\text{тв})} + 2\text{Li}_2\text{O}_{(\text{тв})} = \text{SiO}_{2(\text{тв})} + 4\text{Li}_{(\text{тв})}$ .

**В2.** Реакции в идеальной газовой фазе, равновесие которых при уменьшении общего давления не изменяется

- 1)  $2\text{NO}_2 = 2\text{NO} + \text{O}_2$ ; 2)  $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 = 2\text{NH}_3$ ; 3)  $\text{H}_2 + \text{J}_{2(\text{г})} = 2\text{HJ}_{(\text{г})}$ ; 4)  $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{SO}_3$ ;  
 5)  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{г})} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$ ; 6)  $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}_{(\text{г})} = \text{CO} + 3\text{H}_2$ ; 7)  $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 = 2\text{CO} + 2\text{H}_2$ .

**В3.** Реакции, химическое равновесие в которых при увеличении температуры смещается влево (в сторону исходных веществ) (реакции протекают в идеальной газовой фазе)

- 1)  $\text{C}_3\text{H}_8 = \text{C}_3\text{H}_6 + \text{H}_2$  ( $\Delta H^\circ = 266,06$  кДж);  
 2)  $4\text{HCl} + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})} + 2\text{Cl}_2$  ( $\Delta H^\circ = -119,9$  кДж);  
 3)  $2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} = \text{CH}_3\text{COCH}_3 + 3\text{H}_2 + \text{CO}$  ( $\Delta H^\circ = 141,5$  кДж);  
 4)  $\text{CO} + 3\text{H}_2 = \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}$  ( $\Delta H^\circ = -206,13$  кДж);  
 5)  $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 = 2\text{CO} + 2\text{H}_2$  ( $\Delta H^\circ = 247,3$  кДж).

### Задания С

**С1.** Найдите соответствие между названием функции и её формулой (ответ представьте в виде последовательности букв, например, АББВА).

- 1)  $\frac{d \ln K_c}{dT} = \frac{\Delta U}{RT^2}$ ; А) уравнение Планка;  
 2)  $\frac{d \ln K_p}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2}$ ; Б) уравнение изобары Вант-Гоффа;  
 3)  $\frac{d \ln K_N}{dP} = -\frac{\Delta n}{P}$ ; В) уравнение изохоры Вант-Гоффа.  
 4)  $\frac{d \ln K_N}{dP} = -\frac{\Delta V}{RT}$ ;  
 5)  $\ln K_p = -\frac{\Delta H}{R} \left( \frac{1}{T} \right) + \text{const}$ .

**С2.** Вычислите стандартное изменение энтропии при температуре 298 К в химической реакции  $\text{CaC}_{2(\text{тв})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})} = \text{Ca(OH)}_{2(\text{тв})} + \text{C}_2\text{H}_{2(\text{г})}$  по приведенным в таблице значениям стандартной энтропии веществ при данной температуре. Ответ выразите в Дж/К.

Вещество	$\text{CaC}_{2(\text{тв})}$	$\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$	$\text{Ca(OH)}_{2(\text{тв})}$	$\text{C}_2\text{H}_{2(\text{г})}$
$S_{298}^\circ$ , Дж/(моль·К)	70	70	83	201

### Вариант № 3

К каждому заданию А даны несколько ответов, из которых только один верный. Выберите верный, по Вашему мнению, ответ.

**А1.** Выберите правую часть уравнения температурной зависимости константы химического

равновесия, соответствующую левой части  $\ln \frac{K_{p(T_2)}}{K_{p(T_1)}}$  =

$$1) \frac{\Delta H}{T}; \quad 2) \frac{\Delta H}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right); \quad 3) \frac{\Delta H}{RT}; \quad 4) \frac{\Delta H}{RT^2}; \quad 5) \frac{\Delta H}{R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right); \quad 6) \frac{\Delta H}{T\Delta V}.$$

**A2.** Для химической реакции в идеальной газовой фазе  $2\text{SO}_3 = 2\text{SO}_2 + \text{O}_2$  критерием самопроизвольности процесса разложения  $\text{SO}_3$  при постоянных давлении и температуре и при заданных парциальных давлениях реагентов  $P_i$  служит выражение

$$1) RT \ln K_p < RT \ln \frac{P_{\text{O}_2} P_{\text{SO}_2}^2}{P_{\text{SO}_3}^2}; \quad 2) RT \ln K_p = RT \ln \frac{P_{\text{O}_2} P_{\text{SO}_2}^2}{P_{\text{SO}_3}^2}; \quad 3) RT \ln K_p > RT \ln \frac{P_{\text{O}_2} P_{\text{SO}_2}^2}{P_{\text{SO}_3}^2};$$

$$4) RT \ln K_p < RT \ln \frac{P_{\text{SO}_3}}{P_{\text{O}_2} P_{\text{SO}_2}}; \quad 5) RT \ln K_p > RT \ln \frac{P_{\text{SO}_3}}{P_{\text{O}_2} P_{\text{SO}_2}}; \quad 6) RT \ln K_p = RT \ln \frac{P_{\text{SO}_3}}{P_{\text{O}_2} P_{\text{SO}_2}}.$$

**A3.** Для химической реакции в идеальной газовой фазе  $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 = \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}$  стандартное изменение энтальпии отрицательно и составляет около  $-165 \text{ кДж}$ . Для увеличения выхода метана необходимо

- 1) увеличить температуру и давление;
- 2) увеличить температуру, уменьшить давление;
- 3) уменьшить температуру, увеличить давление;
- 4) уменьшить температуру и давление;
- 5) увеличить только температуру, т.к. давление не влияет на равновесный выход;
- 6) уменьшить только температуру, т.к. давление не влияет на равновесный выход;
- 7) увеличить только давление, т.к. температура не влияет на равновесный выход;
- 8) уменьшить только давление, т.к. температура не влияет на равновесный выход;
- 9) температура и давление не влияют на равновесный выход.

**К каждому заданию В даны ответы, из которых могут быть верными несколько вариантов. Выберите верные, по Вашему мнению, ответы.**

**B1.** Реакции, химическое равновесие в которых не смещается при увеличении давления

- 1)  $\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{р-р})} + \text{CO}_{2(\text{г})} = \text{CaCO}_{3(\text{тв})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$ ;
- 2)  $\text{CaO}_{(\text{тв})} + \text{CO}_{2(\text{г})} = \text{CaCO}_{3(\text{тв})}$ ;
- 3)  $2\text{AsH}_{3(\text{г})} = 2\text{As}_{(\text{тв})} + 3\text{H}_{2(\text{г})}$ ;
- 4)  $\text{Pb}_{(\text{тв})} + \text{PbO}_{2(\text{тв})} = 2\text{PbO}_{(\text{тв})}$ ;
- 5)  $\text{Sb}_2\text{O}_{4(\text{тв})} + 4\text{C}_{(\text{тв})} = 2\text{Sb}_{(\text{тв})} + 4\text{CO}_{(\text{г})}$ ;
- 6)  $\text{Si}_{(\text{тв})} + 2\text{Li}_2\text{O}_{(\text{тв})} = \text{SiO}_{2(\text{тв})} + 4\text{Li}_{(\text{тв})}$ .

**B2.** Реакции в идеальной газовой фазе, равновесие которых при уменьшении общего давления смещается вправо (в сторону продуктов)

- 1)  $2\text{NO}_2 = 2\text{NO} + \text{O}_2$ ;
- 2)  $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 = 2\text{NH}_3$ ;
- 3)  $\text{H}_2 + \text{I}_{2(\text{г})} = 2\text{HI}_{(\text{г})}$ ;
- 4)  $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{SO}_3$ ;
- 5)  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{г})} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$ ;
- 6)  $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}_{(\text{г})} = \text{CO} + 3\text{H}_2$ ;
- 7)  $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 = 2\text{CO} + 2\text{H}_2$ .

**B3.** Реакции, химическое равновесие в которых при уменьшении температуры смещается влево (в сторону исходных веществ) (реакции протекают в идеальной газовой фазе)

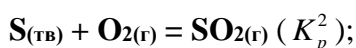
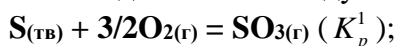
- 1)  $\text{C}_3\text{H}_8 = \text{C}_3\text{H}_6 + \text{H}_2$  ( $\Delta H^\circ = 266,06 \text{ кДж}$ );
- 2)  $4\text{HCl} + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})} + 2\text{Cl}_2$  ( $\Delta H^\circ = -119,9 \text{ кДж}$ );
- 3)  $2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} = \text{CH}_3\text{COCH}_3 + 3\text{H}_2 + \text{CO}$  ( $\Delta H^\circ = 141,5 \text{ кДж}$ );
- 4)  $\text{CO} + 3\text{H}_2 = \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}$  ( $\Delta H^\circ = -206,13 \text{ кДж}$ );
- 5)  $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 = 2\text{CO} + 2\text{H}_2$  ( $\Delta H^\circ = 247,3 \text{ кДж}$ ).

### Задания С

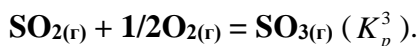
**C1.** Дана реакция  $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 = \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}$ . Вначале было взято по 1 молю каждого вещества. Затем по реакции прореагировало  $x$  молей  $\text{CO}_2$  до установления равновесия реакции. Найдите соответствие между равновесными числами молей компонентов реакции (ответ представьте в виде последовательности букв, например, АВБА).

- 1)  $\text{CO}_2$ ;
- 2)  $\text{H}_2$ ;
- 3)  $\text{CH}_4$ ;
- 4)  $\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}$ ;
- А)  $x$ ;
- Б)  $1-x$ ;
- В)  $1+x$ ;
- Г)  $1-4x$ ;
- Д)  $1+2x$ ;
- Е)  $1-2x$ ;
- Ж)  $2x$ .

**C2.** Найдите связь между константами равновесия следующих реакций:







## Тема 2.

### «Термодинамика фазового равновесия»

#### Коллоквиум 3: «Правило фаз Гиббса. Однокомпонентные системы»

##### Вариант № 1

К каждому заданию А даны несколько ответов, из которых только один верный. Выберите верный, по Вашему мнению, ответ.

А1. Число степеней свободы (вариантность состояния) системы, состоящей из **К** компонентов и **Ф** фаз, на которую из внешних условий влияют только давление и температура:

1)  $K + \Phi + 2$ ;    2)  $\Phi - K + 2$ ;    3)  $K - \Phi - 2$ ;    4)  $K - \Phi + 2$ ;    5)  $K + \Phi - 2$ ;    6)  $\Phi - K - 2$ .

А2. Число фаз в равновесной системе  $\text{NH}_4\text{Cl}_{(\text{к})} = \text{NH}_3_{(\text{г})} + \text{HCl}_{(\text{г})}$ :

1) 1;    2) 2;    3) 3;    4) 4.

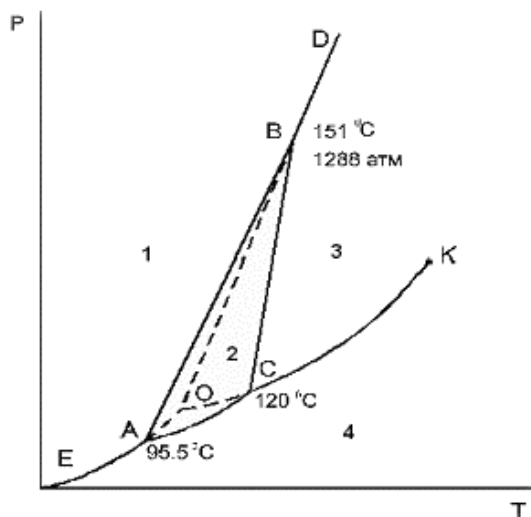
А3. Наибольшее число различных фаз, которые могут сосуществовать в равновесии в двухкомпонентной гетерогенной системе, на которую из внешних условий влияет только температура (давление постоянно)?

1) 1;    2) 2;    3) 3;    4) 4.

А4. Выберите правую часть уравнения, описывающего ход линии моновариантного равновесия на Р-Т-диаграмме состояния для однокомпонентной двухфазной системы, соответствующую левой части  $dP/dT =$

1)  $\frac{\Delta H}{T}$ ;    2)  $\frac{\Delta H}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$ ;    3)  $\frac{\Delta H}{RT}$ ;    4)  $\frac{\Delta H}{RT^2}$ ;    5)  $\frac{\Delta H}{R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$ ;    6)  $\frac{\Delta H}{T\Delta V}$ .

А5. Диаграмма состояния серы.



В соответствии с фазовой диаграммой серы при повышении давления температура плавления ромбической серы

- 1) увеличивается;
- 2) уменьшается;
- 3) не изменяется;
- 4) изменяется различным образом в зависимости от давления.

К каждому заданию В даны ответы, из которых могут быть верными несколько вариантов. Выберите верные, по Вашему мнению, ответы.

В1. Находящаяся в состоянии равновесия система  $\text{NH}_4\text{HCO}_3(\text{к}) = \text{NH}_3(\text{г}) + \text{CO}_2(\text{г}) + \text{H}_2\text{O}(\text{ж})$

- 1) гомогенная;
- 2) гетерогенная;
- 3) однофазная;
- 4) двухфазная;
- 5) трехфазная;
- 6) четырехфазная.

В2. Находящаяся в состоянии равновесия система  $2\text{SO}_2(\text{г}) + \text{O}_2(\text{г}) = 2\text{SO}_3(\text{г})$

- 1) гомогенная;
- 2) гетерогенная;
- 3) однофазная;
- 4) двухфазная;
- 5) трехфазная;
- 6) четырехфазная.

В3. Находящаяся в состоянии равновесия система  $\text{PCl}_5(\text{ж}) = \text{PCl}_3(\text{г}) + \text{Cl}_2(\text{г})$

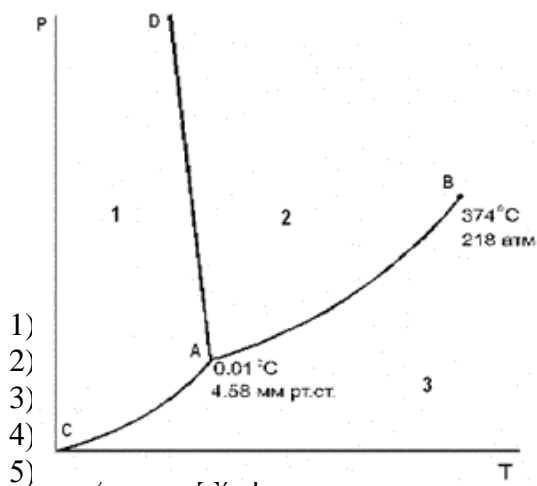
- 1) гомогенная;
- 2) гетерогенная;
- 3) однофазная;
- 4) двухфазная;
- 5) трехфазная;
- 6) четырехфазная.

### Задания С

С1. Гомогенная часть гетерогенной системы, обладающая определенным набором физических и химических свойств и отделенная от других фаз поверхностью раздела называется..... (вставьте пропущенное слово).

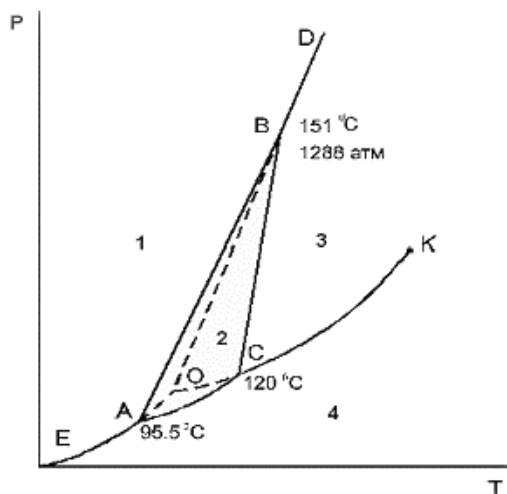
С2. Число параметров равновесной термодинамической системы (например, температура, давление, концентрация для многокомпонентной системы), которые можно произвольно менять без изменения числа и вида фаз, называется ..... (вставьте пропущенное слово).

С3. Диаграмма состояния воды при невысоких давлениях. Найдите соответствие между обозначением областей и точек диаграммы и равновесным состоянием системы (ответ представьте в виде последовательности букв, например, АВВ).



- 1)
- 2)
- 3)
- 4)
- 5)

С4. Диаграмма состояния серы. Найдите соответствие между обозначением кривых и равновесным состоянием системы (ответ представьте в виде последовательности букв, например, АВБ).



