

## Оглавление

<b><i>Девятый класс</i></b>	<b>4</b>
Задача 9-1 .....	4
Задача 9-2 .....	5
Задача 9-3 .....	6
Задача 9-4 .....	8
Задача 9-5 .....	8
<b><i>Десятый класс</i></b>	<b>10</b>
Задача 10-1 .....	10
Задача 10-2 .....	11
Задача 10-3 .....	12
Задача 10-4 .....	14
Задача 10-5 .....	16
<b><i>Одиннадцатый класс</i></b>	<b>17</b>
Задача 11-1 .....	17
Задача 11-2 .....	18
Задача 11-3 .....	20
Задача 11-4 .....	21
Задача 11-5 .....	23

## Девятый класс

### Задача 9-1

#### «Буровая вода»

Башкортостан является одним из лидеров по нефтедобыче в России. При добыче нефти вместе с ней на поверхность извлекаются буровые воды, обогащенные некоторыми минеральными солями. Получение простого вещества **A** из буровых вод можно провести двумя путями:

1) Пропусканием хлора в буровую воду (*р-ция 1*) и последующей экстракцией **A** в бензольный раствор. Регенерацию бензола осуществляют, прибавляя медные опилки (*р-ция 2*), что сопровождается исчезновением характерной окраски экстракта. Медь регенерируют нагреванием с железом (*р-ция 3*), образующийся продукт растворяют, обрабатывают стехиометрическим количеством хлора (*р-ция 4*) и получают вещество **A**.

2) Подкислением буровой воды серной кислотой и продуванием воздуха, вместе с ним уносятся пары **A** (*р-ция 5*), которые пропускают через растворитель. Этот раствор содержит соду и сульфит натрия. В результате вещество **A** переходит в то же соединение **B** (*р-ция 6*), в виде которого он присутствует в буровой жидкости. Технический **A** из этого раствора выделяют действием стехиометрического количества хлора (*р-ция 1*).

Для стандартизации раствора **C** использовали следующую методику:

Дихромат калия массой 0.25735 г растворили в воде и довели до метки в колбе на 100.00 мл. Взяли пробу  $V_a = 10.00$  мл, к которой прибавили 2М серную кислоту и раствор **B**, взятый в избытке (*р-ция 7*). Раствор изменил окраску, после к нему прибавили 100 мл воды и титровали раствором **C** до исчезновения окраски (*р-ция 8*). Объемы титранта для трех титрований: 10.1 мл, 10.7 мл и 10.5 мл. Прибавление к **C** 2М серной кислоты вызывает помутнение раствора и выделение газа (*р-ция 9*), при этом в растворе остается только сульфат натрия, поэтому титруемый раствор предварительно разбавляют водой для понижения кислотности.

Стандартизованный раствор **C** использовали для исследования

нестехиометрических оксидов меди и железа. Навеску исследуемого оксида массой 0.2500 г прибавили к раствору **B**, затем прилили 2М серную кислоту (*р-ция 10 и 11*), раствор помутнел, к нему прибавили спустя некоторое время 100 мл воды и титровали раствором **C** до исчезновения окраски (*р-ция 8*). Объемы **C** для трех титрований полученных растворов составляют:

$$\text{Cu}_{2-x}\text{O} \quad V_1 = 3.8 \text{ мл}, \quad V_2 = 3.5 \text{ мл}, \quad V_3 = 3.5 \text{ мл};$$

$$\text{Fe}_{1-y}\text{O} \quad V_1 = 18.0 \text{ мл}, \quad V_2 = 18.6 \text{ мл}, \quad V_3 = 18.3 \text{ мл}.$$

### Вопросы:

1. Установите формулы веществ **A**, **B**, **C**.
2. Напишите уравнения реакций 1-11, для реакций **10** и **11** используйте *x* и *y* при записи уравнений.
3. Определите молярную концентрацию стандартного раствора **C**.
4. Рассчитайте значения *x* и *y* для нестехиометрических оксидов по данным титрования.
5. Какой индикатор используют для определения конечной точки титрования в описанных экспериментах?

### Задача 9-2

Для определения содержания хлорида кальция в растворе химик Колбочкин использовал следующую методику титрования. Отобранную с помощью пипетки аликвоту анализируемого раствора объемом 10.00 мл он поместил в коническую колбу для титрования, добавил из бюретки 20.0 мл раствора **A**, тщательно перемешал и профильтровал через бумажный фильтр в чистый стакан. Остатки осадка он смыл со стенок конической колбы несколькими порциями дистиллированной воды на тот же фильтр. Осадок вместе с фильтром Колбочкин возвратил в ту же коническую колбу, добавил бюреткой 30.0 мл раствора **B** и тщательно перемешал до полного растворения осадка. К содержимому он добавил 1 каплю раствора **B** и оттитровал раствором **A** до перехода окраски из красной в оранжевую. Объем раствора **A**, затраченный на титрование, составил  $V_1 = 7.0$  мл.

Для уточнения результатов анализа Колбочкин количественно перенес фильтрат, полученный как описано выше, из стакана в чистую колбу для титрования. Он добавил к нему 1 каплю раствора Г и оттитровал раствором Б до полного исчезновения окраски, затратив при этом  $V_2$  мл раствора Б.

Известно, что в распоряжении Колбочкина были следующие растворы реактивов (концентрации всех растворов, кроме индикаторов – 0.1 моль/л; в скобках указано примерное значение pH этих растворов):  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (pH 7),  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (pH 12), NaF (pH 8),  $\text{NaHCO}_3$  (pH 8),  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  (pH 5), HF (pH 2), HCl (pH 1),  $\text{H}_3\text{BO}_3$  (pH 5), индикаторы: метиловый оранжевый (область перехода  $\Delta\text{pH}=3-4.5$ ), фенолфталеин (область перехода  $\Delta\text{pH}=8-10$ ).

1. Какие реактивы из имеющихся у Колбочкина были использованы в методике? Напишите формулы или названия веществ А – Г.
2. Напишите уравнения всех протекающих в ходе анализа химических реакций неорганических веществ (4 уравнения).
3. По результатам анализа рассчитайте концентрацию хлорида кальция в анализируемом растворе.
4. Рассчитайте объем титранта  $V_2$ , пошедший на титрование фильтрата.
5. Можно ли было использовать в данной схеме анализа того же самого раствора хлорида кальция растворы реактивов с концентрацией 0.06 моль/л (все вводимые объемы растворов остаются теми же)? Ответ обоснуйте.
6. Какой метод титрования использовал Колбочкин – кислотно-основное, осадительное, окислительно-восстановительное или комплексометрическое титрование?

