

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет  
имени академика И. П. Павлова»  
Министерство здравоохранения РФ  
Кафедра общей и биорганической химии

**ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ ПСПБГМУ ИМ.  
И. П. ПАВЛОВА (2021/2022 УЧЕБНЫЙ ГОД)**

Учебно-методическое пособие

**Санкт-Петербург  
РИЦ ПСПБГМУ  
2023**

Составители: С. В. Агеев, Е. О. Калинин, А. Н. Лёвкин, М. Ю. Матузенко, А. В. Петров, Е. А. Попова, А. В. Протас, А. А. Проявкин, К. Н. Семёнов (ответственный редактор), А. А. Слободов, О. В. Стефанова, В. Д. Хрипун, Н. А. Чарыков, В. В. Шаройко, Г. О. Юрьев

Рецензент: к. х. н., доцент, доцент кафедры общей и неорганической химии Института химии СПбГУ М. Ю. Скрипкин.

Пособие утверждено на заседании Цикловой методической комиссии физиолого-химических дисциплин. Протокол № 6 от 06.03.2023 года.

**Олимпиада школьников по химии ПСПбГМУ им. И. П. Павлова (2021/2022 учебный год): учеб.-метод. пособие / под ред. К. Н. Семёнова — СПб.: РИЦ ПСПбГМУ, 2023. — 65 с.**

Данное пособие посвящено разбору заданий отборочного и заключительного этапов Олимпиады школьников по химии ПСПбГМУ им. И. П. Павлова (2021/2022 учебный год). К каждому заданию обоих этапов даны условие и полный разбор с указанием баллов.

Издание предназначено для школьников при подготовке к Олимпиаде школьников по химии ПСПбГМУ им. И. П. Павлова.

ISBN

© РИЦ ПСПбГМУ, 2023

## **Оглавление**

ВВЕДЕНИЕ.....	4
УСЛОВИЯ ЗАДАНИЙ.....	10
Отборочный этап.....	10
8-й класс.....	10
9-й класс.....	13
10-й класс.....	16
11-й класс.....	20
Заключительный этап.....	23
8-й класс.....	23
9-й класс.....	25
10-й класс.....	27
11-й класс.....	31
РЕШЕНИЯ ЗАДАНИЙ.....	34
Отборочный этап.....	34
8-й класс.....	34
9-й класс.....	37
10-й класс.....	40
11-й класс.....	43
Заключительный этап.....	49
8-й класс.....	49
9-й класс.....	54
10-й класс.....	58
11-й класс.....	61
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	65

## ВВЕДЕНИЕ

Фундаментом успешного развития любой науки является работа с одарёнными школьниками и молодыми исследователями. Работа с талантливой молодёжью в Университете включает проведение различных мероприятий: научных и научно-популярных лекций от ведущих российских и зарубежных учёных («Лаборатория биомедицинского материаловедения: новые принципы создания «умных лекарств»», «Углеродные наноструктуры: построй свой собственный наномир», «Химические элементы биосферы» и др.), мастер-классов по подготовке к ЕГЭ, экскурсий по музеям Университета, конференций для школьников, Олимпиады. Университет активно участвует в организации и проведении различных всероссийских и международных акций и профориентационных мероприятий («Ночь музеев», «В музей сегодня — в науку завтра!», «Химическая лабораторная»).

Основной целью Олимпиады по химии ПСПбГМУ им. И. П. Павлова является поддержка школьников, глубоко интересующихся химией, а также их мотивация к дальнейшему изучению естественных наук. Олимпиадные задания имеют высокую степень оригинальности и охватывают все разделы школьного курса химии, включая цепочки химических превращений, расчётные задания, задания на установления соответствий. Для подготовки олимпиадных заданий привлекаются ведущие школьные учителя и преподаватели профильных высших учебных заведений.

Организационный комитет Олимпиады включает ведущих учёных из крупнейших вузов и научно-исследовательских центров России и зарубежья. В 2021–2022 учебном году в состав Оргкомитета входят д. м. н., академик РАН Ю. С. Полушин (проректор по научной работе Университета), д. м. н., профессор А. И. Ярёмченко (проректор по учебной работе Университета), д. х. н., профессор И. В. Мурин (заведующий кафедрой химии твёрдого тела Института химии СПбГУ), д. х. н., член-корреспондент РАН В. В. Гусаров (заведующий лабораторией новых неорганических материалов ФТИ им. А. Ф. Иоффе), д. х. н., академик РАН В. Л. Столярова (профессор кафедры общей и неорганической химии Института химии СПбГУ), д. х. н., профессор А. В. Гарабаджиу (проректор по научной работе СПбГТИ(ТУ)), д. х. н., профессор А. М. Тойкка (заведующий кафедрой химической термодинамики и кинетики Института химии СПбГУ), д. х. н., профессор В. А. Островский (профессор кафедры химии и технологии органических соединений азота СПбГТИ(ТУ)), д. м. н., профессор Т. Д. Власов (декан лечебного факультета Университета), PhD Д. А. Нерух (профессор кафедры математики Астонского университета (Соединённое Королевство)), PhD О. В. Преждо (профессор Университета Южной Калифорнии (США)), д. х. н., член-корреспондент НАН

Беларуси А. И. Иванец (министр образования Республики Беларусь), д. м. н. Л. В. Васина (заведующий кафедрой биологической химии Университета), д. х. н. К. Н. Семёнов (заведующий кафедрой общей и биоорганической химии, заведующий лабораторией биомедицинского материаловедения Университета), д. х. н., доцент О. В. Альмяшева (заведующий кафедрой физической химии СПбГЭТУ «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)), Я. О. Баськова и А. В. Завьялов (обучающиеся второго курса лечебного факультета Университета). В состав Оргкомитета входит представитель органов государственной власти Российской Федерации И. Ю. Ганус (первый заместитель председателя комитета по науке и высшей школе Санкт-Петербурга). Председателем Оргкомитета является выдающийся учёный и врач, ректор Университета, д. м. н., академик РАН С. Ф. Багненко.

Председателем Методической комиссии является д. б. н., доктор медицины, профессор кафедры общей и биоорганической химии Университета В. В. Шаройко. В состав Методической комиссии входят ведущие преподаватели вузов Санкт-Петербурга (Институт химии СПбГУ, СПбГТИ(ТУ), РГПУ им. А. И. Герцена) и сотрудники кафедры общей и биоорганической химии Университета. Председателем Жюри является д. х. н., профессор кафедры общей и биоорганической химии Университета Е. А. Попова.

Организатором Олимпиады по химии является одна из старейших кафедр Университета — кафедра общей и биоорганической химии, основанная в 1897 году. История развития химической науки в Университете неразрывно связана с именами таких выдающихся российских учёных как В. Е. Тищенко, Ю. С. Залькинд, А. А. Гринберг, К. П. Мищенко и др.

С 1900 по 1915 годы кафедрой заведовал академик АН СССР В. Е. Тищенко. Среди наиболее значимых научных достижений В. Е. Тищенко следует отметить определение химической природы различных сортов нефти; создание рецептуры лабораторных стёкол; изобретение посуды для промывки, осушения и поглощения газов («склянка Тищенко»); разработку способа получения камфоры. Кроме того, академик В. Е. Тищенко является первым биографом Д. И. Менделеева («Д. И. Менделеев, его жизнь и деятельность»).

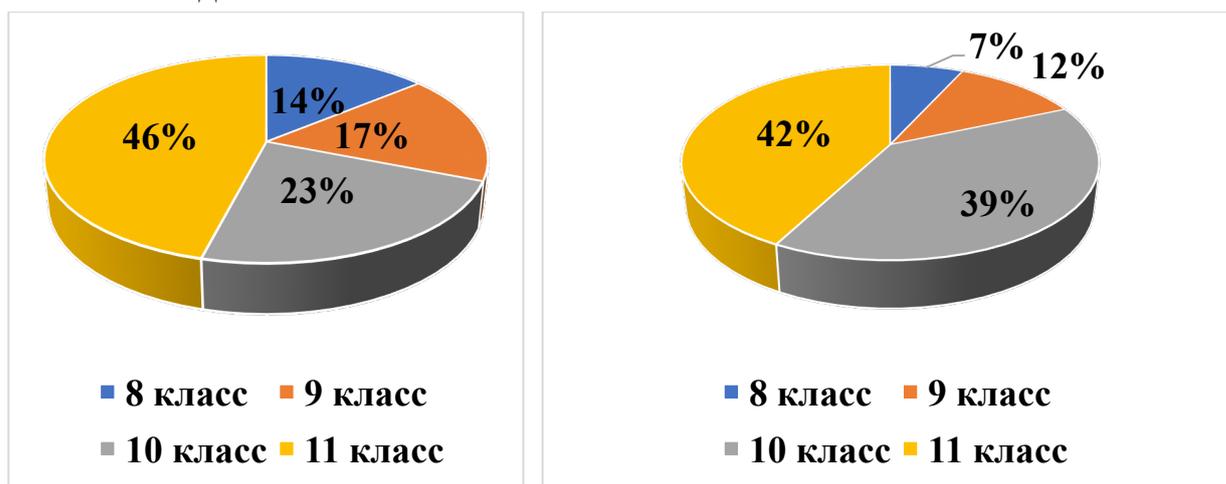
С 1923 по 1933 годы к руководству кафедрой неорганической химии был привлечён профессор Ю. С. Залькинд, специалист в области органической химии. Среди научных направлений Ю. С. Залькинда можно выделить следующее: исследования в области каталитического гидрирования ацетиленовых производных; изучение магнийорганических соединений; работы в области синтеза различных пластификаторов и пластмасс и др.

В период с 1933 по 1946 годы кафедрой руководил выдающийся химик, профессор А. А. Гринберг, автор большого числа научных работ и монографий, член-корреспондент, а впоследствии академик АН СССР. Научные работы А. А. Гринберга прежде всего были связаны с синтезом и изучением комплексных соединений. А. А. Гринберг исследовал строение и стереохимию комплексных соединений платины, в частности, предложил новый метод определения строения геометрических изомеров (метод Гринберга), изучил кислотно-основные и окислительно-восстановительные свойства комплексных соединений в растворах; применил метод меченых атомов для изучения строения и свойств комплексных соединений. Кроме того, академик А. А. Гринберг исследовал комплексные соединения урана, тория и других элементов. В 1925 году А. А. Гринберг был удостоен премии имени А. М. Бутлерова, в 1941 году — премии имени Л. В. Писаржевского, в 1946 году — Государственной премии СССР.

В 1942 году кафедрой заведовал профессор К. П. Мищенко, заслуженный деятель науки РСФСР, крупнейший специалист в области термодинамики и строения водных и неводных растворов.

В 2021–2022 учебном году в отборочном этапе Олимпиаде приняло участие 582 человека из 72 регионов России и пяти иностранных государств (Казахстана, Беларуси, Туркменистана, Узбекистана и Таджикистана).

Участниками Олимпиады стали учащиеся 8–11 классов, при этом процент участников из невыпускных классов составил 37 % для отборочного этапа и 46 % для заключительного.



Распределение участников отборочного (слева) и заключительного (справа) этапов Олимпиады по классам.

В заключительный этап Олимпиады прошли 217 человек (37.3 %). Победителями Олимпиады (диплом I степени) стали 11 человек, призёрами — 26 человек, из них дипломом II степени были награждены 7 человек, III степени — 19 человек. Стоит отметить, что победителями и призёрами

Олимпиады стали учащиеся из различных регионов России: Санкт-Петербурга, Оренбургской, Самарской, Вологодской, Калининградской, Свердловской, Новосибирской, Челябинской областей, Чувашии, Татарстана, Пермского, Ставропольского краёв, Ханты-Мансийского автономного округа. Членами жюри были отмечены высокий уровень работ и мотивация участников к решению заданий повышенной сложности, большая часть которых носила междисциплинарный характер. Участники Олимпиады продемонстрировали не только знание формул и понимание основных закономерностей протекания химических процессов, но и умение логически и творчески мыслить и активно привлекать для решения задач знания из смежных областей: физики, биологии, математики.

### **Критерии определения победителей и призёров**

#### ***Отборочный этап***

Победителями отборочного этапа Олимпиады школьников по химии признаются участники, набравшие 70 баллов и более из 100 возможных, но не более первых 8 % мест в рейтинговом списке участников. Призёрами отборочного этапа признаются участники, набравшие 30 баллов и более. Общее количество победителей и призёров отборочного этапа олимпиады не превышало 45 % от общего фактического числа участников этапа олимпиады.

#### ***Заключительный этап***

Победителями Олимпиады признаются участники, набравшие 80 и более баллов из 100 возможных. При этом количество победителей не превышало 8 % от общего числа участников заключительного этапа Олимпиады. Призёрами Олимпиады признаются участники, набравшие 50 баллов и более. Второе место присуждалось участникам, набравшим от 50 до 64 баллов; третье место — от 65 до 79 баллов. При этом совокупное количество победителей и призёров заключительного этапа Олимпиады не превышало 25 % от общего числа участников заключительного этапа Олимпиады.

### **Победители и призёры Олимпиады школьников по химии (2021–2022 учебный год)**

#### ***8 класс***

1. Балтрушевич Елизавета Олеговна (Челябинская область) — диплом III степени.
2. Карпова Наталья Сергеевна (Чувашская республика) — диплом III степени.
3. Молчанов Вячеслав Андреевич (Вологодская область) — диплом I степени.