- 1) АЕ; А) равновесие жидкости и пара;
- 2) ВД; Б) равновесие ромбической твердой серы и моноклинной;
- 3) СК; В) равновесие моноклинной твердой серы и жидкости;
- 4) АВ; Г) равновесие моноклинной твердой серы и пара;
- 5) ВС; Д) равновесие ромбической твердой серы и пара;
- 6) АС; Е) равновесие ромбической твердой серы и жидкости.

С5. Сколько тройных точек на диаграмме состояния серы (ответ напишите числом и обозначьте равновесные фазы). Что такое метастабильное состояние (дайте определение).

### Вариант № 2

К каждому заданию А даны несколько ответов, из которых только один верный. Выберите верный, по Вашему мнению, ответ.

А1. Число степеней свободы (вариантность состояния) системы, состоящей из К компонентов и Ф фаз, на которую из внешних условий влияют только температура (давление постоянно)

- 1)  $K + \Phi + 1$ ; 4)  $\Phi - K + 1$ ; 2)  $K - \Phi - 1$ ; 5)  $K - \Phi + 1$ ; 3)  $K + \Phi - 1$ ; 6)  $\Phi - K - 1$ .

А2. Число фаз в равновесной системе  $\text{NH}_4\text{HCO}_3(\text{к}) = \text{NH}_3(\text{г}) + \text{CO}_2(\text{г}) + \text{H}_2\text{O}(\text{ж})$ :

- 1) 1; 2) 2; 3) 3; 4) 4.

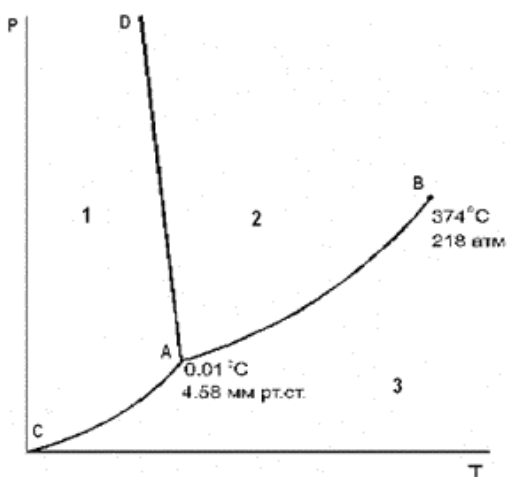
А3. Наибольшее число различных фаз, которые могут сосуществовать в равновесии в двухкомпонентной гетерогенной системе, на которую из внешних условий влияют только температура и давление

- 1) 1; 2) 2; 3) 3; 4) 4.

А4. Выберите правую часть уравнения температурной зависимости давления насыщенного пара, соответствующую левой части  $\ln(P_2/P_1) =$

- 1)  $\frac{\Delta H}{T}$ ; 2)  $\frac{\Delta H}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$ ; 3)  $\frac{\Delta H}{RT}$ ; 4)  $\frac{\Delta H}{RT^2}$ ; 5)  $\frac{\Delta H}{R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$ ; 6)  $\frac{\Delta H}{T\Delta V}$ .

А5. Диаграмма состояния воды при невысоких давлениях



В соответствии с фазовой диаграммой воды при повышении давления температура плавления льда

- 1) увеличивается;
- 2) уменьшается;
- 3) не изменяется;
- 4) изменяется различным образом в зависимости от давления.

К каждому заданию В даны ответы, из которых могут быть верными несколько вариантов. Выберите верные, по Вашему мнению, ответы.

В1. Находящаяся в состоянии равновесия система



- 1) гомогенная;      2) гетерогенная;      3) однофазная;      4) двухфазная;
- 5) трехфазная;      6) четырехфазная.

В2. Находящаяся в состоянии равновесия система  $\text{SO}_{2(\text{г})} + \text{NaOH}_{(\text{ж})} = \text{NaHSO}_{3(\text{ж})}$

- 1) гомогенная;      2) гетерогенная;      3) однофазная;      4) двухфазная;
- 5) трехфазная;      6) четырехфазная.

В3. Находящаяся в состоянии равновесия система  $\text{Cl}_{2(\text{г})} + \text{H}_{2(\text{г})} = 2\text{HCl}_{(\text{г})}$

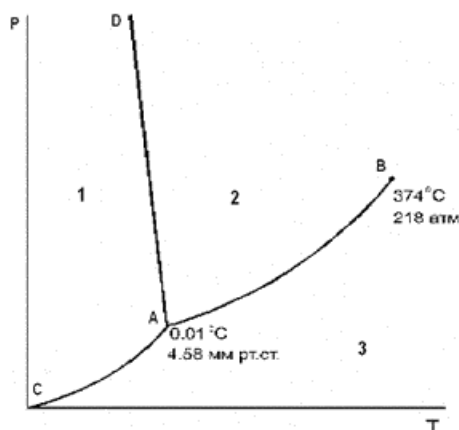
- 1) гомогенная;      2) гетерогенная;      3) однофазная;      4) двухфазная;
- 5) трехфазная;      6) четырехфазная.

### Задания С

С1. Часть термодинамической системы, которая может быть выделена из неё и существовать вне этой системы, называется..... (вставьте пропущенное слово).

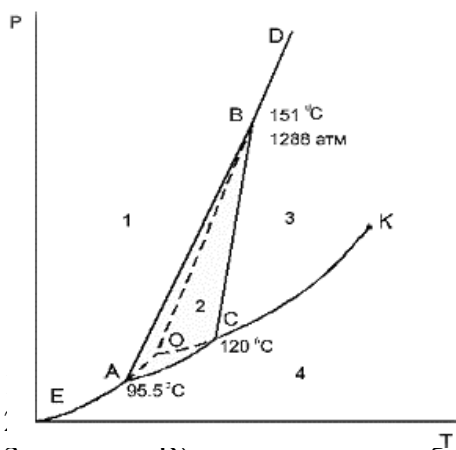
С2. Термодинамическая система, в которой число степеней свободы равно нулю, называется..... (вставьте пропущенное слово).

С3. Диаграмма состояния воды при невысоких давлениях. Найдите соответствие между обозначением кривых и точек диаграммы и равновесным состоянием системы (ответ представьте в виде последовательности букв, например, АВБ).



- 1) AD;      А) равновесие жидкость - пар;
- 2) AB;      Б) равновесие лед - жидкость;
- 3) AC;      В) равновесие лед - пар;
- 4) т. А;      Г) критическая точка;
- 5) т. В;      Д) тройная точка.

С4. Диаграмма состояния серы. Найдите соответствие между обозначением точек и но-мерами областей и равновесным состоянием системы (ответ представьте в виде последовательности букв, например, АВБ).



- 1)
- 2)
- 3) 3;                    В) сера твердая ромбическая;
- 4) 4;                    Г) сера твердая моноклинная;
- 5) т.В;                Д) критическая точка;
- 6) т.А;                Е) тройная точка.
- 7) т.С;
- 8) т.К.

С5. Напишите, что характеризует тройная точка на диаграмме состояния. Что означает моновариантность системы?

#### 4 семестр:

#### Тема 3 «Химическая кинетика и катализ»

#### Коллоквиум 1: «Формальная кинетика»

#### Вариант № 1

К каждому заданию А даны несколько ответов, из которых только один верный. Выберите верный, по Вашему мнению, ответ.

А1. Укажите определение скорости гомогенной реакции  $aA + bB \rightarrow cC$ .

- 1)  $w = kC_A C_B$ ;            2)  $w = \frac{dC_A}{d\tau}$ ;    3)  $w = -\frac{dC_A}{d\tau}$ ;            4)  $w = -\frac{1}{a} \frac{dC_A}{d\tau}$ ;
- 5)  $w = k \frac{dC_A}{d\tau} \frac{dC_B}{d\tau}$ .

А2. Укажите размерность скорости реакции, порядок которой равен  $n=1$ .

- 1)  $\frac{\text{л}}{\text{моль} \cdot \text{с}}$ ;    2)  $\frac{\text{моль}}{\text{л} \cdot \text{с}}$ ;    3)  $\frac{\text{моль}^{1/2}}{\text{л}^{1/2} \cdot \text{с}}$ ;    4)  $\frac{\text{моль}^2}{\text{л}^2 \cdot \text{с}}$ ;    5)  $\frac{1}{\text{с}}$ .

А3. Порядком реакции называется

- 1) количество различных видов частиц исходных веществ;
- 2) количество различных видов частиц исходных веществ и продуктов;
- 3) количество частиц исходных веществ, взаимодействующих в одном элементарном акте превращения;
- 4) количество частиц, взаимодействующих и образующихся в одном элементарном акте превращения;
- 5) показатель степени при концентрации в дифференциальной форме кинетического уравнения;
- 6) показатель степени при концентрации в интегральной форме кинетического уравнения.

А4. От чего зависит константа скорости реакции?

- 1) от природы веществ и температуры;
- 2) только от природы вещества;
- 3) только от температуры;
- 4) от температуры и времени;
- 5) от температуры и концентрации реагирующих веществ.

А5. В каких координатах следует спрямлять зависимость  $C_A(\tau)$ , чтобы убедиться, что реакция  $aA+bB \rightarrow cC$  имеет третий порядок, если исходные вещества взяты в стехиометрическом соотношении?

- 1)  $x=\tau, y=C_A$ ; 2)  $x=\tau, y=1/C_A$ ; 3)  $x=\tau, y=\ln C_A$ ; 4)  $x=\ln \tau, y=\ln C_A$ ; 5)  $x=\tau, y=1/C_A^2$ .

К каждому заданию В даны ответы, из которых могут быть верными несколько вариантов. Выберите верные, по Вашему мнению, ответы.

В1. Ниже приведены элементарные односторонние реакции, протекающие в одну стадию. Выберите мономолекулярные реакции.

- 1)  $A+B \rightarrow D$ ; 2)  $2A \rightarrow D$ ; 3)  $A \rightarrow B+D$ ; 4)  $A \rightarrow D$ ; 5)  $2A+B \rightarrow D$ ; 6)  $A+B \rightarrow D+E$ .

В2. Какие уравнения применимы для расчета константы скорости реакции второго порядка?

- 1)  $k = \frac{1}{\tau} \ln \frac{C_0}{C}$ ; 2)  $k = \frac{1}{\tau} (C_0 - C)$ ; 3)  $k = \frac{1}{\tau} \cdot \frac{1}{C_0^A - C_0^B} \ln \frac{(C_0^A - x)C_0^B}{(C_0^B - x)C_0^A}$ ;  
4)  $k = \frac{1}{2\tau} \left( \frac{1}{C^2} - \frac{1}{C_0^2} \right)$ ; 5)  $k = \frac{1}{\tau} \left( \frac{1}{C} - \frac{1}{C_0} \right)$ .

В3. В каких случаях молекулярность и порядок реакции не совпадают?

- 1) для простых реакций
- 2) для сложных реакций;
- 3) для гомогенных реакций;
- 4) для гетерогенных реакций;
- 5) для реакций, где реагирующие вещества взяты в стехиометрическом соотношении;
- 6) для реакций с избытком одного из реагирующих веществ.

### Задания С

С1. Найдите соответствие между порядком реакции и формулой для расчета времени полупревращения (*ответ представьте в виде последовательности букв, например, АБВГ*).

- 1)  $n=1$ ; 2)  $n=0$ ; 3)  $n=3$ ; 4)  $n=2$ .

А)  $\tau_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$ ; Б)  $\tau_{1/2} = \frac{1}{kc_0}$ ; В)  $\tau_{1/2} = \frac{c_0}{2k}$ ; Г)  $\tau_{1/2} = \frac{3}{2kc_0^2}$ .

С2. Найдите соответствие между порядком реакции и размерностью константы скорости (*ответ представьте в виде последовательности букв, например, АБВГД*).

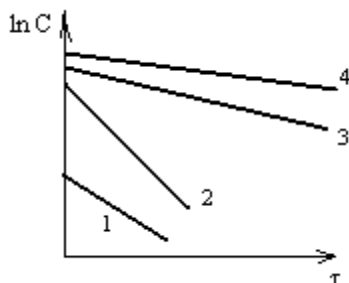
- 1)  $n=1$ ; А)  $\frac{\text{моль}}{\text{л} \cdot \text{с}}$ ;  
2)  $n=2$ ; Б)  $\frac{\text{л}^2}{\text{моль}^2 \cdot \text{с}}$ ;  
3)  $n=0$ ; В)  $\frac{\text{л}^{1/2}}{\text{моль}^{1/2} \cdot \text{с}}$ ;  
4)  $n=3$ ; Г)  $\frac{\text{л}}{\text{моль} \cdot \text{с}}$ ;  
5)  $n=1/2$ ; Д)  $\frac{1}{\text{с}}$ .

С3. Для химической реакции получены кинетические данные:

$\tau$ , мин	0	5	10	15	20	25
$C$ , моль/л	0,500	0,413	0,359	0,323	0,295	0,274

Определите порядок реакции методом подстановки (ответ напишите числом).

С4. Расположите односторонние реакции, характеризующиеся графиками зависимости логарифма концентрации от времени (линии 1 – 4) в порядке возрастания константы скорости. (Ответ напишите последовательностью чисел).



### Вариант № 2

К каждому заданию А даны несколько ответов, из которых только один верный. Выберите верный, по Вашему мнению, ответ.

А1. При каких условиях кинетику химической реакции  $A+2B \rightarrow C$  можно описать кинетическим уравнением типа  $w = kC_A^{n_A}C_B^{n_B}$  ?

- 1) при высоких температурах;
- 2) вдали от состояния равновесия;
- 3) всегда;
- 4) никогда;
- 5) вблизи состояния равновесия.

А2. Укажите размерность скорости реакции, порядок которой равен  $n=2$ .

- 1)  $\frac{\text{л}}{\text{моль} \cdot \text{с}}$ ;
- 2)  $\frac{\text{моль}}{\text{л} \cdot \text{с}}$ ;
- 3)  $\frac{\text{моль}^{1/2}}{\text{л}^{1/2} \cdot \text{с}}$ ;
- 4)  $\frac{\text{моль}^2}{\text{л}^2 \cdot \text{с}}$ ;
- 5)  $\frac{1}{\text{с}}$ .

А3. Молекулярностью реакции называется

- 1) количество различных видов частиц исходных веществ;
- 2) количество различных видов частиц исходных веществ и продуктов;
- 3) количество частиц исходных веществ, взаимодействующих в одном элементарном акте превращения;
- 4) количество частиц, взаимодействующих и образующихся в одном элементарном акте превращения;
- 5) показатель степени при концентрации в дифференциальной форме кинетического уравнения;
- 6) показатель степени при концентрации в интегральной форме кинетического уравнения.

А4. От чего не зависит константа скорости реакции?

- 1) от природы веществ и температуры;
- 2) только от природы вещества;
- 3) только от температуры;
- 4) от температуры и времени;
- 5) от времени и концентрации реагирующих веществ.

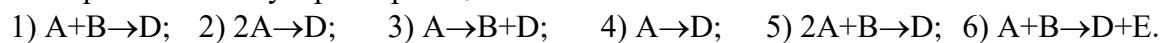
А5. В каких координатах следует спрямлять зависимость  $C_A(\tau)$ , чтобы убедиться, что реакция  $aA+bB \rightarrow cC$  имеет второй порядок, если исходные вещества взяты в стехиометрическом соотношении?

- 1)  $x=\tau, y=C_A$ ;
- 2)  $x=\tau, y=1/C_A$ ;
- 3)  $x=\tau, y=\ln C_A$ ;

4)  $x = \ln \tau$ ,  $y = \ln C_A$ ;    5)  $x = \tau$ ,  $y = 1/C_A^2$ .

К каждому заданию В даны ответы, из которых могут быть верными несколько вариантов. Выберите верные, по Вашему мнению, ответы.

В1. Ниже приведены элементарные односторонние реакции, протекающие в одну стадию. Выберите бимолекулярные реакции.



В2. Какие уравнения применимы для расчетов кинетики реакций первого порядка?

1)  $k = \frac{1}{\tau} \ln \frac{C_0}{C}$ ;    2)  $k = \frac{1}{\tau} (C_0 - C)$ ;    3)  $k\tau = \ln C_0 - \ln C$ ;    4)  $\ln C = \frac{\ln C_0}{k\tau}$ ;

5)  $k = \frac{1}{2\tau} \left( \frac{1}{C^2} - \frac{1}{C_0^2} \right)$ ;    6)  $k = \frac{1}{\tau} \left( \frac{1}{C} - \frac{1}{C_0} \right)$ .

В3. В каких случаях молекулярность и порядок реакции совпадают?