### Задача 9-3

#### *«Вторичная переработка»*

Уфа находится у слияния рек Белой (Агидель по-башкирски) и Уфимки. Весной в период половодья воды рек выносят на заливные луга... твердые бытовые отходы (ТБО).

Многие ТБО подвергают сортировке и вторичной переработке, например,

интересующие нас *изделия*, состоящие в основном из двух металлов, отделяют от других отходов с помощью магнита. Одним из способов выделения более ценного металла **А** является обработка изделий 3М NaOH в присутствии атмосферного O<sub>2</sub> (*р-ция 1*). В результате образуется соль **Б**, а металл основы **Д** не растворяется. При пропускании CO<sub>2</sub> через образовавшийся раствор выпадает осадок **В** (*р-ция 2*), который отделяют центрифугированием, прокаливают (*р-ция 3*) и получают вещество **Г** (21.2 % масс. кислорода), составляющее основу минерального сырья для получения **А**. Прокаливание концентратов, содержащих 35-50% **Г**, с углем (*р-ция 4*) при 850-1000°C приводит к металлу **А**.

Металл **Д** во влажном воздухе становится буро-коричневым, превращаясь в вещество **Е** (*р-ция 5*), прокаливание которого дает вещество **Ж** (*р-ция 6*) чёрного цвета. **Ж** наряду с минералом красно-бурого цвета **З** (30.0% масс. кислорода), имеющим тот же качественный состав, в промышленности восстанавливают до металла **Д** коксом при высокой температуре (*р-ции 7 и 8*). Из тонких пластин **Д** формируют заготовки нужной формы и наносят металл **А**, тем самым регенерируя *изделие*.

1. Определите неизвестные вещества **А – З**. Ответ аргументируйте.
2. Составьте уравнения всех реакций, упомянутых в условии.
3. Как называются получаемый композитный материал и изготавливаемое из него изделие?
4. Почему нельзя обойтись без металла **А** при изготовлении изделия?
5. Что произойдет с изделием во влажной атмосфере, если нарушится целостность покрытия, изготовленного из: а) меди, б) цинка? Приведите уравнения реакций. Ускорится или замедлится разрушение металла основы по сравнению с изделием, покрытым **А**?
6. Для ускорения процесса отделения металла **А** к раствору 3М NaOH прибавляют: а) NaNO<sub>3</sub>, б) Pb(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>. Объясните роль этих веществ в ускорении процесса в форме уравнений реакций.
7. С какой целью садоводы закапывают весной изделия в землю под яблони и груши?

### Задача 9-4

Два минерала **A** и **B** желтого и оранжевого цвета часто встречаются в природе вместе. Они состоят из двух элементов **X** и **Y**. При сжигании на воздухе смеси **A** и **B** образуются твердое летучее вещество **C** и газ **D**, вызывающий помутнение известковой воды и обесцвечивающий раствор перманганата калия. Известно, что вещество **B** имеет молекулярное строение и его пары тяжелее воздуха почти в 15 раз. Для получения 1 л газа **D** (н.у.) требуется сжечь 3.66 г **A** или 4.78 г **B**.

1. Определите элементы **X**, **Y**, а также вещества **A**, **B**, **C**, **D**.
2. Запишите уравнения реакций.
3. Изобразите структурную формулу **B**, зная, что в молекуле **B** нет кратных связей, а элементы **X** и **Y** имеют такие же валентности, как в веществе **A**.

### Задача 9-5

#### *Сверхпроводящий борид*

В 2001 году группа японских ученых обнаружила сверхпроводимость у борида металла **M**, имеющего формулу  $MB_2$ . С того времени его химические и физические свойства подробно изучаются.

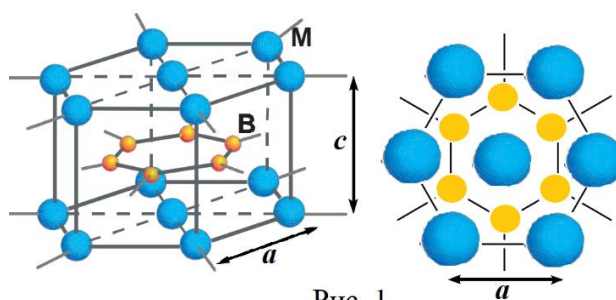
Борид металла **M** как потенциальный компонент материалов для устройств, использующих сверхпроводимость, был проверен на устойчивость к воздействию воды. Оказалось, что  $MB_2$  взаимодействует с водой при температурах выше 39 °C (реакция 1). Рассчитанная из экспериментальных калориметрических данных энтальпия гидролиза  $MB_2$  составляет  $-97.3$  кДж/моль (в расчете на 1 моль бориды). В результате гидролиза образуются диборан ( $B_2H_6$ ), твердый бор и гидроксид  $M(OH)_n$ . Энтальпии образования гидроксида металла, бориды металла, диборана и жидкой воды составляют  $-924.7$ ,  $-245.1$ ,  $+31.4$  и  $-285.9$  кДж/моль.

1. Определите  $n$  в формуле гидроксида  $M(OH)_n$ .
2. Определите металл **M**, если масса смеси двух осадков после помещения

её в соляную кислоту и просушивания твердого остатка уменьшается в 5 раз.

3. Напишите уравнение реакции 1.

Сверхпроводимость  $MB_2$  обусловлена его слоистой кристаллической структурой (рис. 1). Атомы бора в  $MB_2$  образуют слои, подобные слоям в графите, в которых атомы бора связаны



одинаковыми по энергии и длине ковалентными связями, что показано на виде элементарной ячейки сверху (справа на рис. 1).

4. Параметр ячейки  $a = 3.086 \text{ \AA}$ . Определите длину связи В–В в структуре борида  $MB_2$ .

В 2008 году впервые был предложен метод получения нанонитей из борида металла. Для этого использовали метод HPCVD (гибридное физико-химическое осаждение пара): **М** нагревали до температуры  $650 \text{ }^\circ\text{C}$  при низком давлении, образующиеся пары **М** реагировали с дибораном, образуя на медной подложке нити  $MB_2$  длиной до нескольких микрометров и диаметром порядка сотен нанометров (реакция 2). Сечение нитей представляет собой правильный шестиугольник.