### ***9 класс***

1. Агафонова Дарья Александровна (г. Санкт-Петербург) — диплом I степени.
2. Баринов Алексей Владимирович (Калининградская область) — диплом II степени.
3. Цемина Анна Александровна (Белгородская область) — диплом III степени.
4. Юрьева София Юрьевна (Новосибирская область) — диплом I степени.

### ***10 класс***

1. Баранова Мария Александровна (г. Санкт-Петербург) — диплом II степени.
2. Богословский Кирилл Александрович (ХМАО — Югра) — диплом II степени.
3. Булгаков Георгий Владимирович (ХМАО — Югра) — диплом III степени.
4. Власова Ирина Павловна (г. Санкт-Петербург) — диплом III степени.
5. Гордеева Ксения Сергеевна (Чувашская республика) — диплом II степени.
6. Дегтярёва Яна Алексеевна (Оренбургская область) — диплом III степени.
7. Зейналова Софья Рашидовна (Республика Татарстан) — диплом III степени.
8. Кожушко Анастасия Станиславовна (Оренбургская область) — диплом I степени.
9. Михайловская Людмила Игоревна (г. Санкт-Петербург) — диплом I степени.
10. Молдованов Денис Денисович (Оренбургская область) — диплом I степени.
11. Назарова Александра Владимировна (Ленинградская область) — диплом II степени.
12. Новикова Эльвира Вадимовна (Калининградская область) — диплом I степени.
13. Рыбина Валерия Владимировна (Нижегородская область) — диплом III степени.
14. Соловьева Дарья Михайловна (г. Санкт-Петербург) — диплом II степени.
15. Толкачева Софья Александровна (Самарская область) — диплом I степени.
16. Чистякова Екатерина Андреевна (г. Санкт-Петербург) — диплом I степени.
17. Шпытева Любовь Владимировна (Нижегородская область) — диплом I степени.
18. Яранцева Екатерина Александровна (г. Санкт-Петербург) — диплом I степени.

### ***11 класс***

1. Варшавский Филипп (г. Санкт-Петербург) — диплом III степени.

2. Владыкина Анна Александровна (Красноярский край) — диплом III степени.
3. Габуров Ярослав Иванович (Калининградская область) — диплом III степени.
4. Галеева Аэлита Амировна (г. Санкт-Петербург) — диплом III степени.
5. Горгеч Кристина (г. Алматы, Республика Казахстан) — диплом III степени.
6. Гребенюк Ксения Александровна (г. Санкт-Петербург) — диплом III степени.
7. Королёв Авенир Сергеевич (Ставропольский край) — диплом III степени.
8. Новикова Софья Константиновна (Свердловская область) — диплом II степени.
9. Романова Елизавета Андреевна (Тульская область) — диплом III степени.
10. Угольников Мария Сергеевна (Пермский край) — диплом III степени.
11. Усова Полина Егоровна (г. Алматы, Республика Казахстан) — диплом III степени.
12. Эстерман Кирилл Леонидович (г. Санкт-Петербург) — диплом III степени.



Победители и призёры заключительного этапа Олимпиады школьников по химии (фотография сделана на церемонии награждения 26 марта 2022 года в ПСПбГМУ им. И. П. Павлова).

## УСЛОВИЯ ЗАДАНИЙ

### Отборочный этап

#### 8-й класс

#### Задача 1.

Дана головоломка, которую можно читать как прямо, так и «змейкой»:

Р	Г	Р	А	Д	О	Р	О
А	Л	Ю	М	И	Н	И	Д
К	В	А	Д	Н	Т	Й	О
Н	О	З	О	Н	И	О	В
О	Д	О	Р	А	Ф	Р	О
А	Р	Е	Г	С	С	Е	Р

1. Найдите в головоломке названия простых и сложных веществ. Буквы одного названия должны соприкасаться друг с другом хотя бы одной стороной (нельзя строить слова по диагонали).
2. Запишите возможные уравнения реакций, которые могут происходить между этими веществами.

#### Задача 2.

Рассчитайте плотность воздуха при его относительной влажности 80 %,  $t^\circ = 27^\circ\text{C}$  и давлении  $P = 1$  атм, если давление насыщенного пара воды при  $27^\circ\text{C}$  равно 26,7 мм рт. ст. Считайте воздух состоящим из трёх основных компонентов.

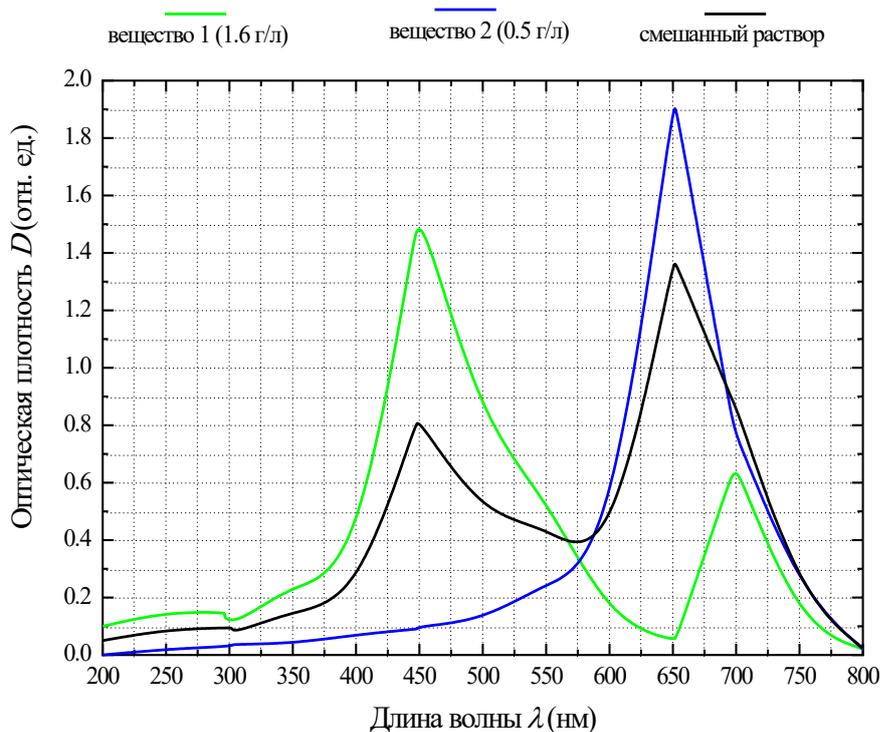
#### Задача 3.

Имеются два электронных спектра индивидуальных веществ А и В с известной концентрацией, приведённые на рисунке. Также имеется спектр смешанного раствора этих веществ в том же растворителе. Используя основной закон светопоглощения Бугера — Ламберта — Бера, определите концентрации веществ в смешанном растворе. Ширину кюветы (длину светового пути для всех спектров) принять равной 1 см. Компоненты молекулярной смеси поглощают свет независимо друг от друга.

**Примечание.** Основной закон светопоглощения связывает оптическую плотность раствора и концентрацию вещества:

$$D = \varepsilon cl,$$

где  $D$  — оптическая плотность,  $\varepsilon$  — массовая экстинкция вещества ( $10^3 \text{ см}^2/\text{г}$ )  
 $c$  — концентрация вещества (г/л),  $l$  — длина оптического пути (см).

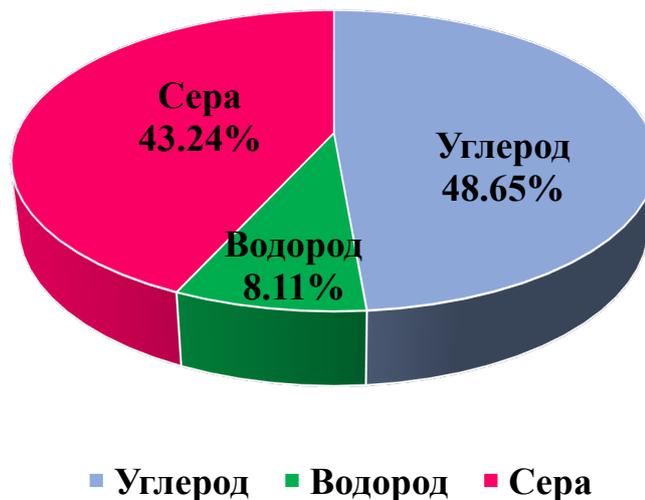


#### Задача 4.

В создании неприятного запаха нарезанного чеснока участвует определённый класс веществ. Нож разрушает клетки, из вакуолей освобождается фермент аллиаза и превращает вещество аллиин, находящееся в цитоплазме, в аллицин. Последний затем претерпевает превращения, образуя четыре пахучих вещества, одно из которых — аллилмеркаптан. Это соединение придаёт чесноку не только сильный запах, но и бактерицидные свойства. Проникая через мембрану бактериальных клеток, оно изменяет структуру белков, содержащих SH-группу, и, таким образом, нарушает работу клеток.

1. Определите простейшую формулу аллилмеркаптана на основании представленных на диаграмме данных о массовых долях элементов.

## Массовый состав аллилмеркаптана

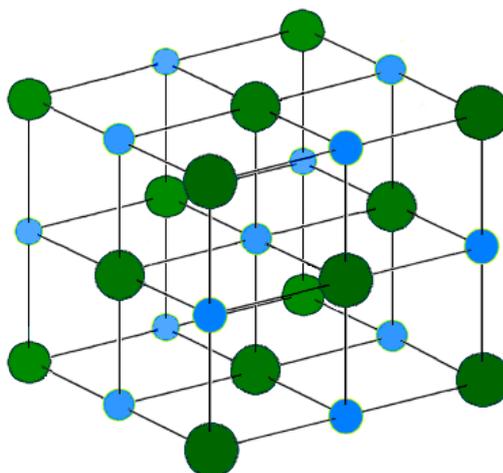


2. Какую массу аллилмеркаптана нужно взять, чтобы число атомов углерода в нем было таким же, как и число атомов гелия в воздушном шарике объёмом 3 литра (н. у.)?

### Задача 5.

Число Авогадро можно определить по данным рентгеноструктурного анализа. Плотность кристаллического хлорида натрия составляет  $2,165 \text{ г/см}^3$ . Расстояние между центрами соседних ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$  равно  $2,819 \cdot 10^{-8} \text{ см}$ . Рассчитайте число Авогадро.

**Примечание.** Структура хлорида натрия представляет собой гранецентрированную кубическую решётку анионов и аналогичную решётку катионов, внедрённые друг в друга. Элементарная ячейка содержит четыре аниона (восемь анионов, находящихся в вершинах ячейки принадлежат восьми ячейкам, итого  $1/8 \cdot 8 = 1$  анион; ещё шесть находятся на гранях и принадлежат двум ячейкам, итого  $1/2 \cdot 6 = 3$  аниона) и четыре катиона.



## 9-й класс

### Задача 1.

В 1934 г американский физико-химик Гарольд Юри бы удостоен Нобелевской премии по химии в том числе за обнаружение в природных водах тяжёлой воды  $D_2O$ . Тяжёлая вода обладает слабыми токсичными свойствами. Например, для мелких млекопитающих замещение 25 % протия на дейтерий в тканях может привести к стерильности.

Обычную воду можно обогатить дейтерием с помощью электрохимических процессов. В образец такой воды, содержащей 33,3 % дейтерия от общего количества атомов, добавили эквимольную смесь двух бинарных соединений щелочных металлов массой 6,5 г, в результате чего выделилась газовая смесь объёмом 4,48 л (н. у.) с плотностью по метану 0,1875. Установите возможный качественный и количественный (в масс. %) состав исходной смеси соединений металлов.

### Задача 2.

Некоторые газообразные оксиды наносят вред экологической обстановке населённых пунктов. Например, в населённом пункте А содержание угарного газа составляет 80 % от нормы. Нормой обычно считают предельно допустимую концентрацию (ПДК). Для монооксида углерода ПДК составляет  $1,0 \text{ мг/м}^3$ . В этом же населённом пункте содержится углекислый газ в концентрации около  $1,3 \text{ мг/м}^3$ .

1. Сколько молекул оксида углерода (II) содержится в 1 л воздуха в населённом пункте А (н. у.)?
2. Сколько мг кислорода нужно, чтобы окислить весь оксид углерода(II) в  $5 \text{ м}^3$  такого воздуха до оксида углерода(IV)?
3. Какая минимальная масса гидроксида натрия может прореагировать со всем оксидом углерода(IV), содержащемся в одном  $\text{м}^3$  воздуха в населённом пункте А после окисления оксида углерода(II)?

### Задача 3.

Вещество А используется как реактив в аналитической и медицинской химии. Для его получения используется коричневое вещество Б, которое получается при взаимодействии вещества В с парами вещества Г. Вещество Б — малоизвестное бинарное соединение, массовая доля иода в нем равна 85,81 %. Второй химический элемент, входящий в состав Б, входит также в состав вещества Д, которое вместе с газом плотностью  $1,96 \text{ г/дм}^3$  выделяется при обработке вещества Б тёплым раствором поташа. При этом вещество А остаётся в растворе, его выделяют упариванием оставшейся воды. При

смешивании нерастворимого в воде вещества Г с раствором вещества А образуется кирпично-красный раствор вещества на первый взгляд нестехиометрического состава. Вещество Д растворяется в соляной кислоте с образованием двух хлоридов, в которых заряды двух катионов одного и того же металла соотносятся друг к другу как 1:1,5.

1. Расшифруйте вещества, зашифрованные буквами А–Д.
2. Приведите уравнения реакций, описанных в задаче.