- 1) для простых реакций
- 2) для сложных реакций;
- 3) для гомогенных реакций;
- 4) для гетерогенных реакций;
- 5) для реакций, где реагирующие вещества взяты в стехиометрическом соотношении;
- 6) для реакций с избытком одного из реагирующих веществ.

### Задания С

С1. Найдите соответствие между порядком реакции и формулой для расчета времени полупревращения (ответ представьте в виде последовательности букв, например, АБВГ).

- 1)  $n=1$ ;    2)  $n=0$ ;    3)  $n=3$ ;    4)  $n=2$ .

А)  $\tau_{1/2} = \frac{c_0}{2k}$ ;    Б)  $\tau_{1/2} = \frac{1}{kc_0}$ ;    В)  $\tau_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$ ;    Г)  $\tau_{1/2} = \frac{3}{2kc_0^2}$ .

С2. Найдите соответствие между порядком реакции и размерностью константы скорости (ответ представьте в виде последовательности букв, например, АБВГД).

- |              |  |
|--------------|--|
| 1) $n=0$ ;   | А) $\frac{\text{моль}}{\text{л} \cdot \text{с}}$ ;             |
| 2) $n=2$ ;   | Б) $\frac{\text{л}^2}{\text{моль}^2 \cdot \text{с}}$ ;         |
| 3) $n=1$ ;   | В) $\frac{\text{л}^{1/2}}{\text{моль}^{1/2} \cdot \text{с}}$ ; |
| 4) $n=1/2$ ; | Г) $\frac{\text{л}}{\text{моль} \cdot \text{с}}$ ;             |
| 5) $n=3$ ;   | Д) $\frac{1}{\text{с}}$ .                                      |

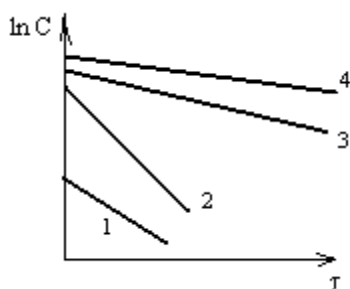
С3. Для химической реакции получены следующие кинетические данные:

$C_0$ , моль/л	0,5	0,7	0,9	1,2
$\tau_{1/2}$ , мин	50,00	25,52	15,43	8,68

Определите порядок реакции (ответ напишите числом).

С4. Расположите односторонние реакции, характеризующиеся графиками зависимости логарифма концентрации от времени (линии 1 – 4) в порядке убывания константы скорости. (Ответ напишите последовательностью чисел).





### Вариант № 3

К каждому заданию А даны несколько ответов, из которых только один верный. Выберите верный, по Вашему мнению, ответ.

А1. Укажите определение скорости гомогенной реакции  $aA + bB \rightarrow cC$ .

- 1)  $w = kC_A C_B$ ;      2)  $w = \frac{dC_A}{d\tau}$ ;      3)  $w = -\frac{dC_A}{d\tau}$ ;      4)  $w = -\frac{1}{a} \frac{dC_A}{d\tau}$ ;  
 5)  $w = k \frac{dC_A}{d\tau} \frac{dC_B}{d\tau}$ .

А2. Укажите размерность скорости реакции, порядок которой равен  $n=3$ .

- 1)  $\frac{\text{л}}{\text{моль} \cdot \text{с}}$ ;    2)  $\frac{\text{моль}}{\text{л} \cdot \text{с}}$ ;    3)  $\frac{\text{моль}^{1/2}}{\text{л}^{1/2} \cdot \text{с}}$ ;    4)  $\frac{\text{моль}^2}{\text{л}^2 \cdot \text{с}}$ ;    5)  $\frac{1}{\text{с}}$ .

А3. Порядком реакции называется

- 1) количество различных видов частиц исходных веществ;
- 2) количество различных видов частиц исходных веществ и продуктов;
- 3) количество частиц исходных веществ, взаимодействующих в одном элементарном акте превращения;
- 4) количество частиц, взаимодействующих и образующихся в одном элементарном акте превращения;
- 5) показатель степени при концентрации в дифференциальной форме кинетического уравнения;
- 6) показатель степени при концентрации в интегральной форме кинетического уравнения.

А4. От чего зависит константа скорости реакции?

- 1) от природы веществ и температуры;
- 2) только от природы вещества;
- 3) только от температуры;
- 4) от температуры и времени;
- 5) от температуры и концентрации реагирующих веществ.

А5. В каких координатах следует спрямлять зависимость  $C_A(\tau)$ , чтобы убедиться, что реакция  $aA + bB \rightarrow cC$  имеет третий порядок, если исходные вещества взяты в стехиометрическом соотношении?

- 1)  $x=\tau, y=C_A$ ;      2)  $x=\tau, y=1/C_A$ ;      3)  $x=\tau, y=\ln C_A$ ;  
 4)  $x=\ln \tau, y=\ln C_A$ ;    5)  $x=\tau, y=1/C_A^2$ .

К каждому заданию В даны ответы, из которых могут быть верными несколько вариантов. Выберите верные, по Вашему мнению, ответы.

В1. Ниже приведены элементарные односторонние реакции, протекающие в одну стадию. Выберите мономолекулярные реакции.

- 1)  $A+B \rightarrow D$ ;    2)  $2A \rightarrow D$ ;    3)  $A \rightarrow B+D$ ;    4)  $A \rightarrow D$ ;    5)  $2A+B \rightarrow D$ ;    6)  $A+B \rightarrow D+E$ .

В2. Какие уравнения применимы для расчета константы скорости реакции второго порядка?

- 1)  $k = \frac{1}{\tau} \ln \frac{C_0}{C}$ ;      2)  $k = \frac{1}{\tau} (C_0 - C)$ ;    3)  $k = \frac{1}{\tau} \cdot \frac{1}{C_0^A - C_0^B} \ln \frac{(C_0^A - x)C_0^B}{(C_0^B - x)C_0^A}$ ;

$$4) k = \frac{1}{2\tau} \left( \frac{1}{C^2} - \frac{1}{C_0^2} \right); \quad 5) k = \frac{1}{\tau} \left( \frac{1}{C} - \frac{1}{C_0} \right).$$

В3. В каких случаях молекулярность и порядок реакции не совпадают?

- 1) для простых реакций
- 2) для сложных реакций;
- 3) для гомогенных реакций;
- 4) для гетерогенных реакций;
- 5) для реакций, где реагирующие вещества взяты в стехиометрическом соотношении;
- 6) для реакций с избытком одного из реагирующих веществ.

### Задания С

С1. Найдите соответствие между порядком реакции и формулой для расчета времени полупревращения (*ответ представьте в виде последовательности букв, например, АВВГ*).

- 1)  $n=1$ ;      2)  $n=0$ ;      3)  $n=3$ ;      4)  $n=2$ .

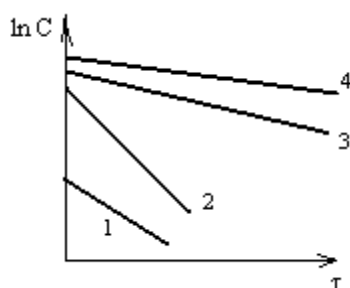
А)  $\tau_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$ ;      Б)  $\tau_{1/2} = \frac{1}{kc_0}$ ;      В)  $\tau_{1/2} = \frac{c_0}{2k}$ ;      Г)  $\tau_{1/2} = \frac{3}{2kc_0^2}$ .

С2. Найдите соответствие между порядком реакции и размерностью константы скорости (*ответ представьте в виде последовательности букв, например, АБВГД*).

- |              |  |
|--------------|--|
| 1) $n=1$ ;   | А) $\frac{\text{моль}}{\text{л} \cdot \text{с}}$ ;             |
| 2) $n=2$ ;   | Б) $\frac{\text{л}^2}{\text{моль}^2 \cdot \text{с}}$ ;         |
| 3) $n=0$ ;   | В) $\frac{\text{л}^{1/2}}{\text{моль}^{1/2} \cdot \text{с}}$ ; |
| 4) $n=3$ ;   | Г) $\frac{\text{л}}{\text{моль} \cdot \text{с}}$ ;             |
| 5) $n=3/2$ ; | Д) $\frac{1}{\text{с}}$ .                                      |

С3. В реакции 2 порядка  $A+B \rightarrow D$  начальные концентрации веществ А и В равны, соответственно 3,0 моль/л и 4,5 моль/л. Скорость реакции равна 0,0015 моль/л·с при концентрации вещества А 2,5 моль/л. Рассчитайте константу скорости и скорость реакции при концентрации вещества В 2,8 моль/л. (ответ напишите числом).

С4. Расположите односторонние реакции, характеризующиеся графиками зависимости логарифма концентрации от времени (линии 1 – 4) в порядке возрастания константы скорости. (Ответ напишите последовательностью чисел).



**Коллоквиум 2:**  
**«Сложные реакции. Уравнение Аррениуса».**  
**Вариант №1**

К каждому заданию А даны несколько ответов, из которых только один верный. Выберите верный, по Вашему мнению, ответ.

А1. Уравнение Аррениуса имеет вид  $k = k_0 e^{-\frac{E}{RT}}$ . Чем является величина Е?

- 1) предэкспоненциальный множитель;
- 2) экспонента;
- 3) универсальная газовая постоянная;
- 4) энергия активации;
- 5) температура;
- 6) константа скорости реакции.

А2. Дифференциальное кинетическое уравнение для скорости изменения концентрации промежуточного продукта Р в двухстадийной реакции первого порядка  $A \xrightarrow{k_1} P \xrightarrow{k_2} B$  (С-концентрация, τ-время)

- 1)  $\frac{dC_P}{d\tau} = k_1 C_A - k_2 C_B$
- 2)  $\frac{dC_P}{d\tau} = k_1 C_A + k_2 C_B$
- 3)  $\frac{dC_P}{d\tau} = (k_1 + k_2) C_A C_B$
- 4)  $\frac{dC_P}{d\tau} = -k_1 C_A + k_2 C_P$
- 5)  $\frac{dC_P}{d\tau} = k_1 C_A - k_2 C_P$
- 6)  $\frac{dC_P}{d\tau} = k_1 C_P - k_2 C_B$

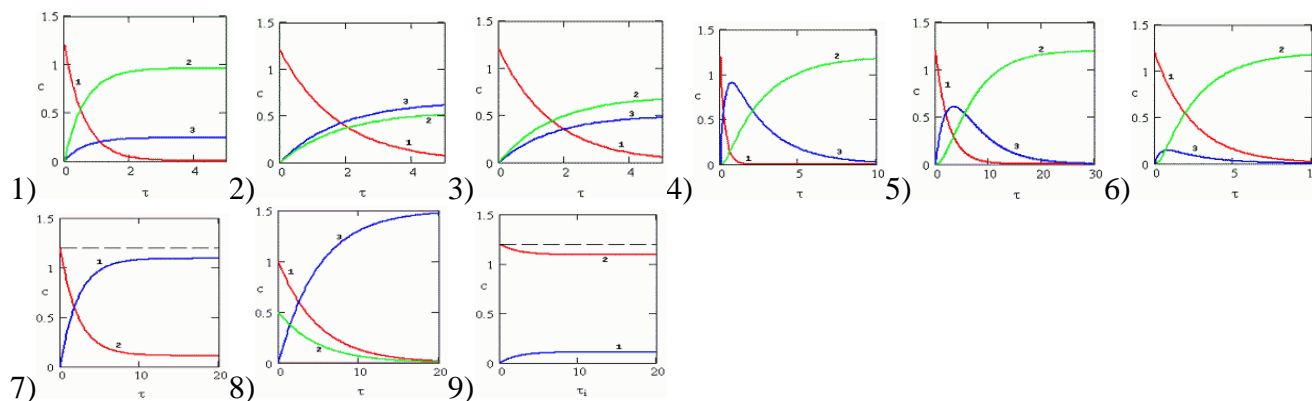
А3. Параллельными называются

- 1) реакции, которые могут одновременно протекать в прямом и обратном направлении;
- 2) реакции, в ходе которых образуется несколько продуктов;
- 3) реакции, протекающие через ряд промежуточных стадий;
- 4) реакции, в которых одна реакция не идет без другой.

А4. Для обратимых реакций первого порядка сумму констант скоростей можно рассчитать по формуле  $k_1 + k_2 = \frac{1}{\tau} \ln \frac{x_p}{x_p - x}$ . Через x обозначается:

- 1) константа скорости прямой реакции;
- 2) константа скорости обратной реакции;
- 3) равновесная концентрация продукта;
- 4) концентрация продукта в момент времени τ;
- 5) время протекания реакции;
- 6) концентрация исходного вещества в момент времени τ;
- 7) равновесная концентрация исходного вещества.

А5. Укажите номер графика, который характеризует кинетические кривые обратимой реакции первого порядка « $A \rightleftharpoons B$ » с константой равновесия меньше единицы.



К каждому заданию В даны ответы, из которых могут быть верными несколько вариантов. Выберите верные, по Вашему мнению, ответы.

В1. В каких случаях соблюдается правило Вант-Гоффа?

- 1) энергия активации примерно равна нулю;
- 2) энергия активации больше нуля;
- 3) температура процесса стремиться к бесконечности;
- 4) температура процесса лежит в средних пределах;
- 5) температура процесса стремиться к абсолютному нулю.

В2. Укажите все дифференциальные уравнения скоростей двух параллельных реакций первого порядка  $A \rightarrow B$  (с константой скорости  $k_1$ ) и  $A \rightarrow C$  (с константой скорости  $k_2$ ) ( $C$  - концентрация,  $\tau$  - время)

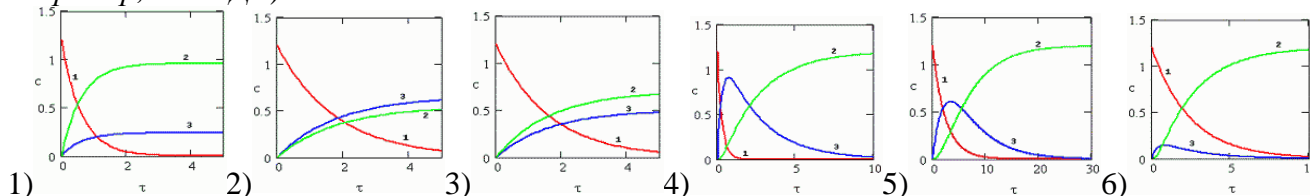
- 1)  $\frac{dC_A}{d\tau} = k_1 C_A$ ;      2)  $\frac{dC_B}{d\tau} = k_1 C_A$ ;      3)  $\frac{dC_C}{d\tau} = k_2 C_A$ ;      4)  $\frac{dC_C}{d\tau} = k_2 C_C$ ;
- 5)  $\frac{dC_C}{d\tau} = k_1 C_A$ ;      6)  $\frac{dC_B}{d\tau} = k_1 C_B$ ;      7)  $\frac{dC_B}{d\tau} = k_2 C_B$ ;      8)  $\frac{dC_A}{d\tau} = -(k_1 + k_2) C_A$ .

### Задания С

С1. Найдите соответствие между номером химической реакции и скоростью ее протекания (ответ представьте в виде последовательности букв, например, АВБ).

- |   |                                  |
|---|----------------------------------|
| 1) $A+B \rightarrow \text{продукты}$ ; $E_{\text{акт}} = 76$ кДж/моль;  | А) очень быстрая реакция;        |
| 2) $A+B \rightarrow \text{продукты}$ ; $E_{\text{акт}} = 13$ кДж/моль;  | Б) очень медленная реакция;      |
| 3) $A+B \rightarrow \text{продукты}$ ; $E_{\text{акт}} = 144$ кДж/моль. | В) реакция со средней скоростью. |

С2. Найдите соответствие между номером графика и кинетическими кривыми, удовлетворяющими указанным условиям (ответ представьте в виде последовательности букв, например, БВЕАДГ).