5. Напишите уравнение реакции 2. Если вы не смогли определить металл **М** в п. 2, обозначайте его символом **М**.

6. Нанонить длиной  $1.50 \text{ мкм}$  и стороной шестиугольника  $200 \text{ нм}$  содержит  $5.36 \cdot 10^9$  атомов металла **М**.

а) Рассчитайте объем кристалла (в  $\text{нм}^3$ ).

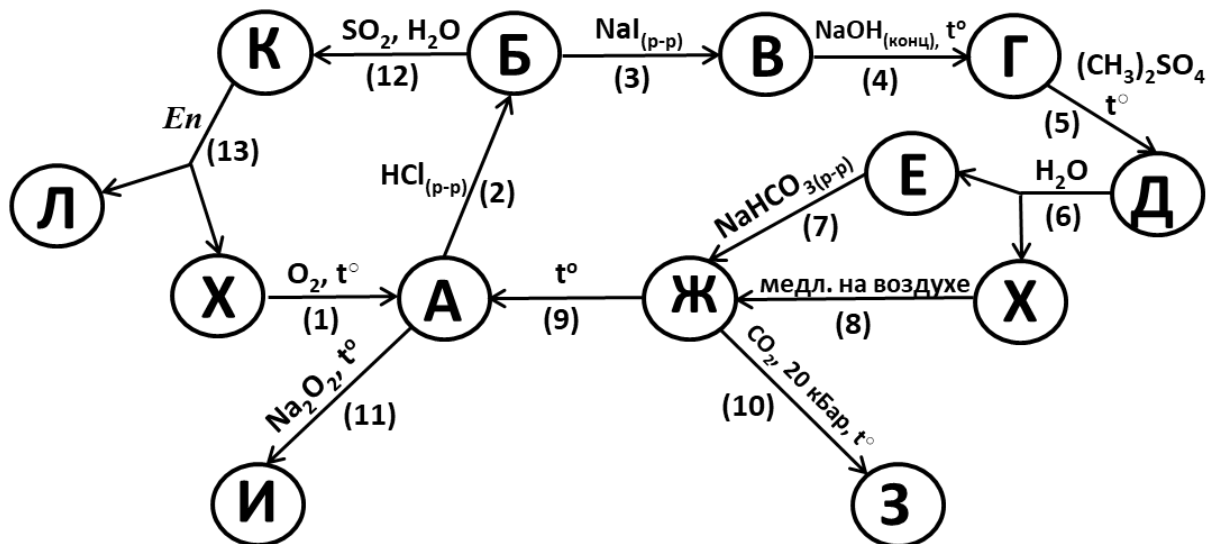
б) Сколько атомов металла содержится в одной гексагональной ячейке борида?

в) Рассчитайте параметр  $c$  ячейки борида **М**.

## Десятый класс

### Задача 10-1

На приведенной ниже схеме приведены превращения соединений А–Л, содержащих в своем составе элемент X.



### Дополнительная информация:

- X – простое вещество, образованное элементом X.
- En – этилендиамин.
- Вещества В, Г, Ж нерастворимы в воде. Их цвета приведены ниже.

В	Г	Ж
белый	кирпично-красный	зеленый

- Вещество Е в виде кристаллогидрата можно купить в садоводческом магазине.
- Потеря массы при переходе Ж → А составляет 28.05 %.
- Увеличение массы при переходе А → И составляет 49.02 %.
- Содержание элемента X в соединении Ж составляет 57.48 % по массе.

### **Вопросы:**

1. Установите элемент X и состав соединений А–Л.
2. Напишите уравнения реакций (1 – 13), приведенных на схеме.
3. При взаимодействии раствора соединения Е с избытком раствора цианида калия выделяется бесцветный газ. Напишите уравнение этой реакции.



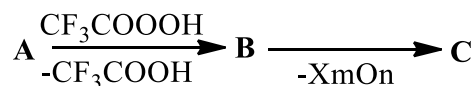
## Задача 10-2

*Чтоб не распалась связь времён*  
**«Молекулярный цветок»**

Красные кристаллы бинарного вещества **A** состоят из молекул, имеющих плоское строение и содержащих столько же атомов одного из элементов, сколько содержат молекулы его наиболее устойчивой при н.у. аллотропной модификаций. Молекула **A** напоминает раскрывшийся цветочный бутон, включает 9 циклов, а при повороте на угол  $45^\circ$  совмещается со своим исходным положением.

Навеску вещества **A** массой 6.72 г тщательно перемешали с избытком порошка алюминия и нагрели (*p-ция 1*), полученную твердую смесь перетерли в ступке, разделили на две равные части, которые подвергли испытаниям. Одну часть растворили в избытке соляной кислоты (*p-ции 2, 3 и 4*), вторую – в избытке раствора гидроксида натрия (*p-ции 5, 6 и 7*). В обоих случаях наблюдается выделение газа (5.376 л (н.у.) при обработке кислотой и 4.032 л (н.у.) при обработке щелочью) и образование прозрачного раствора.

Группа ученых, впервые синтезировавшая **A**, планировала получить новую аллотропную модификацию одного из элементов, входящих в его состав, по схеме:



Предполагалось, что при удалении элемента **X** из молекулы **B** ни одна из  $\sigma$ -связей между атомами интересовавшего авторов элемента не разорвется, а в получившейся аллотропной модификации все атомы будут равноценны.

1. Определите молекулярную формулу **A**, ответ подтвердите расчетом.
2. Напишите уравнения реакций, проведенных при определении состава **A**.
3. Вычислите взятую для опытов массу алюминия и его избыток в % от расчетного.
4. Изобразите структурные формулы **A**, **B** и **C**.

### Задача 10-3

– Шляпник, что же общего у ворона и письменного столика?

– Ни малейшего понятия

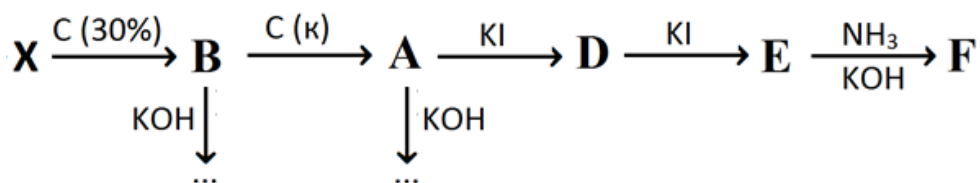
Л. Кэрролл («Алиса в стране чудес»)



Льюис Кэрролл, создавая образ своего Сумасшедшего шляпника, использовал описание нелепых поступков шляпников XIX века, для которых было характерно редкое заболевание, вызванное отравлением соединением **A**, которое использовалось для размягчения материи при изготовлении фетра. Интересно, что простое вещество, образованное элементом **X**, входящим в состав **A**, в древности считалось важнейшим исходным веществом в операциях священного тайного искусства по изготовлению препаратов, продлевающих жизнь и именуемых «пилюлями бессмертия».