#### Задача 4.

Имеется три простых вещества, схожих по химическим свойствам. При нормальных условиях вещество 1 — газ, вещество 2 — жидкость, вещество 3 — твёрдое, а также известно, что:

- 1) из соли, в состав которой входит элемент из вещества 2, он может быть вытеснен веществом 1;
- 2) из соли, в состав которой входит элемент из вещества 3, он может быть вытеснен веществом 2;
- 3) все три вещества могут реагировать с водородом, а образующиеся при этом вещества растворимы в воде. Если к полученным растворам добавить фенолфталеин, то цвет раствора не изменится;
- 4) вещество 1 реагирует с натрием, в результате чего образуется соединение, которое в большом количестве содержится в морской воде;
- 5) вещество 3 при нагревании легко становится газообразным, минуя жидкое состояние.

Определите вещества 1, 2, 3, а также напишите уравнения реакций к пунктам 1–4 и дайте название процессу, описанному в пункте 5.

#### Задача 5.

Дана реакция синтеза газообразного соединения АВ из простых газов А<sub>2</sub> и В<sub>2</sub>, протекающая в идеальной газовой фазе при температуре  $T = 973,15$  К и давлении  $P = 10$  атм. Термодинамические данные представлены ниже в Таблице:

Вещество	Стандартная энтальпия образования $\Delta_f H_{298}^\circ$ , кДж·моль <sup>-1</sup>	Стандартная энтропия $S_{298}^\circ$ , Дж·моль <sup>-1</sup> ·К <sup>-1</sup>
А <sub>2</sub>	0,0	15,0
В <sub>2</sub>	0,0	50,0
АВ	-20,0	24,0

1. Рассчитайте константу равновесия  $K_p$  (без учёта теплоёмкостей участников реакции), считая  $\Delta_r H$  величиной, не зависящей от температуры.

2. Напишите выражение для константы равновесия через химическую переменную.
3. Рассчитайте состав газовой смеси, если реагенты взяты в стехиометрических соотношениях, а продукт при смешении реагентов отсутствовал.
4. Определите, в какую сторону сместится химическое равновесие при повышении температуры, повышении давления, использования катализатора.

**Примечание 1.** Для расчёта константы равновесия  $K_p$  можно использовать уравнение:

$$K_p = \exp\left(-\frac{\Delta_r H_{298}^\circ}{RT} + \frac{\Delta_r S_{298}^\circ}{R}\right),$$

где  $\Delta_r H_{298}^\circ$  — стандартное изменение энтальпии реакции ( $\text{Дж}\cdot\text{моль}^{-1}$ ),  $\Delta_r S_{298}^\circ$  — стандартное изменение энтропии реакции ( $\text{Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$ )  $R$  — универсальная газовая постоянная ( $\text{Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$ ),  $T$  — абсолютная температура (К).

**Примечание 2.** Для отражения полноты протекания реакции используется величина, называемая химической переменной ( $\xi$ ):

$$\xi = \frac{n_i - n_i^0}{\nu_i},$$

где  $n_i$  — количество  $i$ -ого реагента в определённый момент реакции,  $n_i^0$  — исходное количество вещества  $i$ -ого реагента,  $\nu_i$  — стехиометрический коэффициент.

## 10-й класс

### Задача 1.

Встречаются на 1s-орбитали два электрона. «У тебя вся спина белая», — говорит один другому. «А у тебя — чёрная», — отвечает другой. Этажом выше собралась компания из четырёх электронов на 2s- и 2p-орбиталях.

1. Почему второй электрон был так уверен в цвете спины первого?
2. В каком атоме происходили описанные события? Напишите его электронную конфигурацию в возбуждённом состоянии, требующем наименьших энергетических затрат.

### Задача 2.

В молекулярной динамике важнейшим параметром является межатомное взаимодействие. Допустим, атомы А и В имеют разные заряды и предполагаются упругими шарами одного радиуса, равными единице. Так как разноимённые заряды притягиваются, и энергия системы двух упругих шаров резко возрастает после соприкосновения и дальнейшего сжатия, то существует область, где электростатическое притяжение  $U_{\text{притяж.}}$  уравнивается упругим отталкиванием  $U_{\text{отт.}}$ . При этом электростатическая энергия уменьшается обратно пропорционально расстоянию между атомами, а отталкивание — экспоненциально увеличивается от этого расстояния после соприкосновения. Предложите графический вид зависимости энергии взаимодействия ( $U_{\text{полн.}} = U_{\text{притяж.}} + U_{\text{отт.}}$ ) двух ионизированных атомов от расстояния между ними ( $r_{\text{A-B}}$ ) и оцените оптимальное расстояние между атомами, если  $U_{\text{притяж.}} = -8 / r_{\text{A-B}}$ , а  $U_{\text{отт.}} = \exp(2 / r_{\text{A-B}})$ .

### Задача 3.

Определите, при каком соотношении парциальных давлений двух реагирующих газообразных веществ А и В скорость элементарной химической реакции будет максимальной, если стехиометрические коэффициенты этих веществ в газовой фазе (в реакции) равны  $a$  и  $b$ , а общее давление обоих веществ в системе постоянно и равно  $P$ . Задачу решите для идеальных газов в общем виде.

### Задача 4.

Моряки дальнего плавания времён эпохи Великих географических открытий страдали заболеванием скорбут (цингой), которое приводит к дегенеративным процессам мягких тканей, особенно ротовой полости. Это заболевание вызвано нехваткой одного из важнейших витаминов — витамина С. Витамин

C является универсальным антиоксидантом, он нейтрализует свободные радикалы, защищая людей от рака.

1. Составьте структурную формулу витамина C, если его название по номенклатуре ИУПАС — (5*R*)-[(1*S*)-1,2-дигидроксиэтил]-3,4-дигидроксифуран-2(5*H*)-он.

2. Напишите тривиальное название витамина C.

2. Минимальное суточное потребление витамина C должно составлять не менее 100 мг для взрослого человека. Сколько апельсинов в день должен съедать моряк, чтобы обезопасить свой организм от цинги, если массовая доля витамина C в апельсине равна 0,053 %, средняя масса апельсина составляет 170 г, а при потреблении апельсина усваивается около 60 % действующего вещества?

### Задача 5.

Один из самых неприятных запахов был обнаружен в городе Фрайбурге в 1889 году во время попытки синтеза тиоацетона разложением тримера (тритиоацетона). Пришлось эвакуировать население города, поскольку неприятный запах, который быстро распространился по всей площади, вызывал обмороки, рвоту и тревожные состояния.

1. Изобразите структурные формулы тиоацетона и указанного тримера.

2. Известно, что один из способов синтеза тиоацетона — это взаимодействие ацетона с сульфидом фосфора(III) с последующим разложением образовавшегося циклического продукта. Запишите уравнение данной реакции.

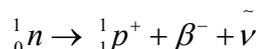
3. Чтобы проверить способность тиоацетона «портить воздух», учёные провели эксперимент. Они поместили одну каплю вещества на стекло и поставили его в вытяжной шкаф. Добровольцы, стоявшие на удалении в 400 метров от лаборатории, уже через несколько секунд почувствовали ужасный запах и были вынуждены покинуть помещение. Определите суммарное количество атомов в такой порции тиоацетона, если принять, что капля имеет форму сферы с радиусом 2 мм, а плотность тиоацетона составляет 0,88 г/см<sup>3</sup> при стандартных условиях.

### Задача 6.

Бета-распад трития приводит к образованию изотопа гелия-3:



Причём следует иметь в виду, что после пропускания  $\beta$ -частицы из ядра заряд увеличивается на единицу, так как в ядре трития один нейтрон превращается в протон:



Соответственно, положительный заряд остаётся на дочернем ядре гелия-3. Если тритий будет входить в состав молекулы, то следует ожидать, что при  $\beta$ -распаде образуется изотоп гелия, который будет стремиться высвободиться из химического соединения, присоединив неподелённую пару электронов для перехода в атомарное состояние. При этом положительный заряд локализуется на оставшемся молекулярном фрагменте. Рассмотрим это на примере молекулы воды, однократно меченной тритием:



Такие необычные образования, как оксониевый катион  $\text{OH}^+$ , называются промежуточными реакционноспособными частицами. Они характеризуются высочайшей реакционной способностью из-за дефицита электронной плотности. Такие частицы будут вступать в ион-молекулярные реакции прежде всего с молекулами, имеющими повышенную электронную плотность: ароматическими соединениями, эфирами, спиртами, непредельными, галоген- и азотсодержащими соединениями и т. д. (молекулами-мишенями или субстратами). Такая бета-распадная технология получения реакционноспособных частиц была разработана под руководством профессора В. Д. Нефёдова на кафедре радиохимии Ленинградского государственного университета в 1960-х годах и получила название «ядерно-химический метод генерирования промежуточных реакционноспособных частиц». В частности, если  $\beta$ -распад трития происходит в составе меченого метана, то будет генерироваться метильный катион — классический представитель карбониевых ионов, через стадию образования которых протекает 2/3 всех реакций в органической химии.

Ядерно-химический метод интересен тем, что позволяет изучать механизмы органических реакций и получать одностадийным синтезом меченые соединения желаемого состава и в любом агрегатном состоянии.

Запишите аналогичный процесс  $\beta$ -распада трития в составе однократно меченого метана и определите массу толуола, образующегося в стеклянной ампуле, содержащей 1 Кюри однократно меченого тритием метана ( $\text{CH}_3\text{T}$ ) и 1 грамм бензола ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ) за 1 месяц накопления продуктов ион-молекулярных реакций.

**Примечание.**  $T_{1/2}$  трития = 12,1 года (период полураспада).

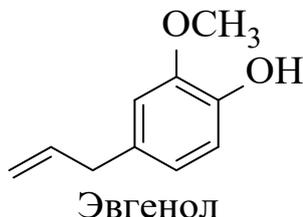
$$A_{\text{трития в метане}} = \lambda N, \text{ где}$$

$A$  — число радиоактивных распадов в единицу времени (Кюри), 1 Кюри =  $3,7 \cdot 10^{10}$  распадов/сек;  
 $\lambda$  — постоянная распада трития ( $\text{сек}^{-1}$ ),  $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$ ;  
 $N$  — количество радиоактивных атомов трития.

## 11-й класс

### Задача 1.

Учитель зельварения, профессор Снейп, обнаружил, что у него закончился один из основных ингредиентов для приготовления эликсира удачи — гвоздичное масло. Помогите профессору получить основной компонент гвоздичного масла — эвгенол, используя пирокатехин в качестве исходного реагента.



### Задача 2.

Дана реакция твёрдого соединения АВ с простым газом С<sub>2</sub> с образованием продуктов: твёрдого простого вещества А и газообразного вещества ВС, протекающей в идеальной газовой фазе при температуре  $t^\circ = 726,85^\circ\text{C}$  и давлении  $P = 2$  атм. Термодинамические данные описанных соединений представлены ниже в Таблице:

Вещество	Стандартная энтальпия образования $\Delta_f H_{298}^\circ$ , кДж·моль <sup>-1</sup>	Стандартная энтропия $S_{298}^\circ$ , Дж·моль <sup>-1</sup> ·К <sup>-1</sup>
АВ	-10,0	51,0
С <sub>2</sub>	0,0	60,0
А	0,0	15,0
ВС	-20,0	60,0

1. Рассчитайте константу равновесия  $K_p$  (без учёта теплоёмкостей участников реакции).
2. Напишите выражение для константы равновесия через химическую переменную.
3. Рассчитайте состав газовой смеси, если реагенты взяты в стехиометрических соотношениях, а продукт при смешении реагентов отсутствовал.
4. Определите, в какую сторону сместится химическое равновесие при повышении температуры, повышении давления, использования катализатора.

**Примечание 1.** Для расчёта константы равновесия  $K_p$  можно использовать уравнение:

$$K_p = \exp\left(-\frac{\Delta_f H_{298}^\circ}{RT} + \frac{\Delta_f S_{298}^\circ}{R}\right),$$

где  $\Delta_r H_{298}^\circ$  — стандартное изменение энтальпии реакции ( $\text{Дж}\cdot\text{моль}^{-1}$ ),  $\Delta_r S_{298}^\circ$  — стандартное изменение энтропии реакции ( $\text{Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$ )  $R$  — универсальная газовая постоянная ( $\text{Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$ ),  $T$  — абсолютная температура (К).

**Примечание 2.** Для отражения полноты протекания реакции используется величина, называемая химической переменной ( $\xi$ ), которая изменяется от нуля до единицы:

$$\xi = \frac{n_i - n_i^0}{\nu_i},$$

где  $n_i$  — количество  $i$ -ого реагента в определённый момент реакции,  $n_i^0$  — количество вещества  $i$ -ого реагента в начале реакции,  $\nu_i$  — стехиометрический коэффициент.

### Задача 3.

Установите состав смеси, состоящей из трёх органических соединений, которые при нормальных условиях являются жидкостями. Известно, что два соединения из трёх реагируют с  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ; все три соединения могут реагировать с азотной кислотой, но в результате реакции только два продукта из трёх будут в своём составе иметь азот; два соединения из трёх не будут реагировать с бромной водой; в составе смеси нет соединений с разветвлённым строением. Также известно, что при сжигании 176,20 г первого соединения образуется 144,00 г воды; при сжигании 31,04 г второго соединения образуется 27,00 г воды; на сжигание 172,36 г третьего соединения потребуется 304,00 г кислорода.

1. Напишите структурные формулы соединений, входящих в состав исходной смеси.
2. Напишите уравнения реакций, перечисленных в условии задачи.
3. Приведите расчёты по уравнениям реакций горения искоемых соединений.