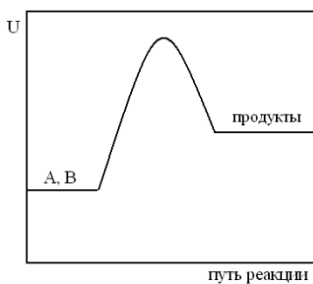
- 1) А) Параллельные реакции первого порядка  $A \xrightarrow{k_1} B$  и  $A \xrightarrow{k_2} C$ , причем  $k_1 > k_2$ ;
- 2) Б) Последовательные реакции первого порядка  $A \xrightarrow{k_1} P \xrightarrow{k_2} B$ , причем  $k_1 < k_2$ ;
- 3) В) Параллельные реакции первого порядка  $A \xrightarrow{k_1} B$  и  $A \xrightarrow{k_2} C$ , причем  $k_1 < k_2$ ;
- 4) Г) Последовательные реакции первого порядка  $A \xrightarrow{k_1} P \xrightarrow{k_2} B$ , причем  $k_1 > k_2$ ;
- 5) Д) Последовательные реакции первого порядка  $A \xrightarrow{k_1} P \xrightarrow{k_2} B$ , причем  $k_1 > k_2$ ;
- 6) Е) Параллельные реакции первого порядка  $A \xrightarrow{k_1} B$  и  $A \xrightarrow{k_2} C$ , причем  $k_1 > k_2$ .

С3. Рассчитайте энергию активации реакции второго порядка, если константа скорости при температуре 918 К равна 0,0038 л/(мин·моль), а при температуре 953 К равна 0,0183 л/(мин·моль) (ответ представьте числом с точностью до сотых в кДж/моль).

### Вариант №2

К каждому заданию А даны несколько ответов, из которых только один верный. Выберите верный, по Вашему мнению, ответ.

А1. Реакция « $A+B \rightarrow \text{продукты}$ » имеет следующую энергетическую диаграмму. Выберите правильный вариант ответа относительно энергии активации прямой реакции.



- 1) энергия активации процесса образования продуктов меньше энергии активации процесса распада продуктов на исходные вещества;
- 2) энергия активации процесса образования продуктов больше энергии активации процесса распада продуктов на исходные вещества;
- 3) энергия активации процесса образования продуктов равна энергии активации процесса распада продуктов на исходные вещества.

A2. Дифференциальное кинетическое уравнение для скорости изменения концентрации продукта В в обратимой реакции первого порядка  $A \rightleftharpoons B$  с константами скорости прямой стадии  $k_1$  и обратной стадии  $k_2$  ( $C$ -концентрация,  $\tau$ -время)

$$\begin{aligned}
 1) \frac{dC_B}{d\tau} &= k_1 C_A + k_2 C_B; & 2) \frac{dC_B}{d\tau} &= -k_1 C_A - k_2 C_B; & 3) \frac{dC_B}{d\tau} &= (k_1 + k_2) C_A C_B; \\
 4) \frac{dC_B}{d\tau} &= -k_1 C_A + k_2 C_B; & 5) \frac{dC_B}{d\tau} &= k_1 C_A - k_2 C_B; & 6) \frac{dC_B}{d\tau} &= k_1 C_A - k_1 C_B.
 \end{aligned}$$

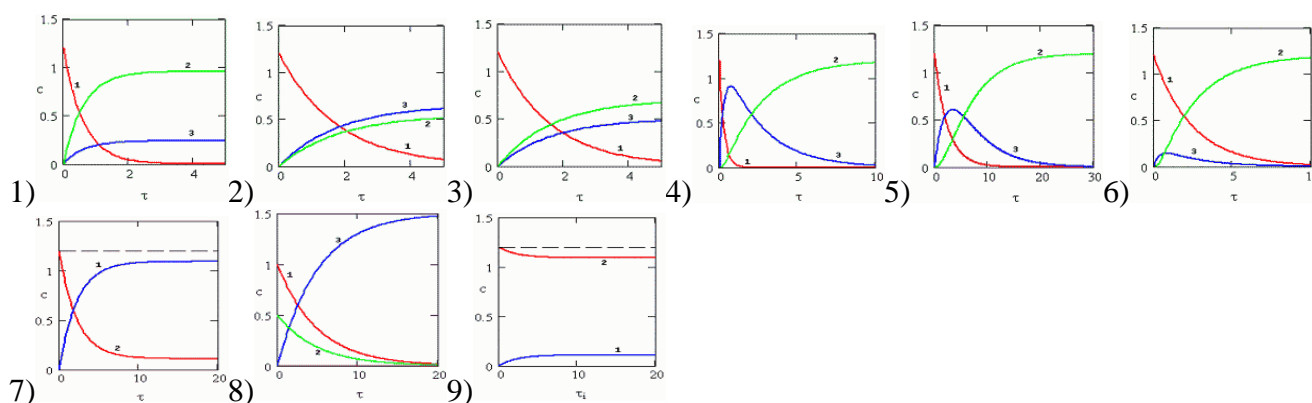
A3. Сложными называются

- 1) реакции, которые протекают через ряд элементарных стадий, причем скорости всех стадий одинаковы;
- 2) реакции, которые протекают через ряд элементарных стадий, причем скорости всех стадий различны;
- 3) реакции, протекающие в одну элементарную стадию.

A4. Для обратимых реакций первого порядка сумму констант скоростей можно рассчитать по формуле  $k_1 + k_2 = \frac{1}{\tau} \ln \frac{x_p}{x_p - x}$ . Через  $x_p$  обозначается:

- 1) равновесная концентрация продукта;
- 2) концентрация продукта в момент времени  $\tau$ ;
- 3) время протекания реакции;
- 4) концентрация исходного вещества в момент времени  $\tau$ ;
- 5) равновесная концентрация исходного вещества.

A5. Укажите номер графика, который характеризует кинетические кривые последовательной реакции первого порядка  $A \xrightarrow{k_1} P \xrightarrow{k_2} B$ , если константа  $k_1 \gg k_2$ .



К каждому заданию В даны ответы, из которых могут быть верными несколько вариантов. Выберите верные, по Вашему мнению, ответы.

B1. В каких случаях не соблюдается правило Вант-Гоффа?

- 1) энергия активации примерно равна нулю;
- 2) энергия активации больше нуля;
- 3) температура процесса стремиться к бесконечности;
- 4) температура процесса лежит в средних пределах;
- 5) температура процесса стремиться к абсолютному нулю.

В2. Укажите все виды уравнения Аррениуса:

- 1)  $k = k_0 e^{-\frac{E}{RT^2}}$ ;      2)  $k = k_0 e^{-\frac{E}{RT}}$ ;      3)  $\frac{d \ln k}{dT} = \frac{E}{RT^2}$ ;      4)  $\frac{d \ln k}{dT} = \frac{E}{RT}$ ;
- 5)  $\ln k = \ln k_0 - \frac{E}{RT^2}$ ;      6)  $\ln k = \ln k_0 - \frac{E}{RT}$ ;      7)  $\ln k = \ln k_0 + \frac{E}{RT^2}$ ;
- 8)  $\ln k = \ln k_0 + \frac{E}{RT}$ .

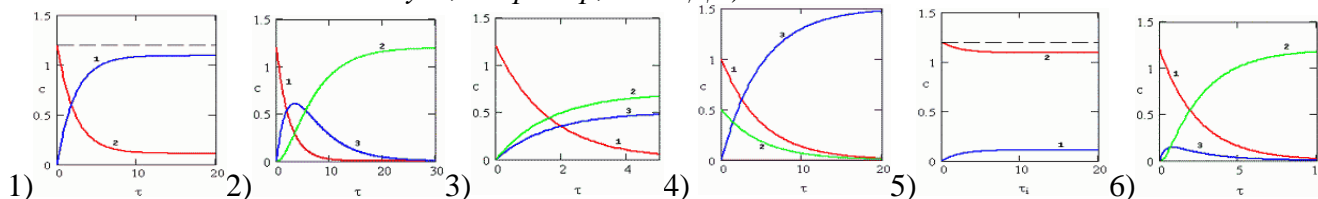
### Задания С

С1. Найдите соответствие между типом реакции и значением энергии активации (*ответ представьте в виде последовательности букв, например, АВБ*).

- 1) реакция, протекающая по радикальному механизму;  
 2) реакция, протекающая по ионному механизму;  
 3) реакция, протекающая по молекулярному механизму.

- А)  $E = 100$  и более кДж/моль;  
 Б)  $E \approx 0$  кДж/моль;  
 В)  $E = 50 \div 100$  кДж/моль.

С2. Найдите соответствие между типом реакции и кинетическими кривыми (*ответ представьте в виде последовательности букв, например, БВЕАДГ*).



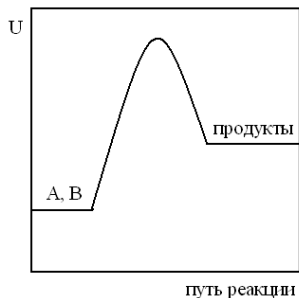
- А) Параллельные реакции первого порядка  $A \xrightarrow{k_1} B$  и  $A \xrightarrow{k_2} C$ , причем  $k_1 < k_2$ ;  
 Б) Обратимые реакции  $A \rightleftharpoons B$ , причем отношение констант скоростей прямой и обратной реакции меньше единицы;  
 В) Параллельные реакции первого порядка  $A \xrightarrow{k_1} B$  и  $C \xrightarrow{k_2} B$ , причем  $k_1 > k_2$ ;  
 Г) Последовательные реакции первого порядка  $A \xrightarrow{k_1} P \xrightarrow{k_2} B$ , причем  $k_1 > k_2$ ;  
 Д) Последовательные реакции первого порядка  $A \xrightarrow{k_1} P \xrightarrow{k_2} B$ , причем  $k_1 \ll k_2$ ;  
 Е) Обратимые реакции  $A \rightleftharpoons B$ , причем отношение констант скоростей прямой и обратной реакции больше единицы.

С3. Рассчитайте, во сколько раз уменьшится скорость реакции, если при понижении температуры на 23 градуса константа скорости уменьшается в 3,5 раза (*ответ представьте числом с точностью до сотых*).

### Вариант №3

К каждому заданию А даны несколько ответов, из которых только один верный. Выберите верный, по Вашему мнению, ответ.

А1. Реакция « $A+B \rightarrow \text{продукты}$ » имеет следующую энергетическую диаграмму. Выберите правильный вариант ответа относительно изменения внутренней энергии процесса.



- 1) внутренняя энергия процесса образования продуктов меньше внутренней энергии процесса распада продуктов на исходные вещества;
- 2) внутренняя энергия процесса образования продуктов равна внутренней энергии процесса распада продуктов на исходные вещества;
- 3) внутренняя энергия процесса образования продуктов больше внутренней энергии процесса распада продуктов на исходные вещества.

А2. Дифференциальное кинетическое уравнение для скорости изменения концентрации исходного вещества А в параллельной реакции первого порядка  $A \xrightarrow{k_1} B$  и  $A \xrightarrow{k_2} C$  (С-концентрация,  $\tau$ -время)

- 1)  $\frac{dC_A}{d\tau} = k_1 C_B + k_2 C_C$ ;
- 2)  $-\frac{dC_A}{d\tau} = k_1 C_A + k_2 C_A$ ;
- 3)  $\frac{dC_A}{d\tau} = k_1 C_B - k_2 C_C$ ;
- 4)  $\frac{dC_A}{d\tau} = -k_1 C_B + k_2 C_C$ ;
- 5)  $-\frac{dC_A}{d\tau} = -k_1 C_A + k_2 C_A$ ;
- 6)  $-\frac{dC_A}{d\tau} = k_1 C_A - k_2 C_A$ .

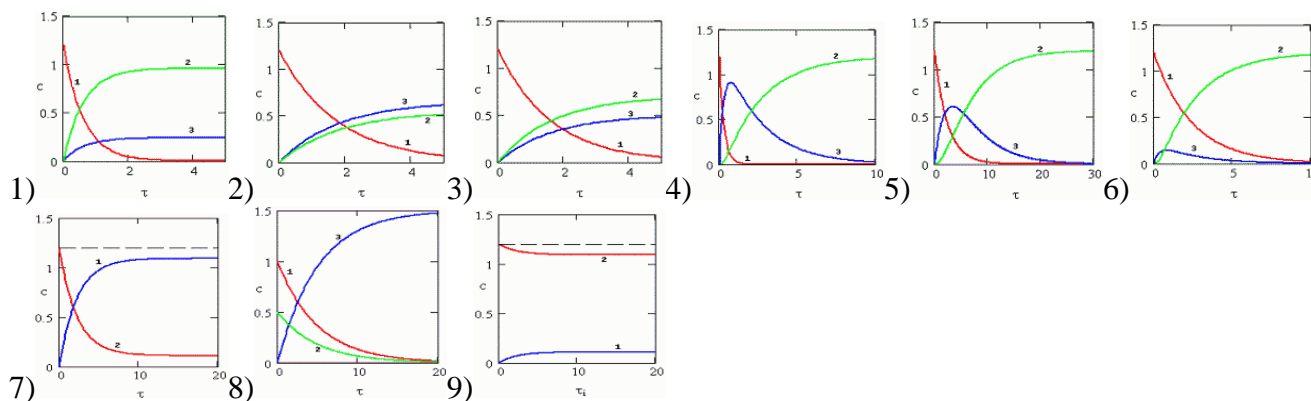
А3. Правило Вант-Гоффа применимо

- 1) для сложных гетерогенных реакций;
- 2) для простых гетерогенных реакций;
- 3) для простых гомогенных реакций;
- 4) для сложных гомогенных реакций;
- 5) для любых реакций в любой фазе.

А4. Для параллельных реакций первого порядка сумму констант скоростей можно рассчитать по формуле  $k_1 + k_2 = \frac{1}{\tau} \ln \frac{a}{a-x}$ . Через  $a$  обозначается:

- 1) концентрация первого продукта в момент времени  $\tau$ ;
- 2) концентрация продукта в момент времени  $\tau$ ;
- 3) начальная концентрация исходного вещества;
- 4) концентрация исходного вещества в момент времени  $\tau$ ;
- 5) концентрация второго продукта в момент времени  $\tau$ .

А5. Укажите номер графика, который характеризует кинетические кривые обратимой реакции первого порядка « $A \rightleftharpoons B$ » с константой равновесия больше единицы.



К каждому заданию В даны ответы, из которых могут быть верными несколько вариантов. Выберите верные, по Вашему мнению, ответы.

В1. Перечислите величины, входящие в уравнение Аррениуса

- 1) температура;

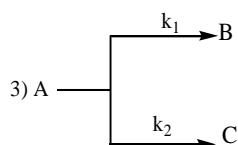
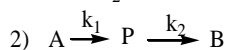
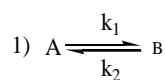
- 2) энергия активации;
- 3) скорость реакции;
- 4) внутренняя энергия процесса;
- 5) константа скорости реакции.

B2. Укажите все возможные варианты правила Вант-Гоффа

$$\begin{aligned}
 1) \gamma &= \sqrt[10]{\frac{k_{T_2}}{k_{T_1}}}; & 2) \frac{k_{T+10}}{k_T} &= \gamma; & 3) \frac{k_{T_2}}{k_{T_1}} &= \gamma; & 4) \gamma &= \sqrt{\frac{k_{T_2}}{k_{T_1}}}; \\
 5) \frac{k_{T_2}}{k_{T_1}} &= \gamma^{\frac{T_1-T_2}{10}}; & 6) \frac{k_{T_2}}{k_{T_1}} &= \gamma^{\frac{T_2-T_1}{10}}; & 7) \gamma &= \sqrt[10]{\frac{k_{T_2}}{k_{T_1}}}; & 8) \frac{k_{T-10}}{k_T} &= \gamma.
 \end{aligned}$$

### Задания С

C1. Найдите соответствие между типом реакции первого порядка и уравнением изменения концентрации исходного вещества А (ответ представьте в виде последовательности букв, например, АББ).

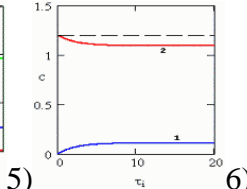
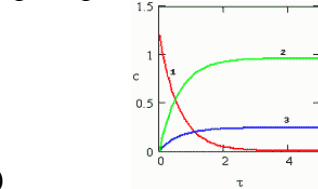
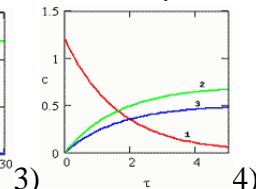
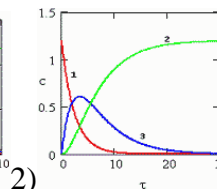
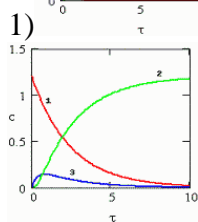
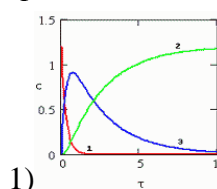


А)  $-\frac{dC_A}{d\tau} = k_1 C_A + k_2 C_A$ ;

Б)  $-\frac{dC_A}{d\tau} = k_1 C_A$ ;

В)  $-\frac{dC_A}{d\tau} = k_1 C_A - k_2 C_B$ .