Соединение **B**, имеющее тот же элементный состав, что и **A**, получают действием 30%-й кислоты **C** на простое вещество **X** (*p-ция* 1), взятое в избытке. Действие на **B** раствора щелочи приводит к выпадению черного осадка (*p-ция* 2), а обработка раствором концентрированной кислоты **C** к образованию соединения **A** (*p-ция* 3). При взаимодействии **A** с KOH образуется осадок желтого цвета (*p-ция* 4). Обработка **A** раствором KI приводит сначала к выпадению осадка **D** (*p-ция* 5), а затем, при избытке иодида, осадок переводится в раствор соединения **E** (*p-ция* 6). **E** – широко известный качественный реагент на аммиак и соли аммония. При реакции **E** с щелочным раствором аммиака выпадает бурый осадок **F** ( $\omega(\text{N})=2.5\%$ ) (*p-ция* 7).

Ниже приведена схема описанных выше превращений элемента **X**:



1. Определите неизвестные вещества **X**, **A** – **F**. Напишите уравнения описанных реакций (1 – 7). Учтите, что соединение **B** диамагнитно\*.

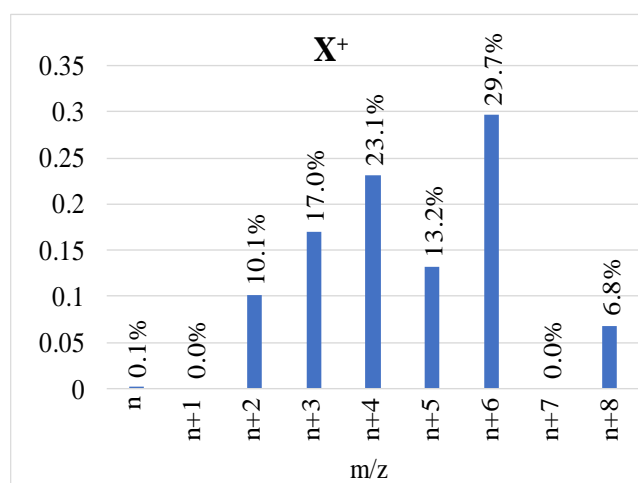
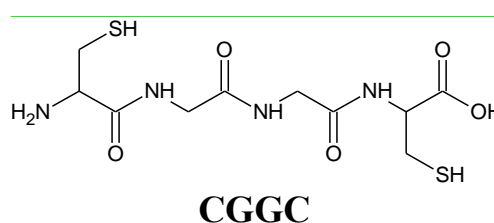
2. Как можно провести обратные превращения из **A** в **B**, а затем в **X**? Приведите уравнения химических реакций.

Если в *p*-циии **5** использовать  $KBr$ , то полученное вещество **G** при нагревании со стехиометрическим количеством красного фосфора и **X** в течение 12 суток при температуре  $300^{\circ}C$  в запаянной ампуле превращается в светло-желтый кристаллический порошок **H** ( $\omega(P)=4.47\%$ ), структурный аналог соединения **F**.

3. Определите вещества **G** и **H**.

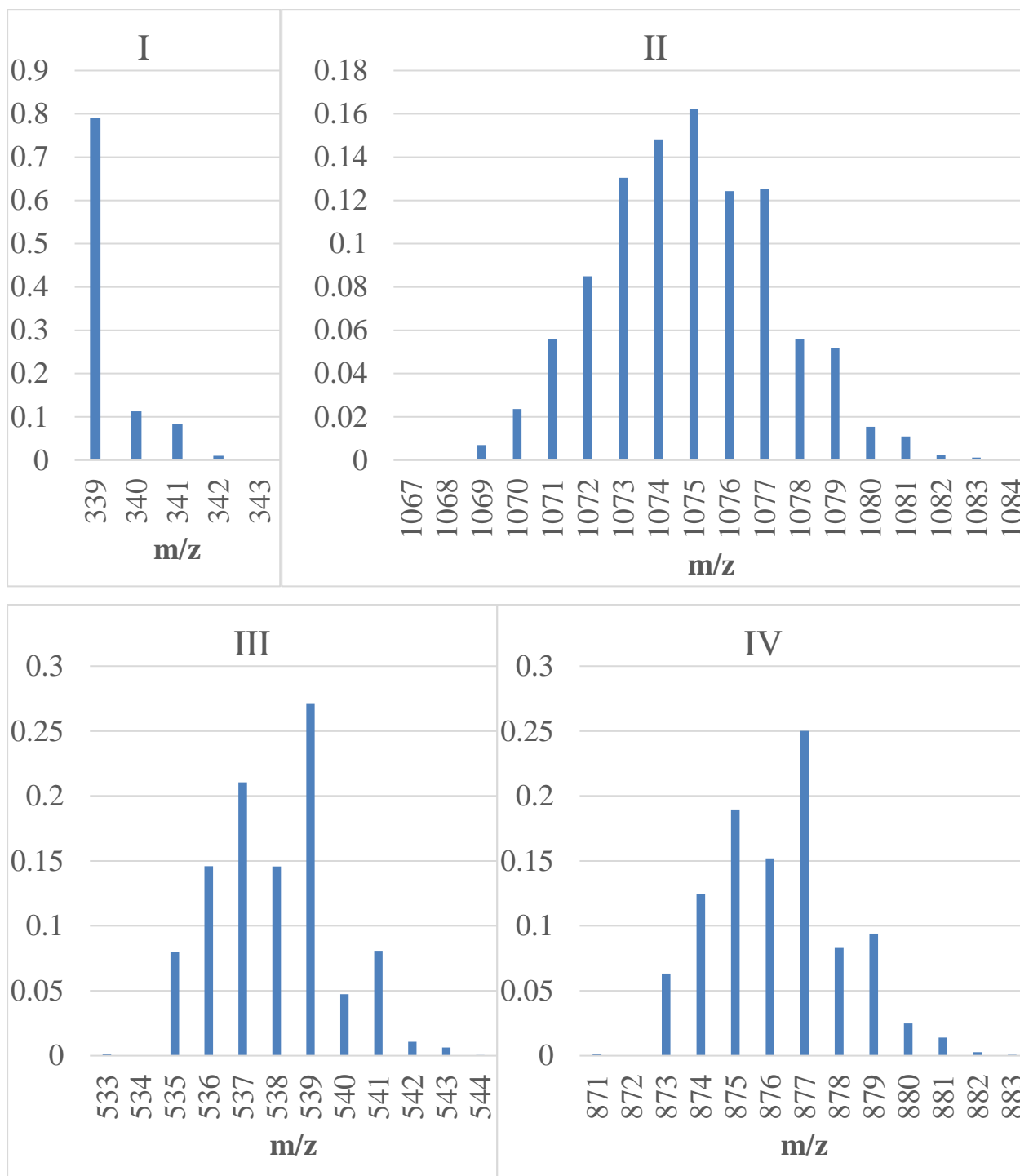
Соединения элемента **X** накапливаются в биосфере благодаря деятельности человека. Для изучения усвоения **X** растениями рассмотрена модельная система, состоящая из **A** и тетрапептида (**CGGC**).