### Задача 4.

Спектр атома водорода условно разделяется по сериям, названным в честь учёных, их открывших: Лаймана, Бальмера, Пашена, Брэкетта, Пфунда, Хэмпфри. Эти серии хорошо подчиняются формуле Ридберга:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

где  $R = 10967758 \text{ м}^{-1}$  (постоянная Ридберга), более низкое энергетическое состояние обозначается  $n'$ , а возбуждённое —  $n$  (состояния соответствуют целым числам начинающимся от 1, где  $n > n'$ ). Для указанных выше серий значения  $n'$  следующие: Лаймана — 1, Бальмера — 2, Пашена — 3, Брэкетта — 4, Пфунда — 5, Хэмпфри — 6.



## Заключительный этап

### 8-й класс

#### Задача 1.

В начале XX века в связи с открытием принципиально новых соединений Николай Семёнович Курнаков ввёл термины «бертоллиды» и «дальтониды». Дальтониды — это вещества постоянного количественного и качественного состава, который не зависит от способа его получения. Бертоллиды — соединения переменного состава, не подчиняющиеся законам постоянных и кратных соотношений. Другими словами, дальтониды могут быть записаны обычной химической формулой с небольшими целочисленными индексами (например,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ), а бертоллиды — нет (например,  $\text{TiH}_{1,93}$ ). Ниже приведены массовые доли элементов в ряде оксидов:

Соединение	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Элемент и его массовая доля, %	Fe 72,4	Mn 70,33	V 59,39	Pb 89,6	Fe 74,63	Co 73,44	X 74,8	Y 80,0

1. Установите элементы X и Y.
  2. Установите формулы соединений I–VIII и определите, к какому типу относится каждое из них. Ответ подтвердите расчётом.
- При расчёте атомные массы элементов округляйте до целых чисел.

#### Задача 2.

Отношение молярных масс галогенидов двух металлов составляет 0,584. Отношение молярных масс металлов составляет 0,221. Металлы в галогенидах трёхвалентны, а галогениды образованы одним и тем же галогеном. Установите качественный состав галогенидов.

#### Задача 3.

Ниже описаны свойства металла X и его соединений. При взаимодействии X с кислородом образуется бинарное соединение A (реакция 1), в котором массовая доля X составляет 54,93%. При обработке A водой образуется бесцветный раствор вещества B и выделяется газ C (реакция 2). Такой же раствор B образуется при обработке X водой, однако при этом выделяется газ D (реакция 3). При пропускании углекислого газа над веществом A образуется соль E, содержащая 56,52% X и выделяется газ C (реакция 4). Такая же соль E образуется при пропускании углекислого газа через раствор B (реакция 5). Однако, если через раствор B пропустить избыток углекислого газа, то

образуется соль **F** (реакция 6), которая при прокаливании превращается в **E** (реакция 7).

1. Установите металл **X** и вещества **A–F**, если известно, что **X** проявляет одинаковую степень окисления в своих соединениях. Ответ подтвердите расчётом.
2. Напишите уравнения реакций 1–7.
3. Приведите тривиальное название соли **E**, давшее название металлу **X**.
4. Какое применение находит реакция 4?

#### Задача 4.

Масса смеси трёх твёрдых оксидов элементов, находящихся в одном периоде, равна 242 г. Оксиды взяты в одинаковом молярном соотношении. После обработки раствором  $\text{HCl}$  масса осадка стала 202 г (израсходовано 365 г 20 % раствора  $\text{HCl}$ ). При обработке этого осадка холодным раствором щёлочи остаётся 60 г твёрдого вещества. Найдите состав оксидов, если из трёх оксидов только один при растворении в воде образует кислоту, и напишите уравнения упомянутых реакций.

#### Задача 5.

В лаборатории обнаружили банку со стёршейся надписью. Внутри банки нашли гранулы тёмно-серебристого металла. Было установлено, что металл не растворяется ни в воде, ни в водных растворах серной кислоты и щёлочи.

Для определения металла провели следующий опыт:

- Взвесили пустую сухую мерную колбу объёмом  $100 \text{ см}^3$ . Масса колбы составила 67,32 г.
- Заполнили часть колбы гранулами металла и повторно взвесили. Масса колбы составила 203,40 г.
- Не извлекая гранулы металла, долили в колбу дистиллированной воды до метки, тщательно удалив все пузырьки воздуха. Масса колбы с водой и гранулами металла составила 291,40 г.

1. Определите металл, используя данные о плотности простых веществ.
2. Дайте объяснение, почему металл не растворился в водном растворе серной кислоты.
3. Приведите области применения данного металла.

**Примечание:** в расчётах принять, что  $\rho(\text{H}_2\text{O}) = 1 \text{ г/см}^3$ .

## 9-й класс

### Задача 1.

Когда один или несколько атомов в молекуле заменены разными изотопами, то эти молекулы называются изотопомерами. К примеру, формула обычной воды —  $\text{H}_2\text{O}$ , в то время как тяжёлая вода ( $\text{D}_2\text{O}$ ) является тяжёлым изотопомером воды.

А) Природный алюминий состоит практически полностью из единственного стабильного изотопа  $^{27}\text{Al}$  с ничтожными следами  $^{26}\text{Al}$ . Определите мольную долю каждого из изотопов алюминия, принимая, что  $A_r(\text{Al}) = 26,98$ . Различием между атомной массой изотопа и его массовым числом пренебечь.

Б) Природный кислород состоит из трёх стабильных изотопов,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$  и  $^{18}\text{O}$ . Определите молярные массы всех оксидов алюминия, входящих в состав глинозёма.

В) Какое количество алюминия можно получить из глинозёма массой 1 т, содержащего 98 % оксида алюминия по массе наиболее стабильного изотопомерного состава, если массовая доля выхода реакции электролиза расплава оксида алюминия 75 %?

Г) В составе глинозёма оксид алюминия чаще всего находится в виде боксита. Определите формулу боксита, если массовая доля кислорода в нём составляет 55 %.

### Задача 2.

Газ **A** хорошо растворяется в воде, горит на открытом воздухе, имеет резкий запах и является промежуточным продуктом при промышленном производстве кислоты **B**. При растворении данного газа **A** в воде образуется раствор, который окрашивает лакмус в синий цвет. При взаимодействии газа **A** с кислотой **B** образуется белое кристаллическое вещество **C**, которое входит в состав удобрения. Вещество **C** при разложении образуется бесцветный негорючий газ **D**, который, однако, поддерживает возгорание других веществ, в том числе тлеющего угля.

А) Приведите формулы веществ **A–D**.

Б) Приведите упомянутые уравнения реакций и укажите, каким образом возможно получение кислоты **B** из газа **A**.

В) Как взаимодействует концентрированный раствор вещества **B** с серой, фосфором, хлороводородом, углеродом?

### Задача 3.

В четырёх колбах находятся десятипроцентные водные растворы сульфата натрия, гидросульфата натрия, карбоната натрия и гидрокарбоната натрия.

Предложите схему идентификации веществ в каждом из растворов, не используя других веществ или органолептических методов.

Таблица проведения опытов по попарному смешению веществ. Главное условие при проведении опытов: к избытку первого вещества (столбец) по каплям прибавляется второе (строка), которое находится в недостатке.

—	Недостаток	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$\text{NaHSO}_4$	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	$\text{NaHCO}_3$
Избыток	—				
$\text{Na}_2\text{SO}_4$		—	нет эффекта	нет эффекта	нет эффекта
$\text{NaHSO}_4$		нет эффекта	—	газ	газ
$\text{Na}_2\text{CO}_3$		нет эффекта	нет эффекта	—	нет эффекта
$\text{NaHCO}_3$		нет эффекта	газ	нет эффекта	—

#### Задача 4.

Смесь хлорида железа(II) и хлорида некоторого металла массой 39,7 г растворили в 500 г воды. Раствор разделили на две одинаковые порции. Через первую порцию раствора пропустили избыток сероводорода, в результате чего образовался осадок массой 9,6 г. Ко второй порции раствора добавили избыток раствора сульфида натрия, в результате чего масса осадка составила 14 г. Вычислите массовые доли хлоридов в исходном растворе.

#### Задача 5.

Смешали растворы **A** и **B**. В результате образовался жёлтый осадок. Если вещество **A** прокалить на воздухе, образуется оксид металла, один из оксидов азота и кислород. Если через раствор **A** пропустить газ, который образуется при взаимодействии **B** с серной концентрированной кислотой – выпадает чёрный осадок. Если вещество **B** добавить к раствору хлорида меди(II) — образуется осадок, а если к раствору хлорида железа(III) — раствор приобретает тёмно-коричневый цвет. Если кристаллы вещества **B** внести в пламя на платиновой проволочке, пламя приобретёт фиолетовое окрашивание. Молярная масса вещества **A** приблизительно в 2 раза больше молярной массы вещества **B**. Какие вещества скрываются за символами **A** и **B**? Составьте уравнения всех упомянутых реакций.

## 10-й класс

### Задача 1.

Простое вещество **X** не растворяется в воде, но растворяется в водном растворе едкого натра при кипячении с образованием веществ **A** и **B**. Оба продукта реакции при взаимодействии с избытком раствора гипохлорита натрия превращаются в вещество **C**, которое при кристаллизации из водного раствора при комнатной температуре образует продукт, содержащий 9,95% **X** по массе.

Взаимодействие избытка **X** с водным раствором вещества **B** приводит к образованию вещества **D**, используемого в аналитической химии. Вещество **D** также окисляется щелочным раствором гипохлорита натрия с образованием вещества **C**, однако при взаимодействии с раствором иода в иодиде калия продуктом реакции является вещество **E**, содержащее 47,5 % **X** по массе. При подкислении водного раствора **D** образуется вещество **X** и газ **F**. Пропускание газа **F** через 10 % раствор перекиси водорода приводит к образованию вещества **G**. Реакция эквимольных количеств **G** и **C** приводит к образованию вещества **H**.

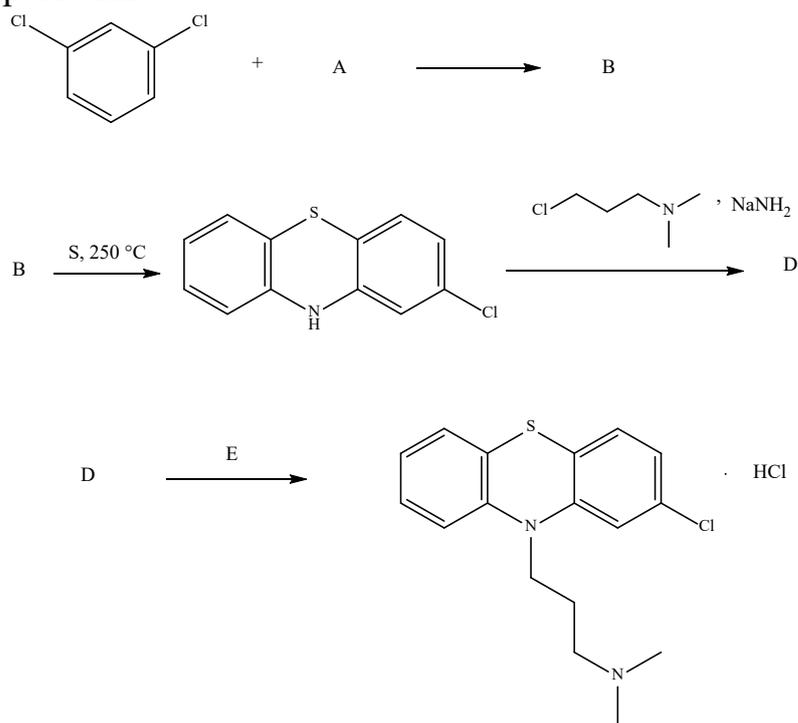
При электролизе водного раствора вещества **H** на платиновых электродах на аноде происходит образование вещества **I**, которое ранее использовалось для промышленного получения пероксида водорода. Результатом взаимодействия водных растворов веществ **I** и **B** являются вещества **G** и **H**.

- Определите формулы веществ **X**, **A–I**.
- Составьте уравнения всех описанных в задаче реакций и уравняйте их.
- Укажите степени окисления элемента **X** во всех соединениях **A–I**.
- Опишите принцип использования **D** в аналитической химии.