C2. Найдите соответствие между типом реакции и кинетическими кривыми (ответ представьте в виде последовательности букв, например, БВЕАДГ).



- А) Параллельные реакции первого порядка  $A \xrightarrow{k_1} B$  и  $A \xrightarrow{k_2} C$ , причем  $k_1 < k_2$ ;
- Б) Обратимые реакции  $A \rightleftharpoons B$ , причем отношение констант скорости прямой и обратной реакции меньше единицы;
- В) Последовательные реакции первого порядка  $A \xrightarrow{k_1} P \xrightarrow{k_2} B$ , причем  $k_1 \gg k_2$ ;
- Г) Последовательные реакции первого порядка  $A \xrightarrow{k_1} P \xrightarrow{k_2} B$ , причем  $k_1 > k_2$ ;
- Д) Последовательные реакции первого порядка  $A \xrightarrow{k_1} P \xrightarrow{k_2} B$ , причем  $k_1 \ll k_2$ ;
- Е) Параллельные реакции первого порядка  $A \xrightarrow{k_1} B$  и  $A \xrightarrow{k_2} C$ , причем  $k_1 \gg k_2$ .

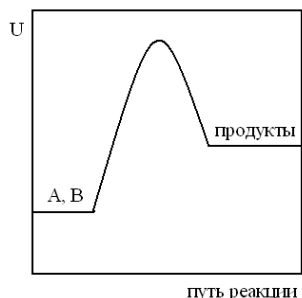
C3. Рассчитайте константу скорости второго порядка при температуре 285 К, если энергия активации процесса равна 98,9 кДж/моль, а константа скорости при температуре 298 К равна 1,04 л/(моль·мин) (ответ представьте число).



### Вариант №4

К каждому заданию А даны несколько ответов, из которых только один верный. Выберите верный, по Вашему мнению, ответ.

А1. Реакция « $A+B \rightarrow \text{продукты}$ » имеет следующую энергетическую диаграмму. Выберите правильный вариант ответа относительно изменения внутренней энергии процесса.



- 1) внутренняя энергия процесса образования продуктов меньше внутренней энергии процесса распада продуктов на исходные вещества;
- 2) внутренняя энергия процесса образования продуктов равна внутренней энергии процесса распада продуктов на исходные вещества;
- 3) внутренняя энергия процесса образования продуктов больше внутренней энергии процесса распада продуктов на исходные вещества.

А2. Дифференциальное кинетическое уравнение для скорости изменения концентрации промежуточного продукта Р в двухстадийной реакции первого порядка  $A \xrightarrow{k_1} P \xrightarrow{k_2} B$  (С-концентрация,  $\tau$ -время)

- 1)  $\frac{dC_P}{d\tau} = k_1 C_A - k_2 C_B$
- 2)  $\frac{dC_P}{d\tau} = k_1 C_A + k_2 C_B$
- 3)  $\frac{dC_P}{d\tau} = (k_1 + k_2) C_A C_B$
- 4)  $\frac{dC_P}{d\tau} = -k_1 C_A + k_2 C_P$
- 5)  $\frac{dC_P}{d\tau} = k_1 C_A - k_2 C_P$
- 6)  $\frac{dC_P}{d\tau} = k_1 C_P - k_2 C_B$

А3. Правило Вант-Гоффа применимо

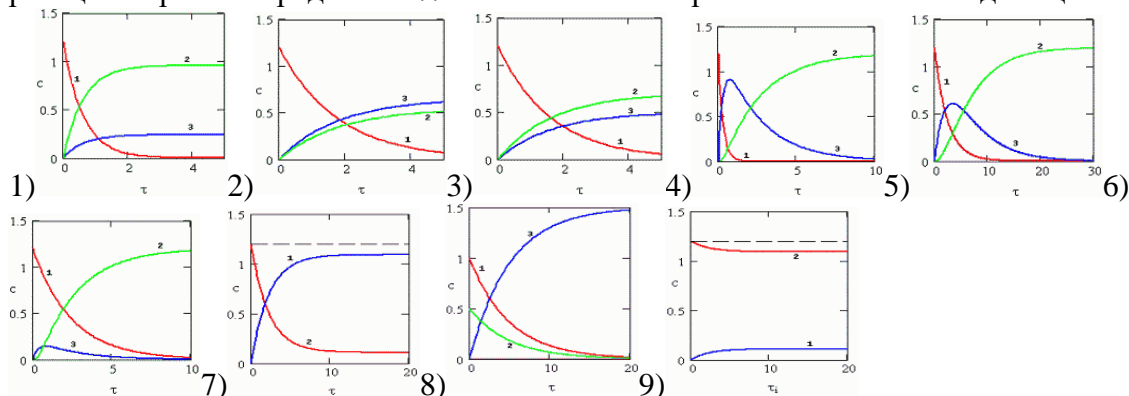
- 1) для сложных гетерогенных реакций;
- 2) для простых гетерогенных реакций;
- 3) для простых гомогенных реакций;
- 4) для сложных гомогенных реакций;
- 5) для любых реакций в любой фазе.

А4. Для обратимых реакций первого порядка сумму констант скоростей можно рассчитать

по формуле  $k_1 + k_2 = \frac{1}{\tau} \ln \frac{x_p}{x_p - x}$ . Через  $x_p$  обозначается:

- 1) равновесная концентрация продукта;
- 2) концентрация продукта в момент времени  $\tau$ ;
- 3) время протекания реакции;
- 4) концентрация исходного вещества в момент времени  $\tau$ ;
- 6) равновесная концентрация исходного вещества.

А5. Укажите номер графика, который характеризует кинетические кривые обратимой реакции первого порядка « $A \rightleftharpoons B$ » с константой равновесия меньше единицы.



К каждому заданию В даны ответы, из которых могут быть верными несколько вариантов. Выберите верные, по Вашему мнению, ответы.

В1. В каких случаях соблюдается правило Вант-Гоффа?

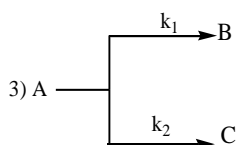
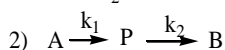
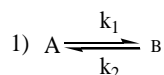
- 1) энергия активации примерно равна нулю;
- 2) энергия активации больше нуля;
- 3) температура процесса стремится к бесконечности;
- 4) температура процесса лежит в средних пределах;
- 4) температура процесса стремится к абсолютному нулю.

В2. Укажите все возможные варианты правила Вант-Гоффа

$$\begin{array}{llll}
 1) \gamma = \frac{T_2 - T_1}{10} \sqrt{\frac{k_{T_2}}{k_{T_1}}} ; & 2) \frac{k_{T+10}}{k_T} = \gamma ; & 3) \frac{k_{T_2}}{k_{T_1}} = \gamma ; & 4) \gamma = \sqrt{\frac{k_{T_2}}{k_{T_1}}} ; \\
 5) \frac{k_{T_2}}{k_{T_1}} = \gamma^{\frac{T_1 - T_2}{10}} ; & 6) \frac{k_{T_2}}{k_{T_1}} = \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}} ; & 7) \gamma = \frac{T_1 - T_2}{10} \sqrt{\frac{k_{T_2}}{k_{T_1}}} ; & 8) \frac{k_{T-10}}{k_T} = \gamma .
 \end{array}$$

### Задания С

С1. Найдите соответствие между типом реакции первого порядка и уравнением изменения концентрации исходного вещества А (*ответ представьте в виде последовательности букв, например, АВБ*).

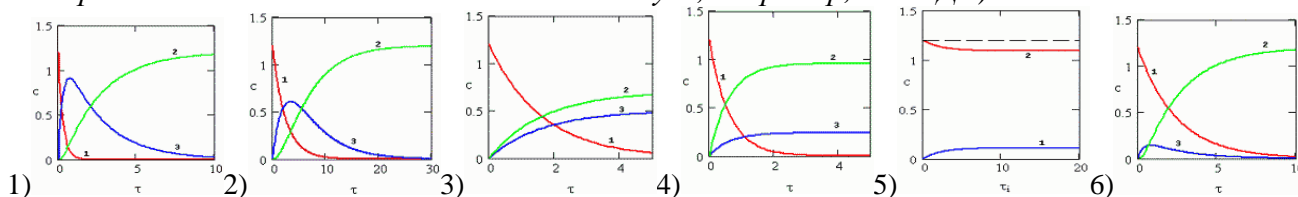


А)  $-\frac{dC_A}{d\tau} = k_1 C_A + k_2 C_A ;$

Б)  $-\frac{dC_A}{d\tau} = k_1 C_A ;$

В)  $-\frac{dC_A}{d\tau} = k_1 C_A - k_2 C_B$

С2. Найдите соответствие между типом реакции и кинетическими кривыми (ответ представьте в виде последовательности букв, например, БВЕАДГ).



- А) Параллельные реакции первого порядка  $A \xrightarrow{k_1} B$  и  $A \xrightarrow{k_2} C$ , причем  $k_1 < k_2$ ;  
 Б) Последовательные реакции первого порядка  $A \xrightarrow{k_1} P \xrightarrow{k_2} B$ , причем  $k_1 \gg k_2$ ;  
 В) Обратимые реакции  $A \rightleftharpoons B$ , причем отношение констант скоростей прямой и обратной реакции меньше единицы;  
 Г) Параллельные реакции первого порядка  $A \xrightarrow{k_1} B$  и  $A \xrightarrow{k_2} C$ , причем  $k_1 \gg k_2$ .  
 Д) Последовательные реакции первого порядка  $A \xrightarrow{k_1} P \xrightarrow{k_2} B$ , причем  $k_1 > k_2$ ;  
 Е) Последовательные реакции первого порядка  $A \xrightarrow{k_1} P \xrightarrow{k_2} B$ , причем  $k_1 \ll k_2$ ;

С3. Рассчитайте константу скорости второго порядка при температуре 335 К, если энергия активации процесса равна 98,9 кДж/моль, а константа скорости при температуре 273 К равна 0,67 л/(моль·мин) (ответ представьте число).

### Тема «Теория активированного комплекса. Теория активных столкновений» Коллоквиум 4

#### ВАРИАНТ №1

К каждому заданию А даны несколько ответов, из которых только один верный. Выберите верный, по Вашему мнению, ответ.

А1. Основное уравнение теории активных столкновений позволяет теоретически рассчитать

- 1) трансмиссионный коэффициент;
- 2) стерический фактор;
- 3) энтальпию активации;
- 4) константу скорости;
- 5) константу равновесия образования активированного комплекса.

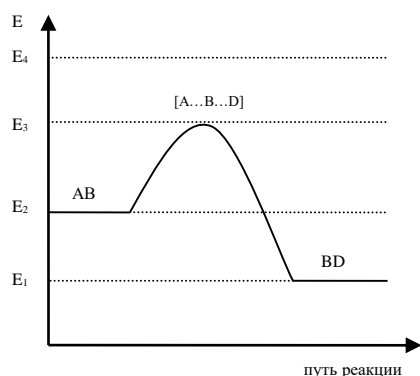
А2. В уравнении Больцмана  $Z_{акт} = Z \cdot e^{-\frac{E}{RT}}$ , долей активных столкновений является:

- 1)  $Z_{акт}$ ;
- 2)  $E$ ;
- 3) экспонента;
- 4)  $e^{-\frac{E}{RT}}$ .

А3. Уравнение Эйринга выражает зависимость:

- 1) энергии активации от скорости реакции;
- 2) кинетических параметров от термодинамических;
- 3) константы скорости от времени протекания реакции;
- 4) температуры реакции от энергии активации;
- 5) константы Больцмана от температуры.

А4. По энергетической диаграмме реакции  $AB + D \rightarrow A + BD$  определите энергию разрыва связи АВ:



- 1)  $E_2 - E_1$ ;
- 2)  $E_3 - E_2$ ;
- 3)  $E_2 + E_1$ ;
- 4)  $E_4 - E_2$ .

**A5.** Теория Линдемана объясняет

- 1) появление первого предела взрыва в цепных реакциях;
- 2) появление второго предела взрыва в цепных реакциях;
- 3) изменение механизма обрыва цепи при увеличении давления;
- 4) изменение порядка газофазных реакций при увеличении давления;
- 5) порядок фотохимических реакций;
- 6) зависимость скорости газофазной реакции от формы и размеров реактора;
- 7) зависимость скорости газофазной реакции от величины внутренней поверхности реактора.

**A6.** Выберите правильную схему Линдемана для мономолекулярной реакции:

1) 1 стадия: $A + A \rightarrow 2A$ 2 стадия: $A \rightarrow \text{продукты}$	2) 1 стадия: $A + A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} A + A^*$ 2 стадия: $A \xrightarrow{k_3} \text{продукты}$
3) 1 стадия: $A + B \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} A + B^*$ 2 стадия: $B^* \xrightarrow{k_3} \text{продукты}$	4) 1 стадия: $A + A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} A + A^*$ 2 стадия: $A^* \xrightarrow{k_3} \text{продукты}$

**К каждому заданию В даны ответы, из которых могут быть верными несколько вариантов.**

**Выберите верные, по Вашему мнению, ответы.**

**B1.** Укажите основные предпосылки теории активных столкновений:

- 1) молекулы представляются в виде шариков;
- 2) активированный комплекс распадается на продукты реакции;
- 3) для взаимодействия не необходимо столкновение;
- 4) процесс протекает, если энергия столкновения больше энергии активации;
- 5) процесс протекает, если энергия столкновения меньше энергии активации.

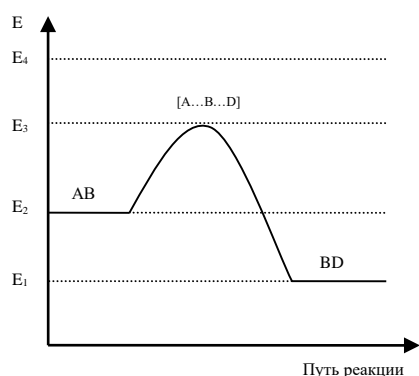
**B2.** В уравнение расчета общего числа столкновений молекул в единицу времени **Z** входят величины:

- 1) эффективный диаметр сталкивающихся молекул;
- 2) время столкновения;
- 3) молекулярная масса молекул;
- 4) число  $\pi$ ;
- 5) число активных столкновений;
- 6) энергия активации;
- 7) число молекул в единице объема.

### Задания С.

**C1.** Энтропия активации - это ..... (допишите определение).

**С2.** Определите соответствие между номером, которым обозначена энергия, и тем, что она собой представляет (ответ представьте в виде последовательности букв, например, АВБГ):



1)  $E_1$

А) энергия связи АВ без D;

2)  $E_2$

Б) энергия связи BD без А;

3)  $E_3$

В) энергия свободных атомов;

4)  $E_4$

Г) энергия активированного комплекса АК\*.

**С3.** Напишите, чему будет равен предэкспоненциальный множитель в уравнении Аррениуса в рамках теории активированного комплекса. Ответ представьте в виде формулы.

## ВАРИАНТ №2

К каждому заданию А даны несколько ответов, из которых только один верный. Выберите верный, по Вашему мнению, ответ.

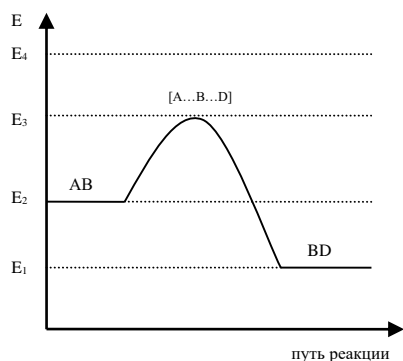
**А1.** Теория Линдемана объясняет

- 1) изменение порядка газозфазных реакций при увеличении давления;
- 2) порядок фотохимических реакций;
- 3) зависимость скорости газозфазной реакции от формы и размеров реактора;
- 4) зависимость скорости газозфазной реакции от величины внутренней поверхности реактора;
- 5) появление первого предела взрыва в цепных реакциях;
- 6) появление второго предела взрыва в цепных реакциях;
- 7) изменение механизма обрыва цепи при увеличении давления.