В масс-спектре† исследуемого раствора присутствуют сигналы от нескольких однозарядных катионов. На рис. приведены участки масс-спектра, содержащие линии, относящиеся к отдельным ионам:



\* Диамагнитно, значит не содержит неспаренных электронов

† масс-спектрометрия – метод исследования вещества путем определения отношения массы к заряду ( $m/z$ ) и количества заряженных частиц, образующихся при том или ином процессе воздействия на вещество. По оси ординат на графиках отложены мольные доли частиц данного состава с соответствующими  $m/z$ .

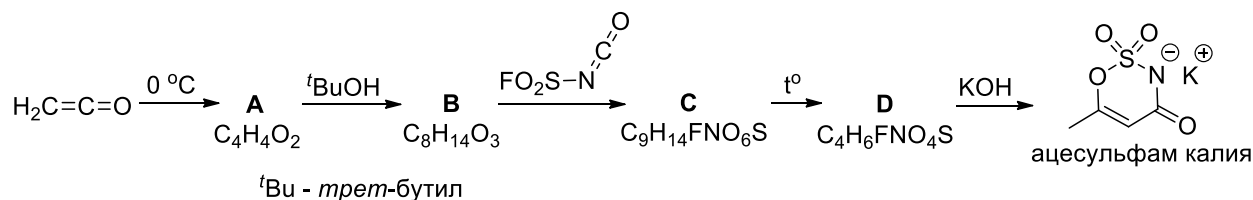


4. Определите массу самого легкого изотопа X, присутствующего в природной смеси изотопов. Чем обусловлено присутствие нескольких линий в спектре I? Установите состав катионов I – IV. Ответ обоснуйте.

**Задача 10-4**

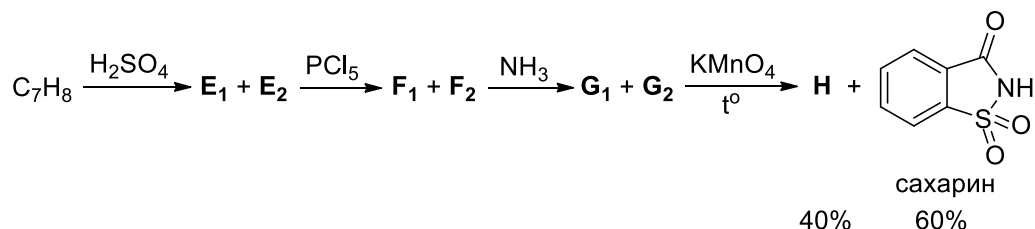
Проблема сахарного диабета II типа является одной из насущных, несмотря на наличие большого числа эффективных препаратов и разработку новых. Для того чтобы больные сахарным диабетом могли иногда порадовать себя

сладким, на прилавках аптек и супермаркетов стали появляться специальные продукты со сладким вкусом, не содержащие глюкозу. Один из подсластителей, используемых в таких продуктах (**E950** или *ацесульфам калия*), был впервые описан Карлом Клаусом в 1967 году:



### 1. Расшифруйте структуры соединений **A – D**.

Еще раньше, в далеком 1879 году, уроженец города Тамбов, немецкий химик Фальберг получил из толуола имид *орто*-сульфобензойной кислоты, у которого неожиданно обнаружился сладкий вкус. Вещество назвали *сахарином*. Это был первый синтетический подсластитель. Несмотря на то, что это вещество в 500 раз слаще сахара, оно не усваивается организмом, не имеет пищевой ценности и не может превратиться в жир. Сегодня это самый применяемый подсластитель, он разрешён и используется в 90 странах мира, в том числе и в России. Единственный недостаток сахарина – неприятный металлический привкус. Синтез сахарина осуществляется по следующей схеме:



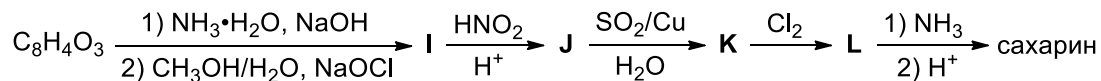
### 2. Расшифруйте структуры соединений **E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>** и **H**.

В приведенной выше методике синтеза получалась смесь продуктов, и в 1891 году Фальберг ввел дополнительную стадию очистки, основанную на разнице в растворимости сахарина и вещества **H** при определенном значении pH.

3. Укажите функциональные группы в сахарине и веществе **H**, которые обуславливают разницу в растворимости.

В 1950-х годах О. Сенн и Г. Ф. Шлаудекер разработали альтернативный подход для синтеза сахарина из фталевого ангидрида. Этот процесс был

адаптирован для коммерческого применения в середине 1950-х годов компанией Maumee Chemical Company из Толедо (Огайо, США). У него есть главное преимущество – отсутствие необходимости дорогостоящего разделения продуктов.



4. Расшифруйте структуры соединений I – L.

### Задача 10-5

#### *Сгорание равновесной смеси*

При сгорании 1 моль смеси, содержащей этилен и водород, выделилось 848.5 кДж теплоты. В другом опыте в то же количество смеси внесли катализатор гидрирования, выдержали достаточное для установления равновесия время и сожгли образовавшуюся смесь. При этом выделилось 793.3 кДж теплоты. Измерения проводили при общем давлении 1 бар, все теплоты приведены к стандартным условиям.