### Задача 2.

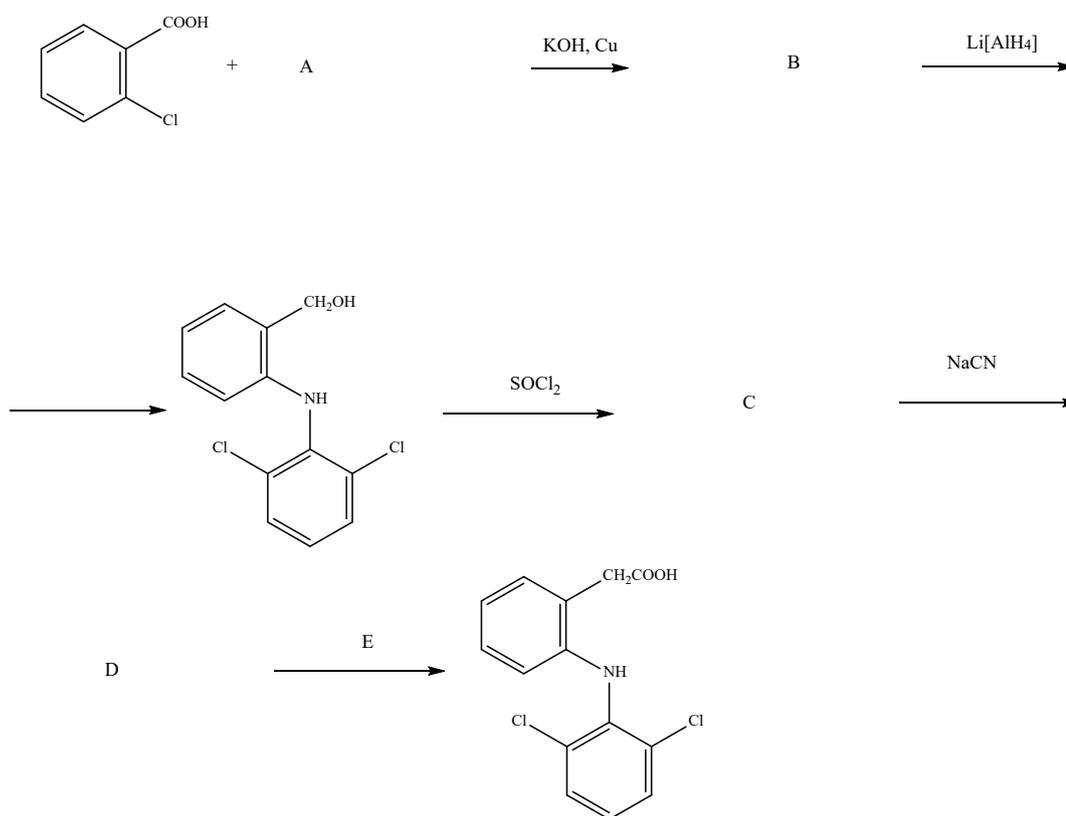
Отважная команда отправилась на колонизацию Марса, однако экипаж столкнулся с неприятностью — жуткими пришельцами, что на деле оказалось следствием синдрома психоза закрытого пространства. К счастью, проявилось это не у всех членов экипажа, но негативных последствий избежать все же не удалось. Из-за того, что часть экипажа оказалась недееспособной, при вынужденной аварийной посадке на Марс ящик с медикаментами был повреждён, что привело к потере лекарств. Среди членов экипажа есть химик, в чьём распоряжении целая химическая лаборатория на корабле. Перед химиком встала задача синтезировать хлорпромазин, который поможет пострадавшим участникам экипажа прийти в себя, однако при аварийной посадке база данных с методиками синтеза органических веществ была

частично повреждена. Требуется восстановить повреждённую методику синтеза хлорпромазина.



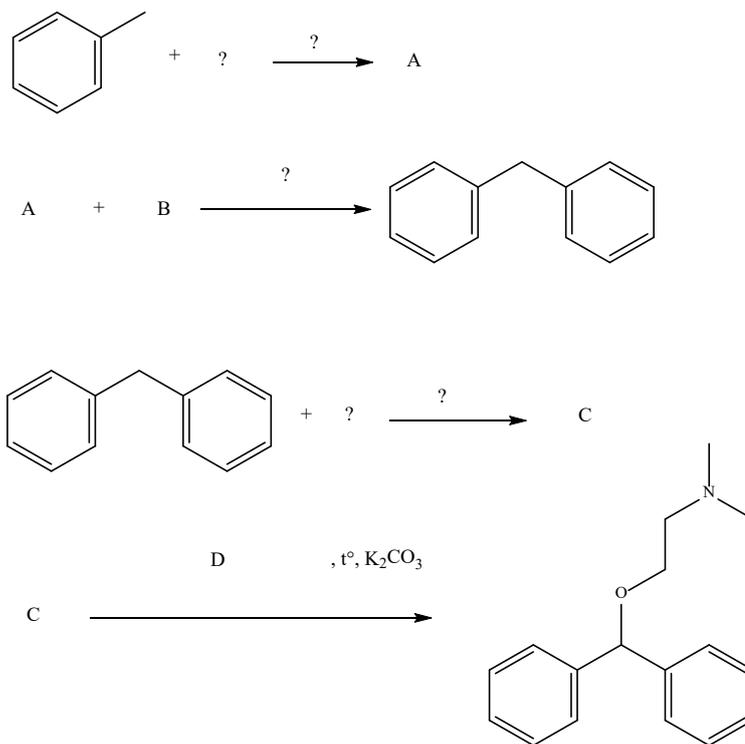
### Задача 3.

Команда исследователей, осваивающих территорию необитаемого острова в Австралии, столкнулись с бедой — при урагане их запасы медикаментов и часть провизии были уничтожены. К счастью, не пострадали жилые сооружения, в числе которых была небольшая мобильная химическая лаборатория. После катаклизма при поисках провизии два члена исследовательской группы были покусаны местными насекомыми, яд которых вызывает жуткую лихорадку. Санитар группы определил план действий — необходимо снять симптомы лихорадки до прибытия помощи с материка. С этой задачей отлично справится диклофенак, однако его нужно получить, так как все медикаменты были уничтожены ураганом. С этой задачей было поручено справиться химику, который, к сожалению, помнит методику только частично. Необходимо восстановить методику синтеза диклофенака.



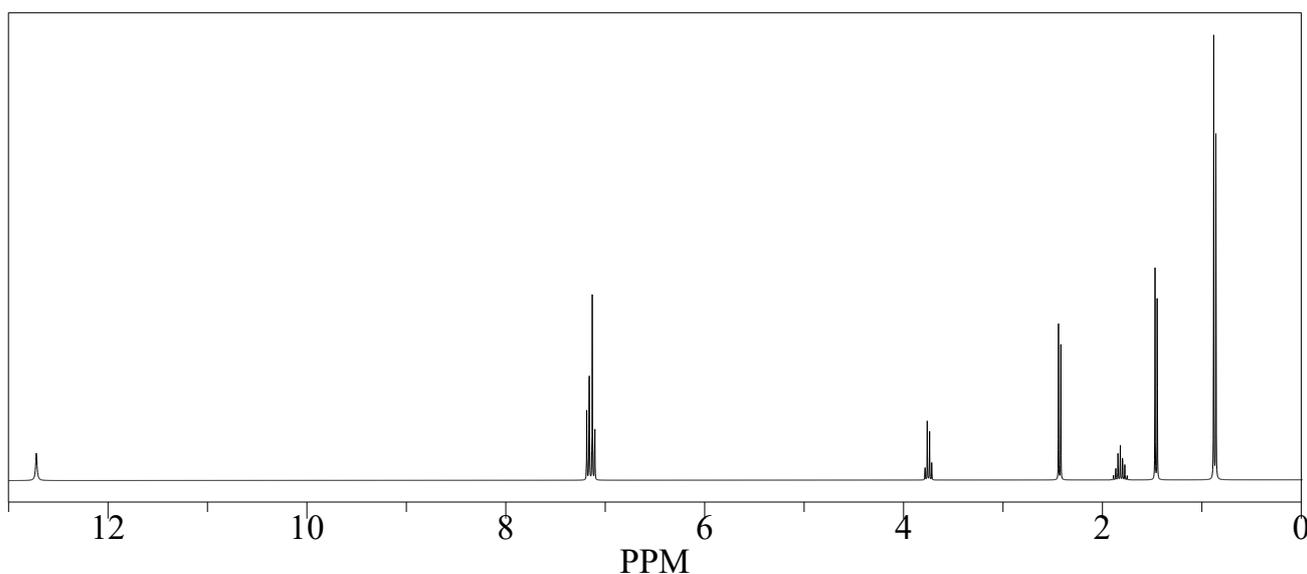
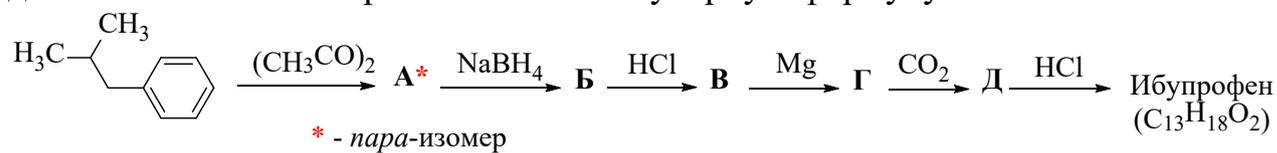
#### Задача 4.

В небольшой деревушке Австрии в 50-х годах XX века один молодой химик Вильгельм пошёл просить руки Шарлотты — дочери одного из местных охотников Фридхельма. Когда Вильгельм пришёл к Фридхельму, то застал его в скверном расположении духа, однако все же решился просить руки. Фридхельм подумал и сказал, что даст своё благословление, если Вильгельм сможет вылечить Шарлотту, которая страдала от отравления. Отравление сопровождалось острой аллергической реакцией на мясо необычной птицы, которую принёс с охоты её отец. Вильгельм решил снять аллергическую реакцию с помощью дифенгидрамина, который, к сожалению, отсутствовал во всех аптеках деревни. Тогда Вильгельм побежал в свою лабораторию и начал синтез дифенгидрамина самостоятельно. Помогите Вильгельму и Фридхельму стать счастливым, а Шарлотте здоровой расписав синтез дифенгидрамина, при условии, что из исходных ароматических веществ у Вильгельма были только бензол и толуол, а также ряд других органических и неорганических соединений, среди которых отсутствовал метиленхлорид.



### Задача 5.

Осуществите цепочку превращений и получите активный фармацевтический ингредиент анальгетика и жаропонижающего лекарственного средства — ибупрофен. Для определения структурной формулы ибупрофена используйте данные  $^1\text{H}$  ЯМР-спектроскопии и молекулярную формулу.



## 11-й класс

### Задача 1.

Простое вещество **X** растворяется в царской водке при нагревании с образованием красно-оранжевого раствора вещества **A**. При добавлении раствора хлорида калия выпадает жёлтый осадок вещества **B**. При обработке вещества **B** рассчитанным количеством аскорбиновой кислоты образуется раствор, из которого выделяют тёмно-красные кристаллы вещества **C**.

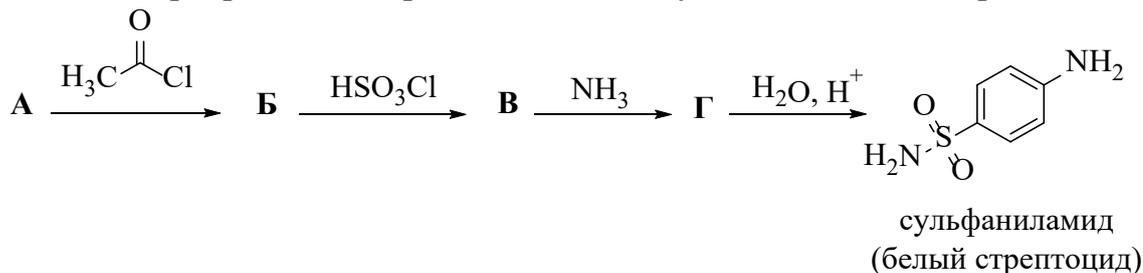
При обработке вещества **C** разбавленным раствором аммиака выделяется осадок **D** (массовая доля хлора в соединении **D** равна 22.9 %). При обработке вещества **C** концентрированным раствором аммиака без нагревания выделяется вещество **E**, а при нагревании — вещество **F**. При сливании растворов **C** и **E** выпадает вещество **G**, которое при нагревании с раствором соляной кислоты образует вещество **F**.

Методом дифференциального термического анализа вещества **D** обнаружен экзотермический эффект без изменения массы при 210 °С. ИК-спектр продукта твердофазного превращения показал совпадение со спектром вещества **F**.

Установите вещество **X** и формулы веществ **A–G**, напишите уравнения реакций описанных превращений.

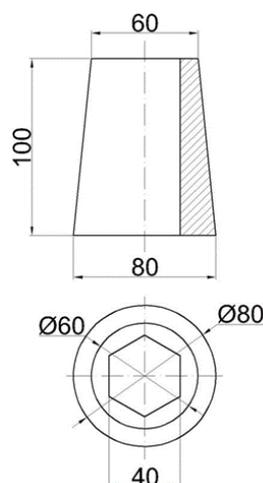
### Задача 2.

Определите вещество **A**, которое служит исходным соединением для синтеза антибактериальных средств — сульфониламидов. Восстановите всю цепочку химических превращений, приводящих к получению «белого стрептоцида».



### Задача 3.

Для предотвращения окисления металлических деталей кислородом воздуха используется метод никелирования — нанесения на поверхность металла слоя никеля. Для получения слоя никеля металлическую деталь опускают в водный раствор сульфата никеля(II), после чего восстанавливают никель из раствора химическим или электрохимическим способом. Более прочным является слой никеля, полученный при электролитическом осаждении никеля на поверхности металлической детали, которая является катодом.



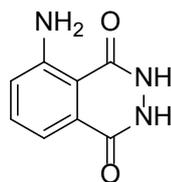
- Рассчитайте минимальное время электролиза, необходимое для образования слоя никеля толщиной не менее 50 мкм на поверхности конической уплотнительной стальной втулки с шестигранной полостью, чертёж которой представлен на рисунке. Условия проведения никелирования:  $I = 1,5 \text{ A}$ , выход по току в условиях опыта = 80 %. Размеры втулки на чертеже указаны в миллиметрах.

- Определите объем газообразного продукта при  $t^\circ = 25^\circ\text{C}$  и стандартном атмосферном давлении, образовавшегося на аноде в ходе никелирования.