**А2.** Уравнение  $k = \chi \frac{k_B T}{h} K^*$  имеет название

- |   |                         |
|---|-------------------------|
| 1) основное уравнение теории активированного комплекса; |                         |
| 2) основное уравнение теории активных столкновений;     |                         |
| 3) уравнение Эйринга;                                   | 5) уравнение Аррениуса; |
| 4) уравнение Больцмана;                                 | 6) уравнение Линдемана. |

**А3.** По энергетической диаграмме реакции  $AB + D \rightarrow A + BD$  установите правильное утверждение:



- 1) активированный комплекс образуется без изменения энергии в ходе реакции;
- 2) активированный комплекс образуется без предварительного разрыва связей исходных компонентов реакции;
- 3) активированный комплекс образуется с обязательным условием предварительного разрыва связей исходных компонентов реакции;
- 4) энергия активированного комплекса отрицательна.

**A4.** Выберите правильную схему Линдемана:

1) 1 стадия: $A+A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} A + A^*$ ; 2 стадия: $A^* \xrightarrow{k_3} \text{продукты}$ .	2) 1 стадия: $A+A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} A + A^*$ ; 2 стадия: $A \xrightarrow{k_3} \text{продукты}$ .
3) 1 стадия: $A+B \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} A + B^*$ ; 2 стадия: $B^* \xrightarrow{k_3} \text{продукты}$ .	4) 1 стадия: $A+A \rightarrow 2A$ ; 2 стадия: $A \rightarrow \text{продукты}$ .

**A5.** Число активных столкновений бимолекулярной реакции по теории активных столкновений можно рассчитать по формуле:

$$\begin{aligned}
 1) Z_{\text{акт}} &= 2D^2 n^2 \sqrt{\frac{\pi RT}{M}} e^{-\frac{R}{ET}} & 2) Z_{\text{акт}} &= 2D^2 n^2 \sqrt{\frac{\pi RT}{M}} e^{-\frac{E}{RT}} & 3) Z_{\text{акт}} &= 2D^2 n^3 \sqrt{\frac{\pi RT}{M}} e^{-\frac{R}{ET}} \\
 4) Z_{\text{акт}} &= 2Dn \sqrt{\frac{\pi RT}{M}} e^{-\frac{R}{ET}} & 5) Z_{\text{акт}} &= 2D^3 n^2 \sqrt{\frac{\pi RT}{M}} e^{-\frac{E}{RT}} & 6) Z_{\text{акт}} &= 3D^2 n^2 \sqrt{\frac{\pi RT}{M}} e^{-\frac{5R}{ET}}
 \end{aligned}$$

**A6.** Трансмиссионный коэффициент в теории активированного комплекса представляет собой

- 1) долю активированных комплексов, перешедших в продукты реакции;
- 2) долю активированных комплексов, не перешедших в продукты реакции;
- 3) учет пространственного расположения молекул;
- 4) предел взрыва цепной реакции;
- 5) зависимость скорости реакции от температуры.

**К каждому заданию В даны ответы, из которых могут быть верными несколько вариантов. Выберите верные, по Вашему мнению, ответы.**

**B1.** Выделите основные предпосылки теории активированного комплекса:

- 1) в ходе процесса молекулы приближаются друг к другу;
- 2) процесс протекает, если энергия столкновения меньше энергии активации;
- 3) активированный комплекс превращается в продукты реакции;
- 4) молекулы представляют в виде шариков;
- 5) при образовании активированного комплекса межъядерные расстояния выравниваются;
- 6) межъядерные расстояния в активированном комплексе различны.

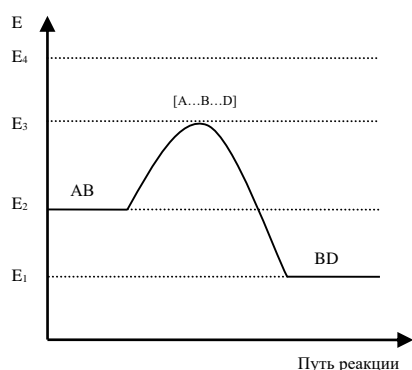
**B2.** В уравнение теории активных столкновений входят величины:

- 1) стерический фактор;
- 2) константа Больцмана;
- 3) константа скорости;
- 4) коэффициент  $\chi$ ;
- 5) число столкновений молекул в единицу времени;
- 6) энергия активации;
- 7) число Авогадро.

### Задания С.

**C1.** Энтальпия активации – это ... (напишите выражение физического смысла энтальпии активации).

**С2.** Определите соответствие между номером, которым обозначена энергия, и тем, что она собой представляет (ответ представьте в виде последовательности букв, например, АВБГ):



1)  $E_3 - E_2$

А) энергия разрыва связи АВ;

2)  $E_2 - E_1$

Б) энергия активации прямой реакции;

3)  $E_4 - E_2$

В) энергия разрыва связи ВD;

4)  $E_4 - E_1$

Г) энтальпия реакции.

**С3.** Напишите, чему будет равен предэкспоненциальный множитель в уравнении Аррениуса в рамках теории активных соударений. Ответ представьте в виде формулы.

### ВАРИАНТ №3

К каждому заданию А даны несколько ответов, из которых только один верный. Выберите верный, по Вашему мнению, ответ.

**А1.** Выберите правильную схему Линдемана:

1) 1 стадия: $A + A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} A + A^*$ ; 2 стадия: $A^* \xrightarrow{k_3} \text{продукты}$ .	2) 1 стадия: $A + B \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} A + B^*$ ; 2 стадия: $B^* \xrightarrow{k_3} \text{продукты}$ .
3) 1 стадия: $A + A \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} A + A^*$ ; 2 стадия: $A \xrightarrow{k_3} \text{продукты}$ .	4) 1 стадия: $A + A \rightarrow 2A$ ; 2 стадия: $A \rightarrow \text{продукты}$ .

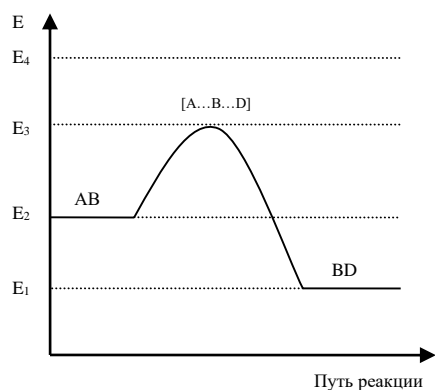
**А2.** Уравнение Эйринга выражает зависимость:

- 1) трансмиссионного коэффициента от температуры;
- 2) константы скорости от времени протекания реакции;
- 3) константы Больцмана от температуры
- 4) температуры реакции от энергии активации;
- 5) кинетических параметров реакции от термодинамических.

**А3.** Теория Линдемана применима

- 1) для любых газозфазных реакций;
- 2) для бимолекулярных газозфазных реакций;
- 3) для мономолекулярных газозфазных реакций;
- 4) для мономолекулярных реакций в растворах;
- 5) для бимолекулярных реакций в растворах.

**А4.** По энергетической диаграмме реакции  $AB + D \rightarrow A + BD$  установите, чему соответствует тепловой эффект реакции:



1)  $E_3 - E_2$

2)  $E_2 - E_1$

3)  $E_4 - E_2$

4)  $E_4 - E_1$

**A5.** Число столкновений в бимолекулярной реакции по теории активных столкновений можно рассчитать по формуле:

1)  $Z = 2D^2 n^2 \sqrt{\frac{\pi M}{RT}}$

2)  $Z = 2D^2 n^2 \sqrt{\frac{\pi RT}{M}}$

3)  $Z = 2D^2 n^3 \sqrt{\frac{\pi RT}{M}}$

4)  $Z = 2D^2 n^2 \sqrt{\frac{M}{\pi RT}}$

5)  $Z = 2D^2 n^2 \sqrt{\frac{\pi RT}{M}} e^{-\frac{E}{RT}}$

6)  $Z = 2D^2 n^2 \sqrt{\frac{\pi R}{MT}}$

**A6.** Трансмиссионный коэффициент в теории активированного комплекса представляет собой

- 1) учет пространственного расположения молекул;
- 2) нижний предел взрыва цепной реакции;
- 3) долю активированных комплексов, перешедших в продукты реакции;
- 4) долю активированных комплексов, не перешедших в продукты реакции;
- 5) верхний предел взрыва цепной реакции.

**К каждому заданию В даны ответы, из которых могут быть верными несколько вариантов. Выберите верные, по Вашему мнению, ответы.**

**В1.** Выделите основные предпосылки теории активированного комплекса:

- 1) в ходе процесса молекулы приближаются друг к другу;
- 2) процесс протекает, если энергия столкновения меньше энергии активации;
- 3) активированный комплекс превращается в продукты реакции;
- 4) молекулы представляют в виде шариков;
- 5) при образовании активированного комплекса межъядерные расстояния выравниваются;
- 6) межъядерные расстояния в активированном комплексе различны.

**В2.** Укажите формулы, которые используют при выводе основного уравнения теории активных столкновений

1) $Z = Z_{акм} \cdot e^{-\frac{E}{RT}}$ ;	2) $Z = 2D^2 n^2 \sqrt{\frac{\pi RT}{M}} e^{-\frac{E}{RT}}$ ;
3) $\tau = \delta \frac{(2\pi m^*)^{1/2}}{(k_B T)^{1/2}}$ ;	4) $Z_{акм} = Z \cdot e^{-\frac{E}{RT}}$ ;
5) $Z = 2D^2 n^2 \sqrt{\frac{\pi RT}{M}}$ ;	6) $\omega = \frac{C_{AK^*} \sqrt{k_B T}}{\delta \sqrt{2\pi m^*}}$ .



### Задания С.

**С1.** Напишите основное уравнение теории активированного комплекса.

**С2.** Определите соответствие между величиной, входящей в основное уравнение теории активированного комплекса, и причиной её изменения (ответ представьте в виде последовательности букв, например, АББГВ):

- |                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| 1) трансмиссионный коэффициент;       | А) влияние катализатора;                |
| 2) константа Больцмана;               | Б) влияние ингибитора;                  |
| 3) постоянная Планка;                 | В) влияние природы реагирующих веществ; |
| 4) энтальпия активации $\Delta H^*$ ; | Г) величина не изменяется.              |
| 5) энтропия активации $\Delta S^*$ .  |   |

**С3.** Напишите, чему будет равен предэкспоненциальный множитель в уравнении Аррениуса в рамках теории активных соударений. Ответ представьте в виде формулы.

### Тема «Кинетика реакций в растворах. Фотохимические и цепные реакции»

#### Коллоквиум 5

#### ВАРИАНТ №1

**К** каждому заданию **А** даны несколько ответов, из которых только один верный. Выберите верный, по вашему мнению, ответ.

**А1.** Уравнение Бренстеда – Бьеррума константы скорости в растворе для мономолекулярных реакций имеет вид:

- |  |  |   |    |
|--|--|---|----|
| 1) $k_p = k_\Gamma \cdot \frac{\gamma_A \gamma_B}{\gamma_{AB^*}}$ ;  | 2) $k^* = k \cdot \frac{\gamma_A \gamma_B}{\gamma_{AB^*}}$ ;         | 3) $k_p = k_\Gamma \cdot \frac{\gamma_A}{\gamma_{A^*}}$ ; | 4) |
| $k_p = k_\Gamma \cdot \frac{\gamma_{A^*}}{\gamma_A}$ ;               |  |   |    |
| 5) $k_p = -k_\Gamma \cdot \frac{\gamma_A \gamma_B}{\gamma_{AB^*}}$ ; | 6) $k_p = -k_\Gamma \cdot \frac{\gamma_{AB^*}}{\gamma_A \gamma_B}$ . |   |    |

**А2.** Для каких процессов квантовый выход равен 1?

- |                                     |                                      |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1) цепные радикальные процессы;     | 2) первичные (световые) реакции;     |
| 3) побочные фотохимические реакции; | 4) обратимые фотохимические реакции. |

**А3.** В модельном уравнении Семенова величина  $\phi$  является:

- |                               |                                |
|-------------------------------|--------------------------------|
| 1) фактором обрыва цепи;      | 2) фактором разветвления цепи; |
| 3) фактором зарождения цепи;  | 4) фактором автоускорения;     |
| 5) фактором продолжения цепи. |                                |

**А4.** Для разветвленной цепной реакции  $2H_2 + O_2 = 2H_2O$  укажите стадию разветвления цепи

- 1)  $H^\bullet + O_2 + M \xrightarrow{k_3} HO_2^\bullet + M$
- 2)  $HO^\bullet + H_2 \xrightarrow{k_3} H_2O + H^\bullet$
- 3)  $H^\bullet + O_2 \xrightarrow{k_1} HO^\bullet + O^\bullet$
- 4)  $H_2 + O_2 \xrightarrow{k_0} H^\bullet + HO_2^\bullet$
- 5)  $O_2 + H_2 \xrightarrow{k_2} HO^\bullet + H^\bullet$
- 6)  $H^\bullet + \text{стенка} \xrightarrow{k_4} \frac{1}{2} H_2$

**А5.** Нижний предел взрываемости в разветвленных цепных реакциях зависит от:

- |                  |                      |                         |
|------------------|----------------------|-------------------------|
| 1) формы сосуда; | 2) состава примесей; | 3) количества примесей; |
|------------------|----------------------|-------------------------|

4) природы веществ;

5) температуры.

**А6.** В разбавленных растворах зависимость коэффициента активности иона от ионной силы раствора описывается уравнением...

- 1) Бугера – Ламберта - Беера;      2) Гротгуса - Дрепера;      3) Вант - Гоффа;  
4) Дебая - Хюккеля;      5) Фика.

### Задания В

К каждому заданию В даны ответы, из которых могут быть верными несколько вариантов. Выберите верные, по вашему мнению, ответы.

**В1.** Скорость фотохимических реакций зависит от:

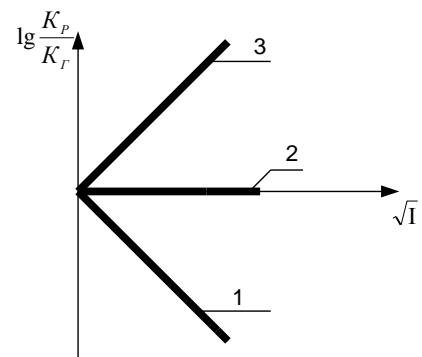
- 1) длины волны;      2) диэлектрической проницаемости среды;  
3) температуры;      4) давления;  
5) интенсивности падающего света.

**В2.** Найдите соответствие между графической зависимостью  $\lg \frac{K_p}{K_r}$  от  $\sqrt{I}$  и типом взаимодействующих зарядов ионов в растворе (ответ представьте в виде последовательности букв, например, АБВ):

- А)  $z_A = 0$  или  $z_B = 0$ ;  
Б)  $z_A$  и  $z_B$  - разноименные заряды;  
В)  $z_A$  и  $z_B$  - одноименные заряды.

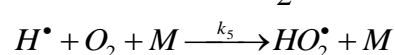
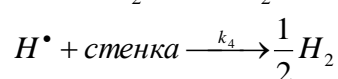
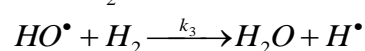
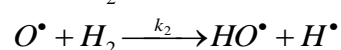
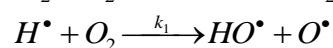
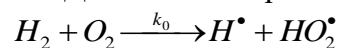
**В3.** Особенности цепных реакций:

- 1) реальная скорость процесса намного больше теоретической;  
2) на скорость не влияет наличие примесей в реакционной смеси;  
3) реальная скорость процесса намного меньше теоретической;  
4) на скорость процесса влияют форма и материал сосуда.



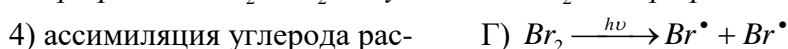
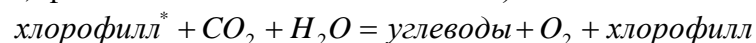
### Задания С

**С1.** Дан механизм разветвленной цепной реакции:



Написать выражение скорости для  $\frac{dC_{HO^\bullet}}{d\tau}$ .

**С2.** Найдите соответствие между типом фотохимической реакции и уравнением реакции (ответ представьте в виде последовательности букв, например, АБВГ):



тениями

**С3.** В цепной фотохимической реакции после поглощения 26 Дж энергии излучения с длиной волны 460 нм распалось 0,1 моль исходного вещества. Определите квантовый выход реакции. Энергия одного моля квантов света рассчитывается по уравнению

$E_{hv} = \frac{N_A hc}{\lambda}$ , где  $N_A$  – число Авогадро, моль<sup>-1</sup>;  $h$  – постоянная Планка, Дж·с;  $c$  – скорость света в вакууме, м·с<sup>-1</sup>;  $\lambda$  – длина волны, м. (Ответ округлите до ближайшего целого числа).