1. Установите состав исходной и конечной смесей (в мольных процентах).
2. Запишите выражение для константы равновесия реакции гидрирования через парциальные давления газов и рассчитайте её.
3. В какую сторону сместится равновесие реакции гидрирования при повышении температуры? Ответ обоснуйте с помощью расчёта.

При сгорании 1 моль другой смеси, которая может содержать этан, этилен и водород, выделилось 1417.7 кДж теплоты. После выдерживания смеси над катализатором теплота сгорания повысилась до 1428.0 кДж. Температура и давление были такими же, как и в первом опыте.

4. В прямом или в обратном направлении идёт реакция гидрирования в этом случае? Ответ обоснуйте.
5. Установите состав исходной и конечной смесей (в мольных процентах).

#### **Дополнительная информация**

Стандартные теплоты сгорания веществ:  $Q_{\text{сгор.}}(\text{C}_2\text{H}_4) = 1411$  кДж/моль;  $Q_{\text{сгор.}}(\text{C}_2\text{H}_6) = 1560$  кДж/моль;  $Q_{\text{сгор.}}(\text{H}_2) = 286.0$  кДж/моль

## Одиннадцатый класс

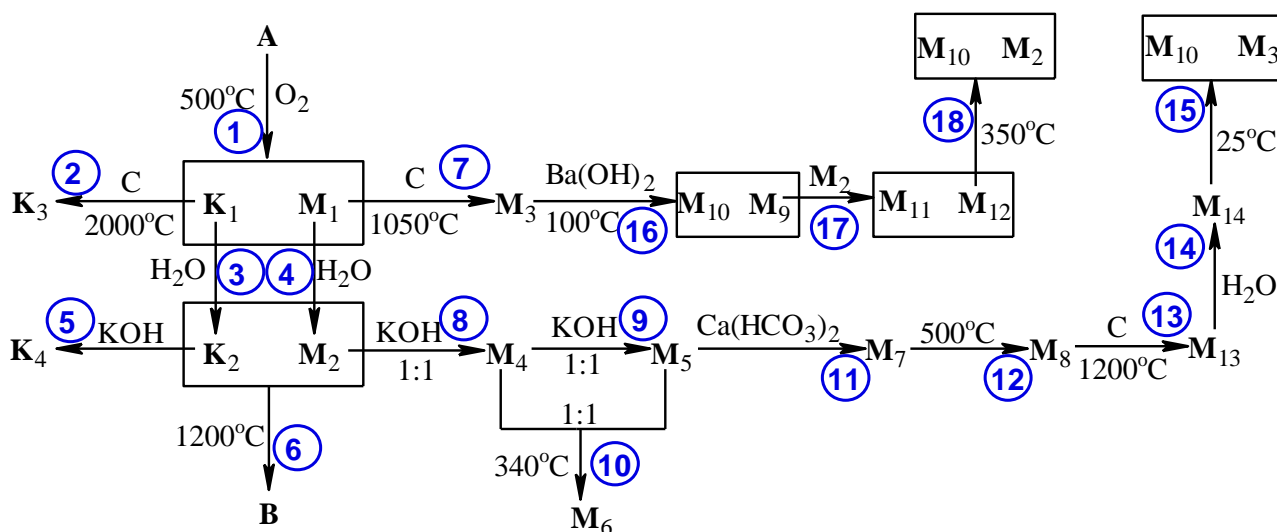
### Задача 11-1

Посвящается 150-летию открытия Периодической Системы

### «Импортозамещение»

В представленной задаче все без исключения символы химических элементов можно набрать в русской раскладке клавиатуры, для этого в некоторых популярных реакциях нам потребовалось заменить привычные реагенты на аналогичные.

На схеме вещества  $K_n$  (в честь Кирилла<sup>‡</sup>) содержат элемент 1, вещества  $M_m$  (в честь Мефодия) элемент 2. Соединения **A** и **B** содержат одновременно оба эти элемента:



- Вещество **A** изоструктурно<sup>§</sup> сфалериту (сульфиду цинка), а **B** изоструктурно кварцу (оксиду кремния)

- Обжиг вещества **A** (содержит 25.9% элемента 1<sup>\*\*</sup>) в токе кислорода приводит к газообразному при  $500^\circ C$  продукту  $M_1$  и жидкому в этих условиях  $K_1$ . Оба продукта взаимодействуют с углеродом при нагревании, образуя вещество

<sup>‡</sup> Кирилл и Мефодий – создатели славянской азбуки;

<sup>§</sup> Кристаллические вещества называют изоструктурными, если они имеют одинаковую кристаллическую структуру;

<sup>\*\*</sup> Здесь и далее в задаче приведены массовые доли элементов.

$K_3$  (78.3% элемента 1), используемое для изготовления сверхпрочных нитей и  $M_3$ , широко используемое в химической промышленности. Кипячение веществ  $K_1$  и  $M_1$  с водой приводит к кислотам  $K_2$  и  $M_2$ , соответственно. Для синтеза  $B$  (10.2% элемента 1 и 29.3% элемента 2) готовят эквимолярный раствор  $K_2$  и  $M_2$ , упаривают его и прокалывают остаток. Кислоты  $K_2$  и  $M_2$  реагируют с водным раствором  $KOH$ , давая  $K_4$  и  $M_4$ , соответственно.

-  $M_{13}$  образуется из  $M_8$  в качестве единственного твердого продукта реакции.

**Вопросы:**

1. Определите элементы 1 и 2 на основании информации, приведенной в условии.
2. Запишите уравнения всех реакций, представленных на схеме.
3. В ходе «импортозамещения» в двух превращениях пришлось заменить обычно используемые для их осуществления реагенты на другие. Укажите хотя бы один из этих реагентов.

**Задача 11-2**

***Мир полон красок***

Сложно представить себе мир без красок и цветов. Так же и в химии: цвет – неотъемлемая характеристика вещества, а по его изменению можно судить о протекании химических реакций. Восприятие цвета зависит от длины волны электромагнитного излучения, которое попадает в наш глаз. Так, человек способен воспринимать излучение с длиной волны около 380–780 нм, называемое видимым, многие насекомые и птицы видят излучение в ультрафиолетовом диапазоне, а, например, змеи и комары – в инфракрасном.

1. Какие цвета видимого излучения соответствуют следующим диапазонам длин волн? Каким диапазонам соответствует УФ и ИК излучение?