**Примечание:** плотность никеля =  $8,9 \text{ г/см}^3$ , число Фарадея =  $96485 \text{ Кл/моль}$ .

#### Задача 4.

В 1889 году детектив Скотленд-Ярда Лестрейд, отчаявшись раскрыть загадочное дело, обратился за помощью к знаменитому сыщику Шерлоку Холмсу. В Лондоне произошло уже два отравления граждан кем-то, кто оставлял на стене предположительно кровавую надпись «мечь». Шерлок Холмс с энтузиазмом взялся за решение этой непростой задачи. Первым делом он решил установить, действительно ли надпись была кровавой. Холмс уже знал от Лестрейда, что оба происшествия случились в довольно темных помещениях, что, несомненно, затрудняло анализ надписей, сделанных преступником. Однако Холмсу уже было известно вещество люминол, которое может быть применено, когда выявление пятен крови особенно затруднено. Проба с люминолом является очень чувствительной, и в затемнённом помещении при обработке пятен крови данным реактивом наблюдается появление голубоватого свечения, что свидетельствует о положительной реакции.



ЛЮМИНОЛ

Однако в конце XIX века методы судебно-медицинской экспертизы ещё не были достаточно разработаны, и люминола в городе не было. Холмс, увлечённый не только распутыванием преступных замыслов, но также и химией, оборудовал на Бейкер стрит вполне приличную химическую лабораторию. Знаменитый сыщик задумался о возможном способе получения люминола и имеющихся у него реактивах и на мгновение помрачнел, так как основного прекурсора у него как раз и не было в наличии. Но тут же Холмс вспомнил о том, что миссис Хадсон активно пыталась бороться в доме с молью при помощи нафталина, который имелся у неё в изобилии, и лицо у Холмса просветлело. Предложите и Вы способ получения люминола из нафталина.

### Задача 5.

При 298 К и 1 атм имеется первая гетерогенная система, представляющая собой насыщенный раствор некоторого гидроксида металла  $A(OH)_2$ . Значение рН раствора равно 11,5. Имеется вторая гетерогенная система, представляющая собой насыщенный раствор другого гидроксида металла  $B(OH)_2$ . Значение рН раствора в этой системе равно 11,7. Каково будет значение рН раствора в третьей системе, представляющей собой раствор, насыщенный одновременно гидроксидами  $A(OH)_2$  и  $B(OH)_2$  (с учётом автопротолиза воды в растворе)? Принять ионное произведение воды равным  $1,01 \cdot 10^{-14}$ . Диссоциация обоих гидроксидов протекает полностью по первой и второй ступеням.

**Примечание.** Для описания равновесий типа «твёрдая фаза – насыщенный раствор» используется понятие произведения растворимости (ПР).

Например, для равновесия  $A(OH)_2 \rightleftharpoons A^{2+} + 2OH^-$ :

$$ПР = [A^{2+}] \cdot [OH^-]^2,$$

где  $[A^{2+}]$  и  $[OH^-]$  — равновесные концентрации катионов металла и гидроксильных групп, соответственно.

## РЕШЕНИЯ ЗАДАНИЙ

### Отборочный этап

#### 8-й класс

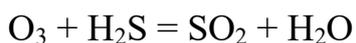
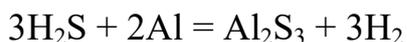
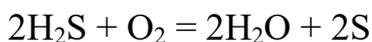
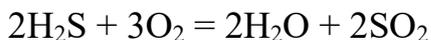
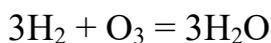
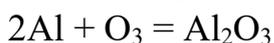
#### Задача 1 (20 баллов).

Р	Г	Р	А	Д	О	Р	О
А	Л	Ю	М	И	Н	И	Д
К	В	А	Д	Н	Т	Й	О
Н	О	З	О	Н	И	О	В
О	Д	О	Р	А	Ф	Р	О
А	Р	Е	Г	С	С	Е	Р

Алюминий, озон, графит, водород, сероводород.

2 балла

За каждое уравнение реакции выставляется 2 балла (всего 18 баллов).



#### Задача 2 (20 баллов).

Рассчитаем давление насыщенного пара во влажном воздухе:

$$P(\text{H}_2\text{O}) = \frac{26,7 \cdot 0,8}{760} = 0,028 \text{ атм}$$

6 баллов

Рассчитаем парциальное давление сухого воздуха:

$$P(\text{воздух}) = 1 - 0,028 = 0,972 \text{ атм}$$

4 балла

Рассчитаем парциальные давления компонентов сухого воздуха:

$$P(\text{N}_2) = 0,972 \cdot 0,78 = 0,758 \text{ атм}$$

$$P(\text{O}_2) = 0,972 \cdot 0,21 = 0,204 \text{ атм}$$

$$P(\text{Ar}) = 0,972 \cdot 0,01 = 0,010 \text{ атм}$$

4 балла

Определим плотность воздуха при помощи уравнения Менделеева — Клапейрона:

$$PV = \nu RT = \frac{m}{M} RT = \frac{\rho V}{M} RT$$

$$\rho = \frac{PM}{RT} = \frac{P_{N_2} M_{N_2} + P_{O_2} M_{O_2} + P_{Ar} M_{Ar}}{RT} = 1,144 \text{ г/л}$$

**6 баллов**

### Задача 3 (20 баллов).

По спектрам индивидуальных веществ из оптических плотностей  $D$  определим экстинкции на двух длинах волн:  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  для двух веществ, соответственно:  $\varepsilon_1(\lambda_1)$ ,  $\varepsilon_1(\lambda_2)$ ,  $\varepsilon_2(\lambda_1)$ ,  $\varepsilon_2(\lambda_2)$ , где  $\varepsilon_i(\lambda_j)$  — массовая экстинкция  $i$ -го вещества на длине волны  $\lambda_j$ . Длины волн лучше выбирать в максимумах поглощения индивидуальных компонентов (хотя и необязательно).

$$\varepsilon_1(450 \text{ нм}) = 0,9375, \varepsilon_2(450 \text{ нм}) = 0,5, \varepsilon_1(650 \text{ нм}) = 0,03125, \varepsilon_2(650 \text{ нм}) = 3,8$$

**5 баллов**

Пусть измеренные на длинах волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  оптические плотности смешанного раствора составляют значения  $D(\lambda_1)$  и  $D(\lambda_2)$ . Если раствор достаточно разбавленный, компоненты молекулярной смеси поглощают свет независимо друг от друга. Значит, справедлива следующая система линейных уравнений:

$$\begin{cases} D(\lambda_1) = \varepsilon_1(\lambda_1)C_1 + \varepsilon_2(\lambda_1)C_2, \\ D(\lambda_2) = \varepsilon_1(\lambda_2)C_1 + \varepsilon_2(\lambda_2)C_2. \end{cases}$$

**10 баллов**

Разрешая систему уравнений относительно  $C_i$ , получаем количественный ответ:

$$C_1 \approx 0,78 \text{ г/л}, C_2 \approx 0,35 \text{ г/л}$$

**5 баллов**

### Задача 4 (20 баллов).

1. Пусть масса аллилмеркаптана равна 100 г.

Тогда  $m(C) = 48,65 \text{ г}$ ,  $m(H) = 8,11 \text{ г}$ ,  $m(S) = 43,24 \text{ г}$ .

**3 балла**

$n(C) = m / M = 48,65 \text{ г} / 12 \text{ г/моль} = 4,05 \text{ моль}$ ;

$n(H) = 8,11 \text{ г} / 1 \text{ г/моль} = 8,11 \text{ моль}$ ;

$n(S) = 43,24 \text{ г} / 32 \text{ г/моль} = 1,35 \text{ моль}$ .

**3 балла**

$n(C) : n(H) : n(S) = 4,05 : 8,11 : 1,35 = 3 : 6 : 1$

**3 балла**

Следовательно, эмпирическая формула аллилмеркаптана  $C_3H_6S$ .

**1 балл**

2. По условию,  $N(C) = N(He)$ . Значит,  $n(C) = n(He)$ .

**1 балл**

$n(He) = V / V_m = 3 \text{ л} / 22,4 \text{ л/моль} = 0,134 \text{ моль}$ .

**3 балла**

$n(C) = 0,134 \text{ моль}$ ,  $n(C_3H_6S) = 0,134 \text{ моль} / 3 = 0,0447 \text{ моль}$ .

**3 балла**

$m(C_3H_6S) = n \cdot M = 0,0447 \text{ моль} \cdot 74 \text{ г/моль} = 3,3 \text{ г}$ .

**3 балла**

### Задача 5 (20 баллов).

Определим молярный объём хлорида натрия:

$$V = \frac{M}{\rho} = \frac{58,5}{2,156} = 27,13 \text{ см}^3/\text{моль}$$

**5 баллов**

Определим объём элементарной ячейки:

$$(2 \cdot 2,819 \cdot 10^{-8})^3 = 1,79 \cdot 10^{-22} \text{ см}^3$$

**5 баллов**

Определим число элементарных ячеек в одном моле вещества:

$$\frac{27,13}{1,79 \cdot 10^{-22}} = 1,51 \cdot 10^{23}$$

**5 баллов**

Наконец, найдём число катионов и равное ему числу анионов в одном моле хлорида натрия:

$$4 \cdot 1,51 \cdot 10^{23} = 6,06 \cdot 10^{23}$$

**5 баллов**

## 9-й класс

### Задача 1 (20 баллов).

В обычной воде содержится 66,7 % атомов водорода от общего числа атомов. В данном образце содержание дейтерия ровно в два раза меньше, следовательно 50 % атомов водорода — лёгкие (протий), а 50 % водорода — тяжёлые (дейтерий). Из-за процессов изотопного обмена в таком образце будет 25 % тяжёлой воды  $D_2O$ , 25 % обычной воды  $H_2O$  и 50 %  $DHO$ .

Молярная масса данной смеси равна

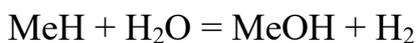
$$M(\text{смеси}) = M(\text{CH}_4) \cdot 0,1875 = 3 \text{ г/моль} \quad \mathbf{1 \text{ балл}}$$

Так как смесь соединений металлов была эквимольная, то есть количества равны, а молярная масса газовой смеси мала, можно предположить, что оба исходных соединения были гидридами (других лёгких газов при гидролизе бинарных соединений металлов не образуется), а газовая смесь образуется из-за разного изотопного состава молекул водорода:  $H_2$  и  $D_2$ . Значение молярной массы газовой смеси равно трём, следовательно в смеси должен быть, во-первых, более тяжёлый компонент  $D_2$  и, во-вторых, более лёгкий компонент  $H_2$ .

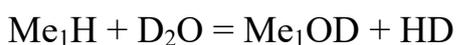
Количество вещества газовой смеси равно

$$n(\text{смеси}) = 4,48 / 22,4 = 0,2 \text{ моль} \quad \mathbf{1 \text{ балл}}$$

Независимо от изотопного состава количество гидридов такое же (изотопный состав не влияет на коэффициенты в реакции):

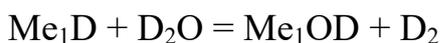
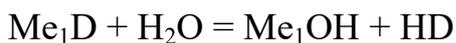


Запишем взаимодействие одного из гидридов с обогащённой водой (вероятность переноса любого из атомов воды к гидридному иону равна 50 %):



Видно, что в этом случае мы не можем получить  $D_2$ , который обязательно входит в состав газовой смеси. Следовательно, как минимум один из гидридов содержал дейтерий.

Запишем взаимодействие такого из гидрида с обогащённой водой (вероятность переноса любого из атомов воды к гидридному иону 50 %):



В этом случае, мы не получаем лёгкий водород  $H_2$ .

Таким образом, один из гидридов содержал протий, а второй — дейтерий.

**4 балла**

Следовательно, каждого из гидридов было по 0,1 моль. Зная массу смеси, можем составить уравнение:

$$m(\text{смеси}) = m(\text{Me}_1\text{H}) + m(\text{Me}_2\text{D})$$

$$6,5 = 0,1 \cdot (M(\text{Me}_1) + 1) + 0,1 \cdot (M(\text{Me}_2) + 2)$$

$$M(\text{Me}_1) + M(\text{Me}_2) = 62$$

**3 балла**

Таким образом, исходными металлами являются калий и натрий.

$$\omega(\text{NaN}) = \frac{0,1 \cdot 24}{0,1 \cdot 24 + 0,1 \cdot 41} = 0,369 \Rightarrow \omega(\text{KD}) = 0,631$$

или

**3 балла**

$$\omega(\text{NaD}) = \frac{0,1 \cdot 25}{0,1 \cdot 25 + 0,1 \cdot 40} = 0,385 \Rightarrow \omega(\text{KH}) = 0,615$$

### Задача 2 (20 баллов).

1. В 1 м<sup>3</sup> содержится 1 мг СО, поэтому в 1 л — 1 мкг.

**1 балл**

По условию содержание СО составляет 80 %, следовательно в 1 л воздуха содержится 0,8 мкг СО.

**1 балл**

$$n(\text{СО}) = m / M = 8 \cdot 10^{-7} \text{ г} / 28 \text{ г/моль} = 2,86 \cdot 10^{-8} \text{ моль.}$$

**2 балла**

$$N(\text{СО}) = n \cdot N_A = 2,86 \cdot 10^{-8} \text{ моль} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} = 1,72 \cdot 10^{16} \text{ молекул.}$$

**3 балла**



**1 балл**

1 л воздуха содержит  $2,86 \cdot 10^{-8}$  моль, поэтому 5 м<sup>3</sup> содержат  $1,43 \cdot 10^{-4}$  моль.