## ВАРИАНТ №2

К каждому заданию А даны несколько ответов, из которых только один верный. Выберите верный, по вашему мнению, ответ.

А1. Уравнение Бренстеда – Бьеррума константы скорости в растворе для бимолекулярных реакций имеет вид:

$$\begin{aligned} 1) K_P &= K_\Gamma \cdot \frac{\gamma_A \gamma_B}{\gamma_{AB^*}}; & 2) K^* &= K \cdot \frac{\gamma_A \gamma_B}{\gamma_{AB^*}}; & 3) K_P &= K_\Gamma \cdot \frac{\gamma_A}{\gamma_{A^*}}; & 4) K_P &= K_\Gamma \cdot \frac{\gamma_{A^*}}{\gamma_A}; \\ 5) K_P &= -K_\Gamma \cdot \frac{\gamma_A \gamma_B}{\gamma_{AB^*}}; & 6) K_P &= -K_\Gamma \cdot \frac{\gamma_{AB^*}}{\gamma_A \gamma_B}. \end{aligned}$$

А2. Для каких процессов квантовый выход больше 1?

- 1) цепные радикальные процессы;
- 2) первичные (световые) реакции;
- 3) побочные реакции;
- 4) обратимые реакции.

А3. В модельном уравнении Семенова величина  $f$  является:

- 1) фактором обрыва цепи;
- 2) фактором разветвления цепи;
- 3) фактором зарождения цепи;
- 4) фактором автоускорения;
- 5) фактором продолжения цепи.

А4. Для разветвленной цепной реакции  $2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O$  выберите стадию обрыва цепи.

- 1)  $H^\bullet + O_2 + M \xrightarrow{k_5} HO_2^\bullet + M$
- 2)  $HO^\bullet + H_2 \xrightarrow{k_3} H_2O + H^\bullet$
- 3)  $H^\bullet + O_2 \xrightarrow{k_1} HO^\bullet + O^\bullet$
- 4)  $H_2 + O_2 \xrightarrow{k_0} H^\bullet + HO_2^\bullet$
- 5)  $O_2 + H_2 \xrightarrow{k_2} HO^\bullet + H^\bullet$
- 6)  $H^\bullet + \text{стенка} \xrightarrow{k_4} \frac{1}{2} H_2$

А5. Нижний предел взрываемости в разветвленных цепных реакциях зависит от:

- 1) состава примесей;
- 2) материала сосуда;
- 3) количества примесей;
- 4) природы веществ;
- 5) температуры.

А6. Химические превращения осуществляются только теми квантами света, которые могут быть поглощены данным веществом. Это закон...

- 1) Бугера – Ламберта - Беера;
- 2) Гротгуса - Дрепера;
- 3) Вант - Гоффа;
- 4) Дебая - Хюккеля;
- 5) Фика.

## Задания В

К каждому заданию В даны ответы, из которых могут быть верными несколько вариантов. Выберите верные, по вашему мнению, ответ.

В1. В уравнении Дебая-Хюккеля  $\lg \gamma = -Az^2 \sqrt{I}$  константа А зависит от:

- 1) длины волны;
- 2) диэлектрической проницаемости среды;
- 3) температуры;
- 4) давления;
- 5) интенсивности падающего света.

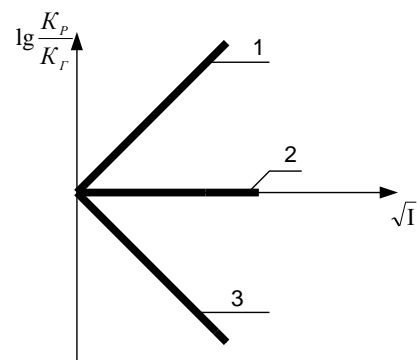
В2. Найдите соответствие между графической зависимостью  $\lg \frac{K_P}{K_\Gamma}$  от  $\sqrt{I}$  и типом

взаимодействующих зарядов (ответ представьте в виде последовательности букв, например, АБВ):

- А)  $z_A = 0$  или  $z_B = 0$ ;  
 Б)  $z_A$  и  $z_B$  - разноименные заряды;  
 В)  $z_A$  и  $z_B$  - одноименные заряды.

В3. Особенности цепных реакций:

- 1) реальная скорость процесса меньше теоретической;
- 2) на скорость влияет наличие примесей в реакционной смеси;
- 3) на скорость влияет температура и давление;
- 4) имеются верхний и нижний предел.



### Задания С

С1. Найдите соответствие между типом реакции и названием математического уравнения, с помощью которого описывается данный процесс (ответ представьте в виде последовательности букв, например, АБВГ):

- 1) фотохимические реакции
- 2) цепные процессы
- 3) реакции в растворах
- 4) реакции в растворах сильных электролитов

- А) Уравнение Бренстеда-Бьеррума;  
 Б) Модельное уравнение Семёнова;  
 В) Закон Гротгуса-Дрепера;

Г) Уравнение Дебая-Хюккеля.

С2. Используя метод стационарных концентраций Боденштейна, напишите выражение скорости по активной частице водорода  $\frac{dC_{H\cdot}}{d\tau}$ , если реакция  $H_2 + Br_2 \rightarrow 2HBr$  протекает по представленному механизму:

- 1)  $Br_2 \xrightarrow[k_1]{h\nu} Br\cdot + Br\cdot$
- 2)  $Br\cdot + H_2 \xrightarrow{k_2} HBr + H\cdot$
- 3)  $H\cdot + Br_2 \xrightarrow{k_3} HBr + Br\cdot$
- 4)  $H\cdot + HBr \xrightarrow{k_4} H_2 + Br\cdot$
- 5)  $Br\cdot + Br\cdot \xrightarrow{k_5} Br_2$

С3. При прохождении света с длиной волны 436 нм через раствор брома и коричной кислоты поглотилось 1,73 Дж световой энергии. В результате фотохимической реакции количество брома уменьшилось на  $6,36 \cdot 10^{-5}$  моль. Определите квантовый выход реакции.

Энергия одного моля квантов света рассчитывается по уравнению  $E_{h\nu} = \frac{N_A h c}{\lambda}$ , где  $N_A$  – число Авогадро, моль<sup>-1</sup>;  $h$  – постоянная Планка, Дж·с;  $c$  – скорость света в вакууме, м·с<sup>-1</sup>;  $\lambda$  – длина волны, м. (Ответ округлите до ближайшего целого числа).

### ВАРИАНТ №3

К каждому заданию А даны несколько ответов, из которых только один верный. Выберите верный, по вашему мнению, ответ.

А1. Скорость фотохимической реакции при условии  $C \gg e^{-\epsilon c}$  будет равна:

- 1)  $-\frac{dc}{d\tau} = k' I_0 (1 - e^{-\epsilon c})$ ; 2)  $-\frac{dc}{d\tau} = k' J_0$ ; 3)  $w = J_0 e^{-\epsilon c}$ ; 4)  $w = k e^{-\epsilon c}$ .

А2. Квантовый выход является:

- 1) качественной характеристикой фотохимических реакций;
- 2) количественной характеристикой цепных процессов;

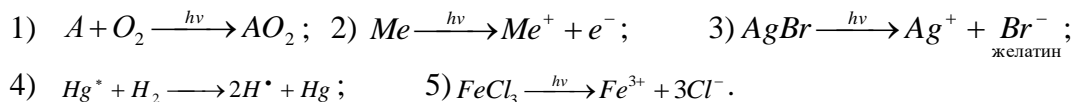
3) количественной характеристикой фотохимических реакций;

4) качественной характеристикой цепных процессов.

**А3.** Уравнение Семёнова при условии стационарного протекания цепного процесса выглядит следующим образом:

$$1) \quad n = \frac{n_0}{g}; \quad 2) \quad \frac{dn}{d\tau} = n_0 + n(f - g); \quad 3) \quad n = \frac{n_0}{f} e^{f\tau}; \quad 4) \quad \frac{dn}{d\tau} = n_0 + n\varphi.$$

**А4.** Среди представленных типов фотохимических реакций фотографическим процессом является:



**А5.** В уравнении Дебая-Хюккеля  $\gamma$  – это:

- 1) ионная сила раствора;    2) константа, которая зависит от свойств растворителя;  
3) заряд иона;    4) квантовый выход.

**А6.** Цепные реакции условно принято делить на:

- 1) стационарные и нестационарные;    2) разветвленные и неразветвленные;  
3) гомогенные и гетерогенные;    4) обратимые и необратимые.

### Задания В

**В1.** Найдите соответствие между стадией процесса и её названием (*Ответ представьте в виде последовательности букв, например, АГВБ*).

- |  |                       |
|--|-----------------------|
| 1) $H^* + \text{стенка} \xrightarrow{k} \frac{1}{2} H_2$ | А) разветвление цепи; |
| 2) $H_2 + O_2 \xrightarrow{k} H^* + HO_2^*$              | Б) рост цепи;         |
| 3) $O^* + H_2 \xrightarrow{k} HO^* + H^*$                | В) обрыв цепи;        |
| 4) $HO^* + H_2 \xrightarrow{k} H_2O + H^*$               | Г) зарождение цепи.   |
| 5) $H^* + O_2 \xrightarrow{k} HO^* + O^*$                |                       |
| 6) $H^* + O_2 + M \xrightarrow{k} HO_2^* + M$            |                       |

**В2.** Найдите соответствия

- |   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| 1) $\frac{dn}{d\tau} = n_0 + n(f - g);$       | А) Закон эквивалентности Эйнштейна; |
| 2) $\lg \gamma = -Az^2 \sqrt{J}$              | Б) Модельное уравнение Семёнова;    |
| 3) $\gamma = \frac{n(\text{мол}^*)}{n(h\nu)}$ | В) Закон Бугера-Ламберта-Бера;      |
| 4) $J = J_0 e^{-dc}.$                         | Г) Уравнение Дебая-Хюккеля.         |

**В3.** От чего зависит верхний предел взрываемости цепных реакций (*Ответ представьте в виде последовательности цифр, например, 3214*):

- 1) форма сосуда;  
2) природа веществ;  
3) незначительно от температуры;  
4) значительно от температуры;  
5) материала сосуда;  
6) количества и состава примесей.

### Задания С

С1. Найдите соответствие между типом реакции и названием математического уравнения, с помощью которого описывается данный процесс (ответ представьте в виде последовательности букв, например, АБВГ):

- |   |                                  |
|---|----------------------------------|
| 1) фотохимические реакции                   | А) Уравнение Бренстеда-Бьеррума; |
| 2) цепные процессы                          | Б) Модельное уравнение Семёнова; |
| 3) реакции в растворах                      | В) Закон Бугера-Ламберта-Бера;   |
| 4) реакции в растворах сильных электролитов | Г) Уравнение Дебая-Хюккеля.      |

С2. Используя метод стационарных концентраций Боденштейна, напишите выражение скорости по активной частице брома  $\frac{dC_{Br^\bullet}}{d\tau}$ , если реакция  $H_2 + Br_2 \rightarrow 2HBr$  протекает по представленному механизму:

- 1)  $Br_2 \xrightarrow[k_1]{h\nu} Br^\bullet + Br^\bullet$
- 2)  $Br^\bullet + H_2 \xrightarrow{k_2} HBr + H^\bullet$
- 3)  $H^\bullet + Br_2 \xrightarrow{k_3} HBr + Br^\bullet$
- 4)  $H^\bullet + HBr \xrightarrow{k_4} H_2 + Br^\bullet$
- 5)  $Br^\bullet + Br^\bullet \xrightarrow{k_5} Br_2$

С3. При прохождении фотохимической реакции после поглощения 21,4 кДж энергии излучения с длиной волны 560 нм распалось 0,1 моль исходного вещества. Определите квантовый выход реакции. Энергия одного моля квантов света рассчитывается по уравнению  $E_{h\nu} = \frac{N_A hc}{\lambda}$ , где  $N_A$  – число Авогадро, моль<sup>-1</sup>;  $h$  – постоянная Планка, Дж·с;  $c$  – скорость света в вакууме, м·с<sup>-1</sup>;  $\lambda$  – длина волны, м. (Ответ округлите до ближайшего целого числа).

#### ВАРИАНТ №4

К каждому заданию А даны несколько ответов, из которых только один верный. Выберите верный, по вашему мнению, ответ.

А1. Скорость фотохимической реакции при условии  $c \ll e^{-\epsilon lc}$  будет равна:

- 1)  $\omega = k'Y_0(1 - e)^{-\epsilon lc}$
- 2)  $\omega = k'Y_0\epsilon cl$
- 3)  $\omega = k'Y_0$
- 4)  $\omega = k'(1 - e)^{-\epsilon lc}$

А2. Количественной характеристикой фотохимической реакции является

- 1) интенсивность света
- 2) длина волны
- 3) квантовый выход
- 4) молярный коэффициент поглощения

А3. Модельное уравнение Семенова имеет вид:

- 1)  $\frac{dn}{d\tau} = n_0 + n(f - g)$
- 2)  $\frac{dn}{d\tau} = n - n_0(f - g)$
- 3)  $\frac{dn}{d\tau} = n_0 + n(g - f)$
- 4)  $\frac{dn}{d\tau} = n_0 - n(f - g)$

А4. Среди представленных фотохимических реакций найти реакцию фотосенсибилизации.

- 1)  $AgBr \xrightarrow{h\nu} Ag + Br^-$
- 2)  $A + A \xrightarrow{h\nu} A_2$
- 3)  $Br_2 \xrightarrow{h\nu} Br^\bullet + Br$
- 4)  $H_2 + Hg^* \rightarrow Hg + H^\bullet + H^\bullet$
- 5)  $FeCl_3 \xrightarrow{h\nu} Fe^{+3} + 3Cl^-$

A5. В уравнении Дебая-Хюккеля  $\lg \gamma_i = -Az_i^2 \sqrt{I}$ ,  $I$ - это

- 1) ионная сила раствора;
- 2) сила тока;
- 3) константа, зависящая от свойств растворителя;
- 4) заряд иона;
- 5) коэффициент активности иона.

A6. За счет чего происходит дезактивация активных частиц?

- 1) двойных соударений;
- 2) мономолекулярных столкновений;
- 3) тройных соударений с молекулами примесей или инертных газов.

### Задания В

B1. Сопоставьте механизм химической реакции со стадией процесса.

- |  |                     |
|--|---------------------|
| 1) $Br_2 \xrightarrow{h\nu, k_x} Br^\bullet + Br^\bullet$          | А) рекомбинация;    |
| 2) $H^\bullet + HBr \xrightarrow{k_x} HBr + Br^\bullet$            | Б) рост цепи;       |
| 3) $Br^\bullet + H_2 \xrightarrow{k_x} HBr + H^\bullet$            | В) обрыв цепи;      |
| $H^\bullet + Br_2 \xrightarrow{k_x} HBr + Br^\bullet$              |                     |
| 4) $Br^\bullet + Br^\bullet \xrightarrow{k_x, \text{стенка}} Br_2$ | Г) зарождение цепи. |

B2. Сопоставьте уравнения с их названиями.

- |  |                                  |
|--|----------------------------------|
| 1) $K_p = K_f \frac{\gamma_A \cdot \gamma_B}{\gamma_{AB^*}}$ | А) уравнение Семенова;           |
| 2) $\lg \gamma_i = -Az_i^2 \sqrt{I}$                         | Б) уравнение Бренстеда-Бьеррума; |
| 3) $\frac{dn}{d\tau} = n_0 + n(f - g)$                       | В) закон Бугера-Ламберта-Беера;  |
| 4) $I = I_0 e^{-\epsilon lc}$                                | Г) уравнение Дебая-Хюккеля.      |

B3. Расположите в правильном порядке стадии цепной реакции. (Ответ представьте в виде последовательности цифр, например, 3214).

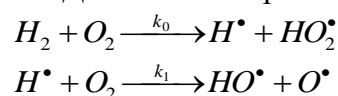
- 1) разветвление цепи;
- 2) зарождение цепи;
- 3) обрыв цепи;
- 4) продолжение цепи.