380	440	485	500	565	590	625	780	$\lambda$ , нм

Химии известны вещества всех цветов видимого излучения во



всевозможных агрегатных состояниях. Так, соединения Г1–Г7 являются газами при стандартных условиях, имеющими различные цвета.

Вещество Г1 – газ *красно-бурого* цвета, реакция его образования из бесцветного газа А и паров *красно-бурой* жидкости В является одним из немногих примеров реакции третьего порядка в газовой фазе. При его растворении в холодной воде получается смесь слабой и сильной кислот – С и D, соответственно.

2. Определите вещества А–D и приведите структурную формулу Г1. Напишите уравнения реакций его получения и взаимодействия с водой.

Бинарные газы Г2 (*оранжево-жёлтый*) и Г3 (*жёлтый*) имеют одинаковый качественный состав и одинаковое суммарное число атомов в молекулах. Примером *зелёно-жёлтого* газа является Г4, плотность которого больше Г3, но меньше Г2. Получить данные вещества можно при электролизе раствора соли Е, широко используемой в быту, по следующей схеме.



3. Определите вещества Е–F и приведите структурные формулы веществ Г2, Г3 и Г4. Напишите уравнения приведённых на схеме реакций.

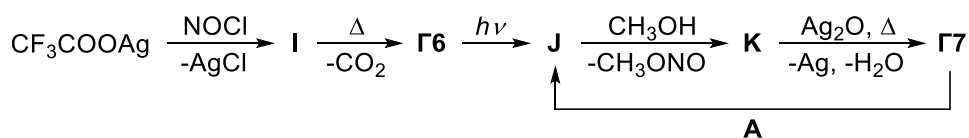
4. Г3 синтезируется в промышленных масштабах. Для чего его используют?

Название *голубого* газа Г5 произошло от греческого «чувствую запах», который Д. И. Менделеев сравнил с «запахом раков». Впервые этот газ был обнаружен при пропускании через воздух электрического разряда, в связи с чем его называли «электрической материей». Г5 – сильный окислитель, со щелочными металлами он образует солеобразные соединения. Например, при пропускании Г5 над КОН образуется G, простое вещество Н и вода.

5. О каком веществе Г5 идёт речь? Приведите его структурную формулу и упомянутую реакцию образования.

6. Определите вещества **Г** и **Н** и напишите уравнение реакции **Г5** с **КОН**, расставив коэффициенты методом электронного баланса (примите, что молекул **Н** образуется столько же, сколько вступило в реакцию **Г5**).

Наконец, *синий* газ **Г6** и *фиолетовый* газ **Г7**, можно получить по следующей схеме, где **К** – производное гидроксиламина, а относительная плотность **Г7** по **Г6** составляет 1.697.

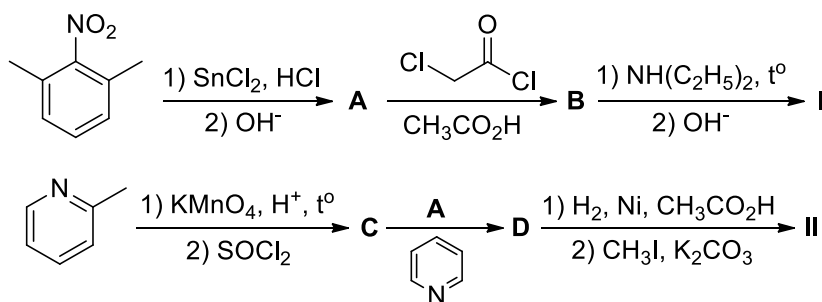


7. Приведите структурные формулы веществ **I–К**, **Г6** и **Г7**.

### Задача 11-3

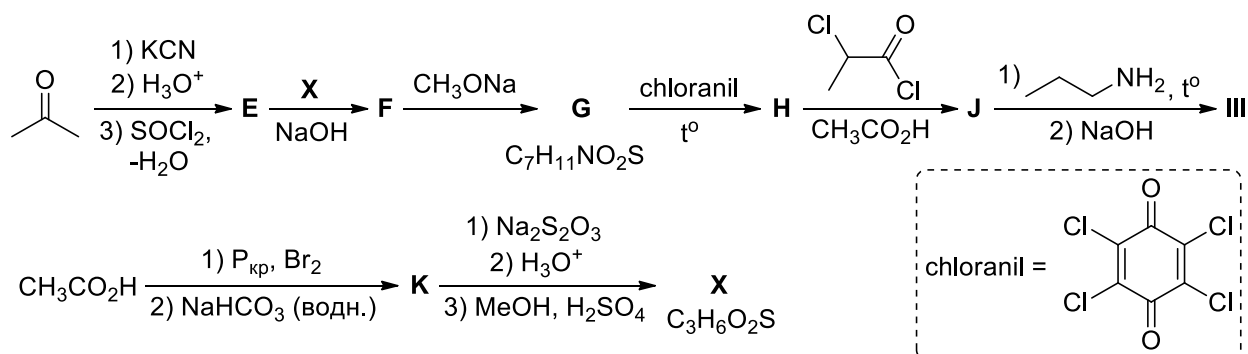
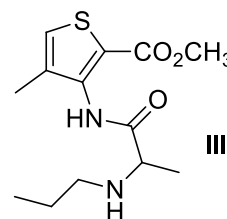
*“Это дается человеку трижды: первые два раза бесплатно, а за третий нужно заплатить”*  
Детская загадка

Наверное, каждому из нас доводилось лечить зубы. Сегодня вряд ли кто-то согласится делать это без обезболивания. В стоматологии для снятия боли у пациента, как правило, используется местная анестезия. Одним из первых препаратов, пришедших на замену применяемым с 1898 года психотропным веществам, был Новокаин. Позднее стал использоваться Лидокаин (гидрохлорид вещества **I**) – первый местный анестетик амидного ряда. Было доказано, что анестезирующее действие Лидокаина в несколько раз сильнее, чем Новокаина, и действует он дольше. Сегодня оба этих препарата применяются достаточно редко, в современных клиниках на их место пришел Скандонест (гидрохлорид вещества **II**), который оказался безопаснее своих предшественников и может использоваться даже для анестезии больных с гипертонией и детей. Ниже приведены схемы синтеза описанных препаратов.



1. Напишите структурные формулы соединений **A – D** и **I – II**, если известно, что **I** и **II** – родственные соединения, отличающиеся строением заместителя.

Однако одним из наиболее популярных и эффективных анестетиков на сегодняшний день является Ультракаин (гидрохлорид вещества **III**), который выпускается вместе с сосудосуживающим веществом – адреналином – и обладает пролонгированным действием анестезии.