**1 балл**

$$n(\text{O}_2) = n(\text{СО}) / 2 = 7,15 \cdot 10^{-5} \text{ моль.}$$

**2 балла**

$$m(\text{O}_2) = n \cdot M = 7,15 \cdot 10^{-5} \text{ моль} \cdot 32 \text{ г/моль} = 2,29 \text{ мг.}$$

**3 балла**



**1 балл**

По условию задачи в 1,0 м<sup>3</sup> воздуха содержится 1,3 мг СО<sub>2</sub>.

$$n(\text{СО}_2) = m / M = 0,0013 \text{ г} / 44 \text{ г/моль} = 2,95 \cdot 10^{-5} \text{ моль} = n(\text{NaOH}).$$

**2 балла**

$$m(\text{NaOH}) = 2,95 \cdot 10^{-5} \text{ моль} \cdot 40 \text{ г/моль} = 1,18 \text{ мг.}$$

**3 балла**

### Задача 3 (20 баллов).

$$1. M(\text{газа А}) = p \cdot V_m = 1,96 \text{ г/дм}^3 \cdot 22,4 \text{ дм}^3/\text{моль} = 44 \text{ г/моль.}$$

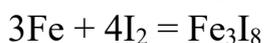
**1 балл**

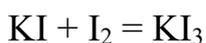
Заряд катионов в хлоридах отличается в 1,5 раза, справедливо предположить, что это ионы железа Fe<sup>2+</sup> и Fe<sup>3+</sup>.

**1 балл**

Тогда вещество А — KI, Б — Fe<sub>3</sub>I<sub>8</sub>, В — Fe, Г — I<sub>2</sub>, Д — Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. **10 баллов**

2. За каждое уравнение реакции выставляется **2 балла (всего 8 баллов):**



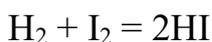
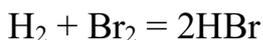
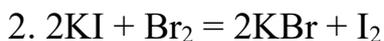
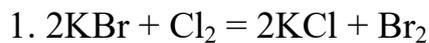


#### Задача 4 (20 баллов).

Вещество 1 — хлор ( $\text{Cl}_2$ ), 2 — бром ( $\text{Br}_2$ ), 3 — иод ( $\text{I}_2$ ).

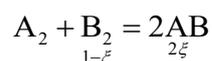
**6 баллов**

За каждое уравнение реакции выставляется **2 балла (всего 14 баллов)**:



5. Возгонка (сублимация).

#### Задача 5 (20 баллов).



Рассчитаем  $\Delta S_{298}^\circ = 2 \cdot 24,0 - (50,0 + 15,0) = -17,0 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

**5 баллов**

Рассчитаем константу равновесия:

$$K_p = \exp\left(-\frac{-20000}{8,31 \cdot 973} + \frac{-17}{8,31}\right) = 1,53$$

**5 баллов**

Запишем выражение для константы равновесия через химическую переменную, используя закон Дальтона ( $P_i = x_i P$ ), и решим получившееся квадратное уравнение:

$$K_p = \frac{\left(\frac{2\xi}{1+\xi} \cdot 10\right)^2}{\left(\frac{1-\xi}{1+\xi} \cdot 10\right)^2} = \frac{400\xi^2}{(1+\xi)^2} \cdot \frac{(1+\xi)^2}{100(1-\xi)^2} = \frac{4\xi^2}{(1-\xi)^2}$$

$$\frac{4\xi^2}{(1-\xi)^2} = 1,53; \xi = 0,38 \text{ моль}$$

**5 баллов**

Состав равновесной смеси:  $[\text{A}_2] = [\text{B}_2] = 1 - 0,38 = 0,62 \text{ моль}$ ;  $[\text{AB}] = 2 \cdot 0,38 = 0,76 \text{ моль}$ .

**2 балла**

При увеличении температуры равновесие сместится в сторону исходных веществ, так как реакция экзотермическая.

**1 балл**

При увеличении давления равновесие практически не сместится, так как не изменяется число молей газообразных веществ.

**1 балл**

При введении катализатора равновесие не смещается.

**1 балл**

## 10-й класс

### Задача 1 (15 баллов).

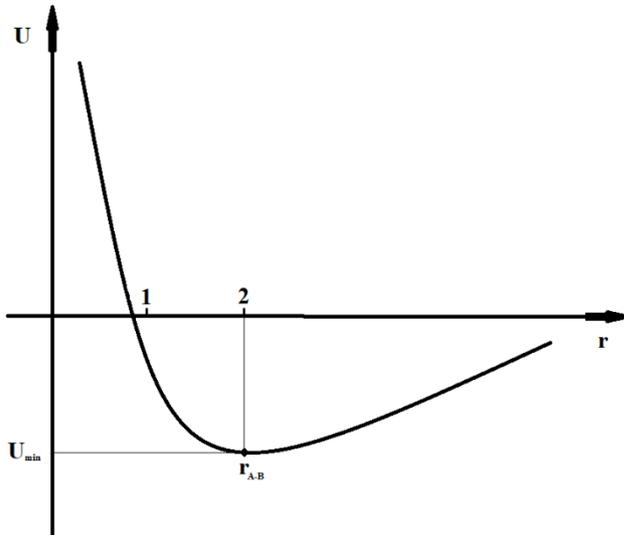
Принцип Паули запрещает нахождение двух электронов на одной орбитали в одном и том же состоянии. Они должны обязательно различаться. В частности, если у одного электрона спин направлен в одну сторону, то у другого — в противоположную. Таким образом, белый и чёрный цвета взаимно исключают одинаковое состояние. **5 баллов**

Общее число электронов исходного атома равно 6 (атом углерода). **5 баллов**

Электронная конфигурация в возбуждённом состоянии:  $1s^2 2s^1 2p^3$ . **5 баллов**

### Задача 2 (20 баллов).

Так как  $U_{\text{полн.}} = U_{\text{притяж.}} + U_{\text{отт.}} = -8 / r_{\text{A-B}} + \exp(2 / r_{\text{A-B}})$ , то строим в декартовых координатах зависимость  $U_{\text{полн.}}$  от  $r_{\text{A-B}}$ . Находим минимум функции около  $r_{\text{A-B}} = 2$ , что соответствует соприкасающимся атомам. **10 баллов**



**10 баллов**

### Задача 3 (20 баллов).

Запишем уравнение для скорости химической реакции:

$$v = k \cdot P_A^a \cdot P_B^b \quad \text{3 балла}$$

Согласно закону Дальтона:  $P = P_A + P_B$  **2 балла**

$$\text{Значит, } v = k \cdot P_A^a \cdot (P - P_A)^b \quad \text{3 балла}$$

Функция  $v$  проходит через экстремум, если производная по  $P_A$  обращается в ноль.

Значит,

$$\frac{dv}{dP_A} = k[aP_A^{a-1}(P - P_A)^b - bP_A^a(P - P_A)^{b-1}] = 0 \quad \text{3 балла}$$

Сократим уравнение на общие сомножители и получим

$$a(P - P_A) = bP_A \quad \text{4 балла}$$

или

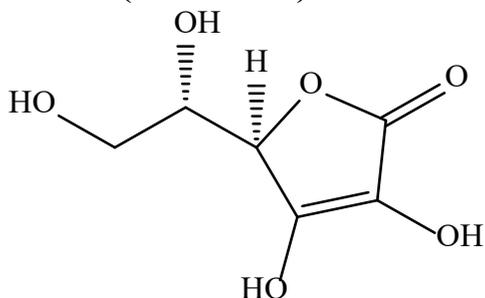
$$\frac{P_B}{P_A} = \frac{b}{a}$$

2 балла

Окончательно  $P_A:P_B = a:b$ , т. е. реагенты должны быть взяты в стехиометрических соотношениях.

3 балла

**Задача 4 (15 баллов).**



1.

5 баллов

2. Аскорбиновая кислота.

5 баллов

3.  $m(\text{вит. С в одном апельсине}) = 170 \text{ г} \cdot 0,053 / 100 = 0,09 \text{ г}$ .

0,09 г — 1 апельсин

0,1 г — X апельсинов. X = 1,11 апельсина.

Усваивается 60 %, поэтому:

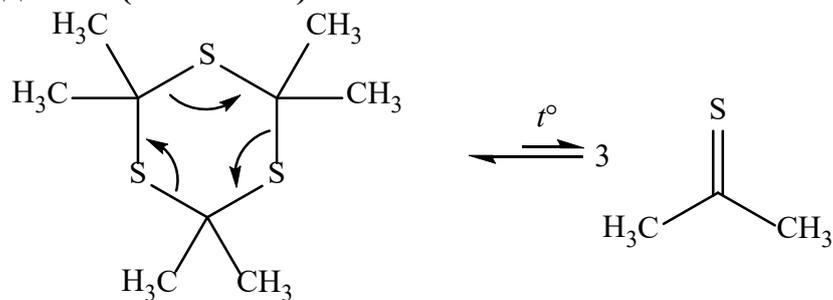
1,11 апельсина — 60 %

Y — 100%

Y = 1,85  $\approx$  2 апельсина.

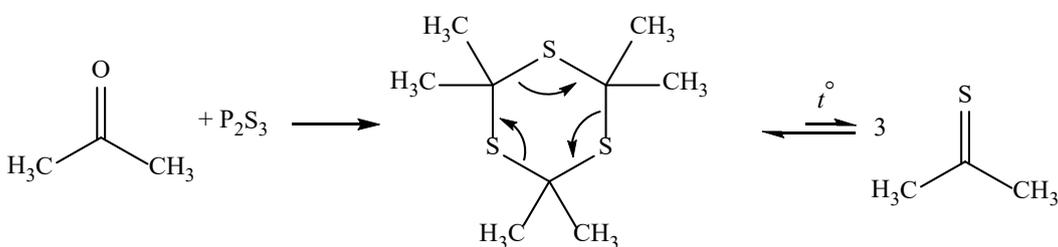
5 баллов

**Задача 5 (15 баллов).**



1.

5 баллов



2.

5 баллов

3.  $V = 4/3\pi R^3 = 4/3 \cdot 3,14 \cdot 0,002^3 = 3,35 \cdot 10^{-5} \text{ дм}^3 = 0,0335 \text{ см}^3$ .

$m = V\rho = 0,0335 \text{ см}^3 \cdot 0,88 \text{ г/см}^3 = 0,03 \text{ г}$ .

$n = 0,03 / 74 = 0,0004 \text{ моль}$ .

$N(\text{атомов}) = 0,0004 \text{ моль} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} = 2,41 \cdot 10^{20} \text{ атомов}$

5 баллов

### Задача 6 (15 баллов).

1. Написание спонтанного процесса превращения нейтрона в протон в ядре трития:



2. Написание процесса бета-распада трития в составе молекулы однократно меченного тритием метана, а именно:



3. Написание процесса метилирования бензола, а именно:



4. Расчёт количества образовавшихся метил-катионов за время  $t$ :

$$N_{\text{расп.}} = N_0 - N_t$$

$$N_{\text{расп.}} = N_0(1 - (1/2)^{t/T}) = 9,71 \cdot 10^{16}$$

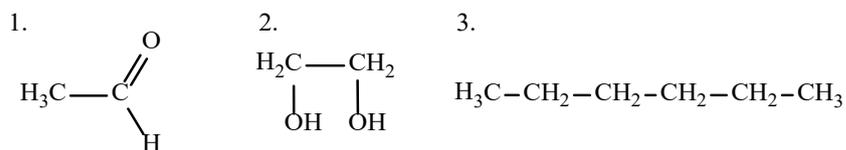
**4 балла**

5. Расчёт массы образовавшегося толуола:

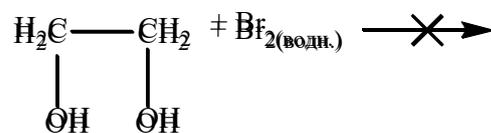
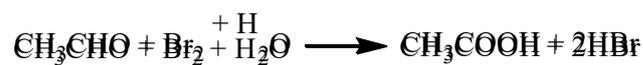
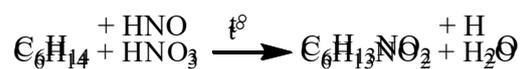
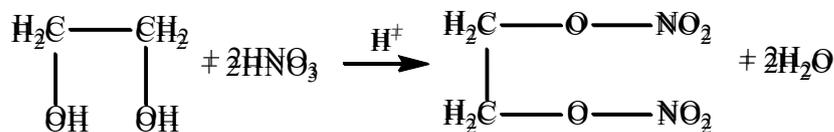
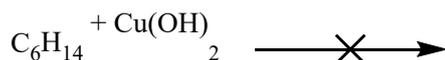
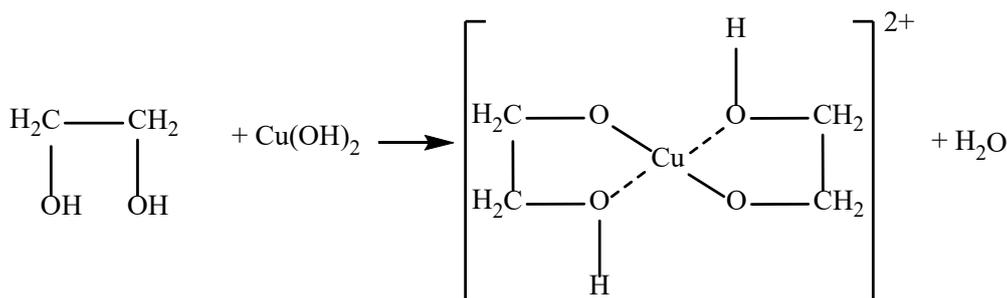
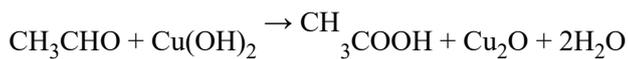
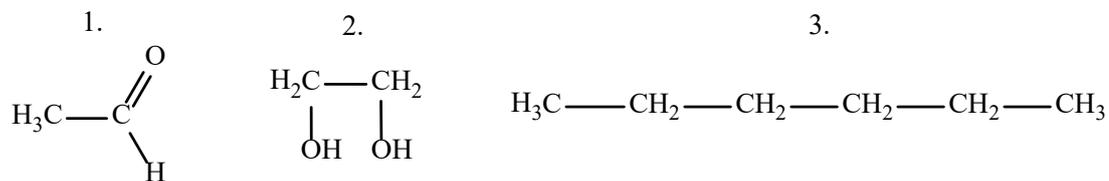
$$m_{\text{толуол}} = N_{\text{расп.}} \cdot M_{\text{толуол}} / 6 \cdot 10^{23} = 1,49 \cdot 10^{-5} = 14,9 \text{ мкг}$$