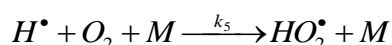
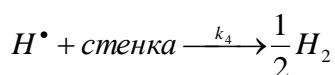
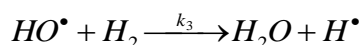
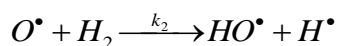
### Задания С

C1. Найдите соответствие между типом фотохимической реакции и уравнением реакции (ответ представьте в виде последовательности букв, например, АБВГ):

- |                             |   |
|-----------------------------|---|
| 1) фотоприсоединение        | А) $AgBr \xrightarrow{h\nu} Ag + Br^-$ ;                        |
| 2) фотосенсибилизация       | Б) $A + A \xrightarrow{h\nu} A_2$ ;                             |
| 3) фотографические процессы | В) $Hg^* + H_2 \xrightarrow{h\nu} Hg + H^\bullet + H^\bullet$ ; |
| 4) фотодиссоциация          | Г) $FeCl_3 \xrightarrow{h\nu} Fe^{3+} + 3Cl^-$ .                |

C2. Дан механизм разветвленной цепной реакции:





Написать выражение скорости для  $\frac{dC_{H^{\bullet}}}{d\tau}$ .

С3. При прохождении фотохимической реакции после поглощения 15,8 кДж энергии излучения с длиной волны 473 нм распалось 0,5 моль исходного вещества. Определите квантовый выход реакции. Энергия одного моля квантов света рассчитывается по уравнению  $E_{hv} = \frac{N_A hc}{\lambda}$ , где  $N_A$  – число Авогадро, моль<sup>-1</sup>;  $h$  – постоянная Планка, Дж·с;  $c$  – скорость света в вакууме, м·с<sup>-1</sup>;  $\lambda$  – длина волны, м. (Ответ округлите до ближайшего целого числа).

## Тема «Катализ»

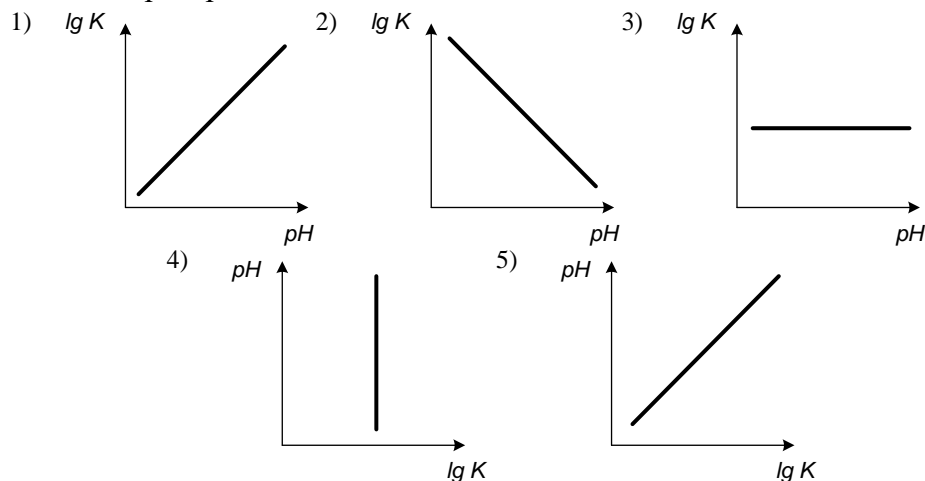
### ВАРИАНТ №1

К каждому заданию А даны несколько ответов, из которых только один верный.

**А1.** С чем связан отрицательный катализ с точки зрения теории активированного комплекса:

- |                                 |                                 |
|---------------------------------|---------------------------------|
| 1) с увеличением $\Delta S^*$ ; | 2) с уменьшением $\Delta H^*$ ; |
| 3) с уменьшением $\Delta S^*$ ; | 4) с увеличением $\Delta H^*$ . |

**А2.** На каком из графиков представлена зависимость константы скорости кислотного катализа от pH среды?



**А3.** Формула суммарной скорости реакции для веществ Вант-Гоффа:

- |   |   |
|---|---|
| 1) $\omega = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot C_A \cdot C_B \cdot C_K}{k_1 \cdot C_A - k_2 \cdot C_B}$ | 2) $\omega = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot C_A \cdot C_B \cdot C_K}{k_1 \cdot C_A + k_2 \cdot C_B}$ |
| 3) $\omega = \frac{k_1 + k_2 + C_A + C_B + C_K}{k_1 \cdot C_A + k_2 \cdot C_B}$                 | 4) $\omega = \frac{k_1 \cdot C_A \cdot C_B \cdot C_K}{k_2 \cdot C_A + C_B}$                     |
| 5) $\omega = \frac{k_1 + k_2 + C_A + C_B + C_K}{k_1 + C_A \cdot k_2}$                           | 6) $\omega = \frac{k_1 + k_2 + C_A + C_B + C_K}{k_1 \cdot C_A - k_2 \cdot C_B}$                 |



**A4.** Какой процесс можно отнести к окислительно-восстановительному типу гетерогенного катализа:

- |                   |                  |
|-------------------|------------------|
| 1) дегидратация   | 2) полимеризация |
| 3) дегидрирование | 4) гидратация    |

**A5.** При каком термодинамическом условии с помощью катализатора невозможно заставить процесс идти быстрее:

- |                       |                       |                     |                     |
|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
| 1) $\Delta S^* < 0$ ; | 2) $\Delta S^* > 0$ ; | 3) $\Delta G > 0$ ; | 4) $\Delta G < 0$ . |
|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|

К каждому заданию В даны ответы, из которых могут быть верными несколько вариантов.

**B1.** Соотнесите металлы с группами, к которым они относятся по каталитической активности:

- |                   |             |
|-------------------|-------------|
| 1) Fe, Co, Ni, Re | А) группа В |
| 2) Ag, Au         | Б) группа С |
| 3) Ti, V, Cr, Mn  | В) группа D |
| 4) Cu, Rh, Pd, Pt | Г) группа А |

**B2.** Какие стадии включает в себя гетерогенный катализ:

- |                      |              |                 |
|----------------------|--------------|-----------------|
| 1) подход (диффузия) | 2) адсорбция | 5) гидроочистка |
| 3) абсорбция         | 4) десорбция |                 |

**B3.** Какие из представленных веществ являются типичными каталитическими ядами для металлосодержащих катализаторов:

- |             |                             |                      |
|-------------|-----------------------------|----------------------|
| 1) $H_2S$ ; | 2) тиофен;                  | 3) $CS_2$ ;          |
| 4) аргон;   | 5) предельные углеводороды; | 6) соединения азота. |

**Задания С.**

**C1.** Дайте определение удельной активности катализатора.

**C2.** Опишите принцип структурного соответствия в рамках мультиплетной теории Баландина.

**C3.** Во сколько раз увеличится скорость реакции при 400 К, если в кинетическую систему ввести твердый катализатор. Энергия активации реакции без катализатора равна  $E_1 = 44000$  Дж/моль, а с катализатором  $E_2 = 26000$  Дж/моль. Предэкспоненциальные множители в уравнении Аррениуса в обоих случаях равны.

## ВАРИАНТ №2

К каждому заданию А даны несколько ответов, из которых только один верный.

**A1.** Какой катализатор относится к специфическим:

- |              |         |             |              |
|--------------|---------|-------------|--------------|
| 1) $H_2SO_4$ | 2) NaOH | 3) $H_3O^+$ | 4) $Cu^{2+}$ |
|--------------|---------|-------------|--------------|

**A2.** Правильное выражение формулы для описания степени компенсации:

- |   |   |
|---|---|
| 1) $\alpha = \frac{\sum E_{св} - E_a}{\sum E_{св}}$ | 2) $\alpha = \frac{E_a - \sum E_{св}}{\sum E_{св}}$ |
| 3) $\alpha = \frac{\sum E_{св} + E_a}{\sum E_{св}}$ | 4) $\alpha = \frac{E_{св} + \sum E_a}{E_{св}}$      |
| 5) $\alpha = \frac{\sum E_{св}}{\sum E_{св} - E_a}$ | 6) $\alpha = \frac{\sum E_{св}}{E_a - \sum E_{св}}$ |

**A3.** Активность катализатора выражается формулой:

$$1) A = \frac{m_{кат}}{\omega}$$

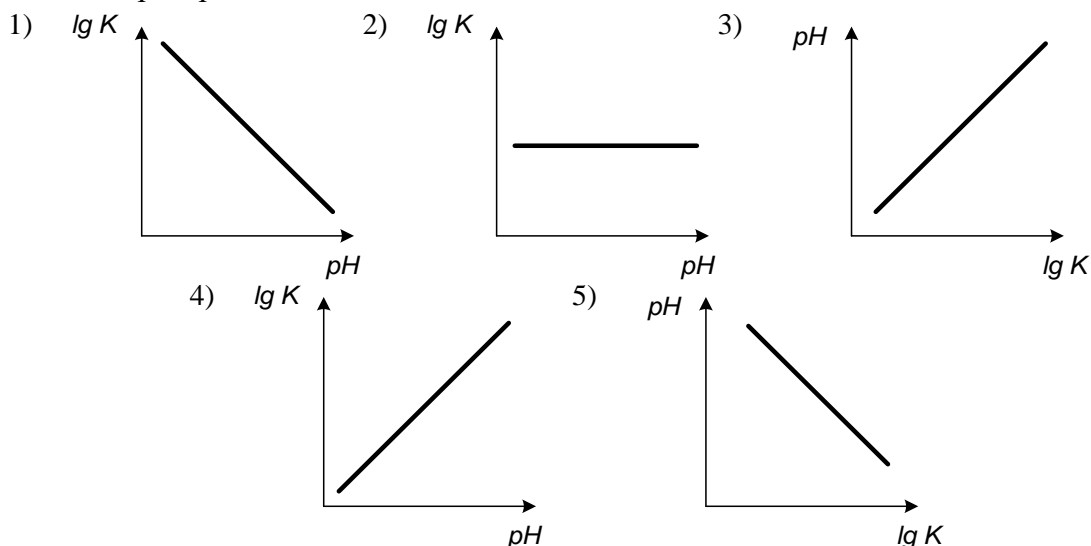
$$2) A = \frac{\omega \cdot m_{кат}}{n}$$

$$3) A = \frac{n}{\omega \cdot m_{кат}}$$

$$4) A = \frac{\omega}{m_{кат}}$$

$$5) A = \frac{V_{кат}}{\omega}$$

**A4.** На каком из графиков представлена зависимость константы скорости основного катализа от pH среды?



**A5.** Катализатор, замедляющий реакцию, называется:

- 1) мультиплет
- 2) каталитический яд
- 3) ингибитор
- 4) промотор
- 5) фермент

**К** каждому заданию **В** даны ответы, из которых могут быть верными несколько вариантов.

**B1.** На какие типы по фазовому состоянию делится катализ:

- 1) гомогенный
- 2) макрогетерогенный
- 3) мономолекулярный
- 4) гетерогенный
- 5) микрогетерогенный
- 6) бимолекулярный

**B2.** В каких реакциях цеолиты являются катализаторами:

- 1) дециклизация
- 2) окисление
- 3) крекинг
- 4) риформинг
- 5) пиролиз
- 6) гидрокрекинг

**B3.** Какие катализаторы относятся к общему кислотно-основному катализу:

- 1) NaOH
- 2)  $H_3O^+$
- 3)  $CuSO_4$
- 4)  $H_3PO_4$
- 5)  $H_2SO_4$
- 6)  $OH^-$

**Задания С.**

**C1.** Дайте определение понятию катализатор.

**C2.** Опишите принцип энергетического соответствия в рамках мультиплетной теории Баландина.

**C3.** На сколько увеличилась энергия активации реакции при 600 К, если в кинетическую систему внести твердый катализатор? Энергия активации реакции с катализатором равна  $E_2 = 28000$  Дж/моль. Скорость реакции увеличилась в 100 раз. Предэкспоненциальные множители в уравнении Аррениуса в обоих случаях равны.

### ВАРИАНТ №3

К каждому заданию А даны несколько ответов, из которых только один верный.

**А1.** С чем связан положительный катализ с точки зрения теории активированного комплекса?

- 1) с увеличением  $\Delta S^*$ ;      2) с уменьшением  $\Delta H^*$ ;      3) с уменьшением  $\Delta S^*$ ;  
4) с увеличением  $\Delta H^*$

**А2.** По Борескову при расчете степени компенсации  $\alpha = \frac{\sum E_{св} - E_a}{\sum E_{св}}$   $\sum E_{св}$  - это:

- 1) сумма энергий связи всех исходных веществ  
2) сумма энергий связи всех участников реакции  
3) сумма энергий связи всех продуктов реакции  
4) сумма энергий активации

**А3.** Формула суммарной скорости реакции с участием веществ Аррениуса

- 1)  $\omega = \frac{k_1 k_2 C_A C_B C_K}{k_2 C_A + k_1}$       2)  $\omega = \frac{k_1 k_3 C_A C_B C_K}{k_1 C_A + k_2}$       3)  $\omega = \frac{k_1 k_3 C_A C_B C_K}{k_1 C_A - k_2}$   
4)  $\omega = \frac{k_1 k_3 C_A C_K}{k_1 C_A + k_2}$       5)  $\omega = \frac{k_2 k_3 C_A C_B C_K}{k_1 C_A - k_2}$

**А4.** Какой процесс можно отнести к кислотно-основному типу взаимодействия с катализатором?

- 1) гидрирование    2) окисление    3) гидратация    4) дегидрирование

**А5.** При каком значении энергии Гиббса невозможно заставить быстрее идти реакцию при помощи катализатора?

- 1)  $\Delta G < 0$       2)  $\Delta G = 0$       3)  $\Delta G > 0$

К каждому заданию В даны ответы, из которых могут быть верными несколько вариантов.

**В1.** Какие процессы включает в себя гидрокрекинг?

- 1) изомеризация  
2) риформинг  
3) адсорбция  
4) крекинг  
5) гидроочистка

**В2.** Соотнесите степень компенсации и её числовое значение (*ответ представьте в виде последовательности букв, например, АБВ*).

- |                                |                     |
|--------------------------------|---------------------|
| 1) некаталитическая реакция    | А) 0,8              |
| 2) каталитическая реакция      | Б) $0,95 \div 0,97$ |
| 3) цепные, радикальные реакции | В) 0,5              |

**В3.** Положительный катализ по ТАК характеризуется:

- 1) уменьшением скорости реакции;  
2) увеличением скорости реакции;  
3) уменьшением энтальпии активации  $\Delta H^*$ ;  
4) увеличением энтальпии активации  $\Delta H^*$ ;  
5) уменьшением энтропией активации  $\Delta S^*$ ;  
6) увеличением энтропией активации  $\Delta S^*$ .

**Задания С.**

**С1.** Дайте определение понятию «старение» катализатора.

**С2.** Какие теории гетерогенного катализа вы знаете? Перечислите их.

**С3.** На сколько уменьшится энергия активации реакции, если в кинетическую систему внести твердый катализатор? Энергия активации без катализатора равна  $E_1 = 35000 \text{ Дж/моль}$ . Температура проведения реакции 500 К. Скорость реакции увеличилась в 150 раз. Предэкспоненциальные множители в уравнении Аррениуса в обоих случаях равны.

### Критерии оценки коллоквиума (тестов)

Каждый правильный ответ на вопрос в тесте – 1 балл.

Каждый неправильный ответ – 0 баллов.

Решение задачи: оценивается ход решения и правильность численного ответа.

Задача оценивается в соответствии с уровнем сложности.

Набранное количество баллов приводится к максимальному в процентном выражении, т.е. студент набрал 24 балла из 28 возможных. Это составляет 86%. Перевод процентов теста в четырехбальную систему следующая:

Проценты	< 61	61 – 72	73 – 86	87 – 100
Баллы	<3,6	3,6-4,3	4,4-5,2	5,3-6
Оценка	Тест не сдан	3	4	5

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
*Факультет- технологический*  
*Кафедра - ОХБТ*  
Направление 18.03.01 «Химическая технология»  
профиль/программа:  
«Химическая технология органических веществ»  
«Химическая технология высокомолекулярных соединений»  
«Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов»

Семестр 3/4

**Комплект контрольных работ**  
по дисциплине Б1.О.21 «Физическая химия»

Для Контрольных работ используется практикум:

3 семестр

- «Физическая химия: практикум: в 2-х частях» Часть 1/Э.Н.Нуриева, Т.Р.Сафиуллина. –  
Нижекамск: НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ» 2017г.-37с.

4 семестр

- «Физическая химия: практикум: в 2-х частях» Часть 2/Э.Н.Нуриева, Т.Р.Сафиуллина. –  
Нижекамск: НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ» 2017г.-41с.

Вариант контрольной работы соответствует двум последним цифрам зачетной книжки.

***Критерии оценки контрольной работы:***

Учебным планом для заочной формы обучения предусмотрена одна контрольная работа.  
Максимальное количество баллов за правильно выполненную контрольную работу – 12  
баллов, минимальное количество баллов – 8 баллов.