2. Напишите структурные формулы соединений **E – K** и **X**.

3. Известно, что вещество **E** и продукт его метанолиза в присутствии серной кислоты **E'** находят широкое применение в промышленности. Приведите структурную формулу **E'** и поясните, как применяются указанные вещества.

4. Можно ли применять Ультракаин для анестезии больных с гипертонией?

### Задача 11-4

Соединения **X**, **Y** и **Z** имеют одинаковую брутто-формулу  $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}$ . В структуре каждого из этих соединений присутствует шестичленный углеродный цикл, при этом все они относятся к разным классам органических соединений. Эти соединения можно использовать для синтеза органических накопителей водорода – веществ, способных в определенных условиях количественно присоединять, а затем, при других условиях, – отщеплять водород.

Вещество **A** получают нагреванием **X** в присутствии кислотного катализатора. При нагревании **A** с палладием на активированном угле образуется продукт **A1**, который может реагировать с водородом в присутствии никеля Ренея,

превращаясь обратно в **A**.

Взаимодействие **X** и **Y** в присутствии сильного основания при низкой температуре с последующим подкислением ведет к образованию вещества **B0**, которое при кипячении превращается в **B1**. Нагревание **B1** в присутствии палладиевого катализатора приводит к образованию **B2**, а гидрирование **B2** – к образованию **B**.

Реакция между **Y** и **Z** в присутствии основания дает продукт **C0**, который в кислой среде легко превращается в **C**. Дегидрирование **C** приводит к образованию **C1** и также является обратимым.

Данные о некоторых из вышеупомянутых соединений приведены в таблице.

Соединение	<b>A</b>	<b>A1</b>	<b>B</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C</b>	<b>C1</b>
Брутто-формула	$C_{18}H_{24}$	$C_{18}H_{12}$	$C_{12}H_{20}O$	$C_{12}H_{18}O$	$C_{12}H_8O$	$C_{12}H_{20}O_2$	$C_{12}H_8O_2$
Число циклов	4	4	3	3	3	3	3

1. Напишите структурные формулы соединений **X**, **Y**, **Z**, **A**, **A1**, **B**, **B0**, **B1**, **B2**, **C**, **C0**, **C1**.

Один из критериев эффективности накопителя водорода – масса водорода, которую можно выделить из единицы массы накопителя.

2. Какое из веществ **A**, **B**, **C** наиболее эффективно с этой точки зрения, если считать дегидрирование полным и количественным?

3. Способно ли это вещество запасти больше водорода на единицу массы, чем баллоны со сжатым под давлением 15 МПа водородом объемом 40 л и массой 65 кг, и чем гидрид лития?

В реальности нагревание в присутствии палладиевого катализатора может приводить к равновесной смеси продуктов полного и частичного дегидрирования. Так, вещество **B** после длительного нагревания с катализатором при 150 °С превращается в равновесную жидкую смесь, содержащую 8 мольных % **B2**, 32% **B3** ( $C_{12}H_{12}O$ ) и 60% **B4** ( $C_{12}H_{16}O$ ). Считайте, что эта смесь ведет себя как идеальная.

4. Запишите структурные формулы соединений **B3** и **B4**.

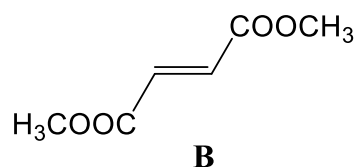
5. Рассчитайте реальное значение критерия эффективности накопления водорода в данной системе. Во сколько раз оно меньше, чем было рассчитано в п. 2?

6. За счет модернизации установки дегидрирования вещества **B** остаточное давление водорода над продуктами реакции удалось снизить в 2 раза. Во сколько раз возрастет эффективность вещества **B** как накопителя водорода по сравнению со значением из п.5?

### Задача 11-5

#### **Закон действующих масс для простой и сложной реакций**

При комнатной температуре циклопентадиен (обозначим А) необратимо реагирует с диметилфумаратом (В) в этилацетате.



1. Изобразите структуру продукта присоединения АВ.

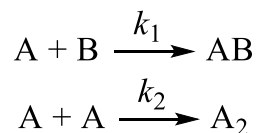
Кинетика реакции изучалась хроматографически при равных начальных концентрациях реагентов. В таблице 1 приведена зависимость концентрации продукта АВ от времени.

Таблица 1

$t$ , мин	0	20	40	$\infty$
$c(AB)$ , М	0	0.111	0.171	0.370

2. Определите общий порядок реакции и константу скорости  $k_1$ . Известно, что порядок может быть целым или полуцелым.

При более высокой температуре наряду с присоединением параллельно происходит димеризация диена с константой скорости  $k_2$ .



Димеризация имеет тот же общий порядок, что и реакция присоединения. В таблице 2 приведены значения суммарной скорости расходования реагента А в двух реакциях в разные моменты времени.

Таблица 2

$t$ , мин	Суммарная скорость расходования А, $r_A$ , М / мин	$c(A)$ , М	$c(B)$ , М	$c(AB)$ , М	$c(A_2)$ , М
0	0.263	0.370	0.370	0	0
3	0.0296	0.102	0.267		

3. Заполните пустые места в таблице и найдите значения констант скорости  $k_1$  и  $k_2$  (не забудьте про размерности).

4. Суммарную скорость расходования диена можно выразить с помощью эмпирического закона действующих масс:

$$r_A = k_{\text{эмп}} (c(A))^x$$

Используя данные таблицы 2, определите эмпирический порядок  $x$  по диену А в первые 3 минуты реакции. Если не сможете рассчитать порядок, предскажите его возможные границы.

Димеризация диена может приводить к двум стереоизомерам – *экзо*- и *эндо*-. При комнатной температуре образуется только *эндо*-изомер, а при 200 °С образуется смесь продуктов в соотношении *эндо* : *экзо* = 1 : 3.

5. В каком из двух направлений реакции выше энергия активации? Какой из изомеров имеет меньшую стандартную энергию Гиббса и на сколько?

### ***Дополнительная информация***

Зависимость концентрации реагента от времени в реакции  $n$ -го порядка:

$$kt = \frac{1}{n-1} \left( \frac{1}{c^{n-1}} - \frac{1}{c_0^{n-1}} \right) \text{ для } n \neq 1,$$

$$kt = \ln \frac{c_0}{c} \text{ для } n = 1.$$

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K$$