**4 балла**

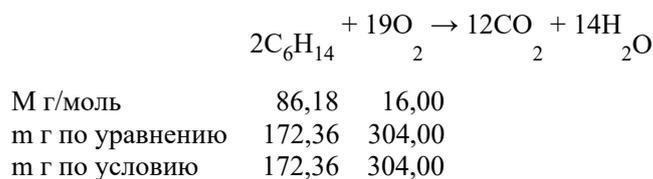
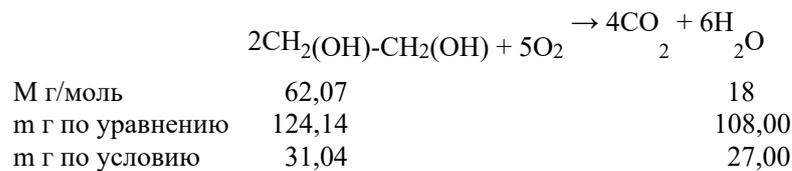
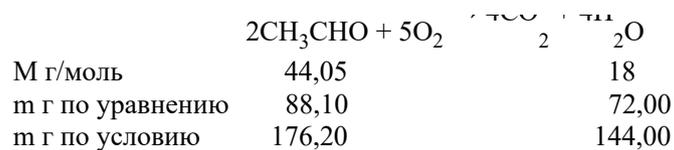




2. За написание реакций выставляется **1 балл (всего 9 баллов)**:



3. За проведение расчётов выставляется **5 баллов**:



#### Задача 4 (15 баллов).

Преобразуем исходную формулу таким образом, чтобы длина волны непосредственно вычислялась подстановкой параметров  $R$ ,  $n$  и  $n'$ , т. е.

$$\lambda = \frac{1}{R \left( \frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right)}$$

Видимая область света соответствует длинам волн  $\lambda = 380\text{--}400$  нм ( $3,8\text{--}7,8 \cdot 10^{-7}$  м).

Подставляя целые числа вместо  $n$  и  $n'$ , получаем для серии с  $n' = 1$  значения ниже интервала длин волн видимого света:  $1 / (10967758 \cdot (1 - 1/4)) = 1,2 \cdot 10^{-7}$  м.

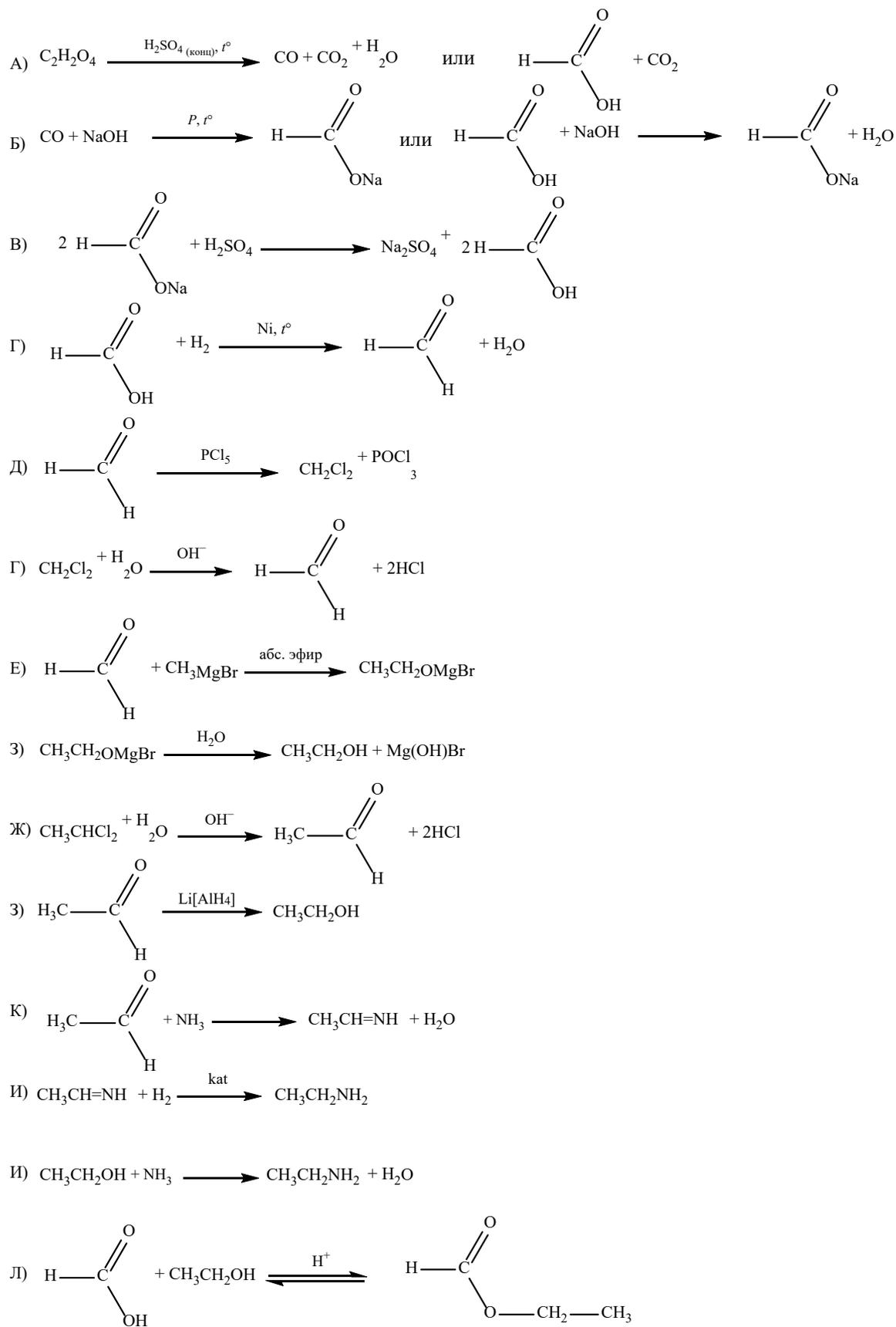
#### 5 баллов

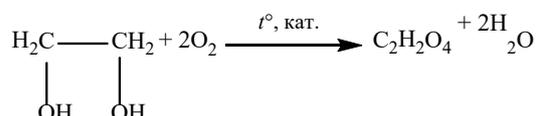
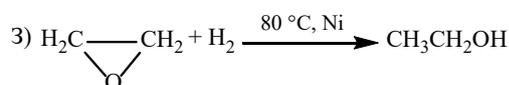
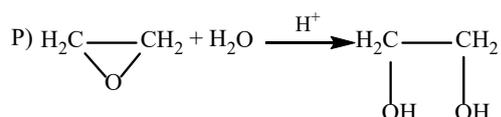
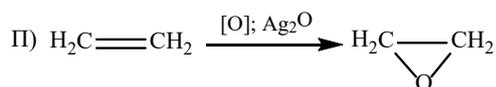
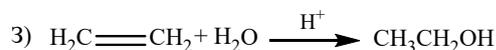
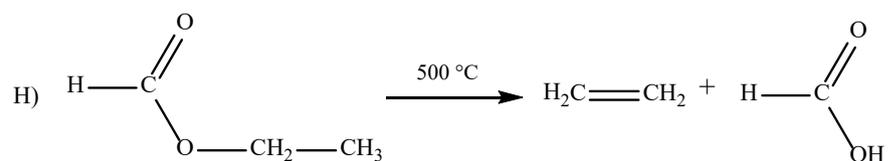
Для серии с  $n' = 3$  получаем  $1 / (10967758 \cdot (1/9 - 1/16)) = 1,9 \cdot 10^{-6}$  м. **5 баллов**

В видимую область спектра попадает серия Бальмера:  $1 / (10967758 \cdot (1/4 - 1/9)) = 6,6 \cdot 10^{-7}$  м. **5 баллов**

#### Задача 5 (20 баллов).

За каждое уравнение реакции выставляется **1 балл (всего 20 баллов)**:





### Задача 6 (15 баллов)

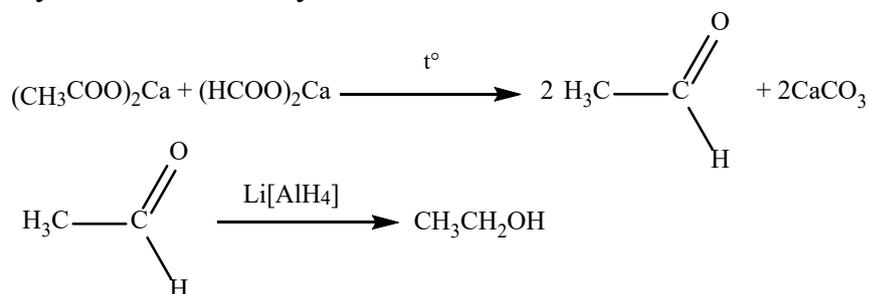
За каждое уравнение реакции выставляется **2 балла (всего 14 баллов)**.

Найдём количество вещества I. При сгорании 1 моль этого вещества даёт 1366,60 кДж энергии, таким образом 341,65 кДж будет выделяться при сгорании 0,25 моль вещества I.

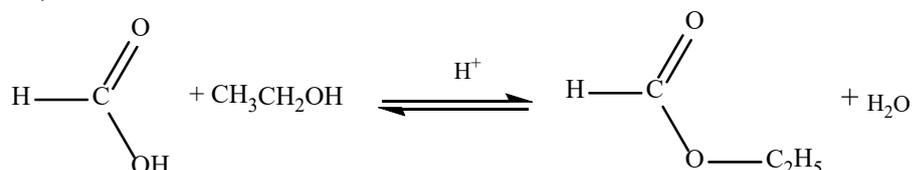


#### 1 балл

Далее по следующей цепочке устанавливаем вещество I:

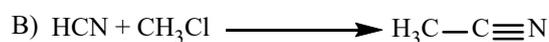
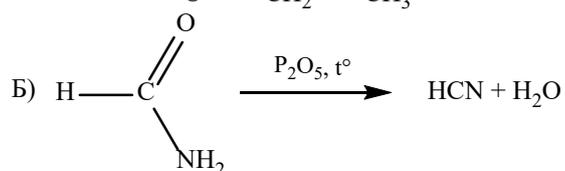
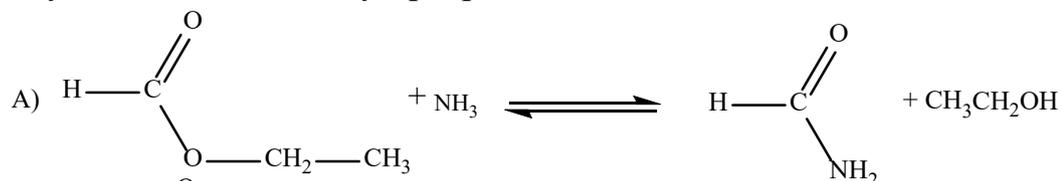


При эквимольном взаимодействии веществ I и II получается 0,25 моль эфира (вещества III).



По полученному количеству вещества и известной массе устанавливаем молярную массу вещества III (этилформиата): 74,08 г/моль. Вычитая молярную массу этанола и добавляя молярную массу воды, получаем молярную массу кислоты, входящей в состав эфира: муравьиной ( $M = 74,08 - 46,07 + 18 = 46,01$ ).

Далее осуществляем цепочку превращений:



## Заключительный этап

### 8-й класс

#### Задача 1.

Соединение I.

Предположим, что его формула  $Fe_xO_y$ , тогда соотношение количеств атомов можно найти, зная из массовые доли:

$$x : y = n(Fe) : n(O) = 72,4/56 : 27,6/16 = 1,29 : 1,725 = 1 : 1,33.$$

Из этого соотношения можно сделать целочисленное, умножив на 3:

$$x : y = 3 : 4, \text{ то есть формула этого соединения } Fe_3O_4 \text{ (это дальтонид).}$$

Соединение II.

Предположим, что его формула  $Mn_xO_y$ , тогда действуем аналогично:

$$x : y = n(Mn) : n(O) = 70,33/55 : 29,67/16 = 1,279 : 1,854 = 1 : 1,45.$$

Из такого соотношения невозможно получить разумное целочисленное, это типичный бертоллид, формулу которого можно записать как  $MnO_{1,45}$ .

Аналогично можно установить формулы соединений III-VI с известными элементами:

III —  $VO_{2,18}$ , бертоллид;

IV —  $Pb_2O_3$ , дальтонид;

V —  $FeO_{1,19}$ , бертоллид;

VI —  $Co_3O_4$ , дальтонид.

Теперь установим элемент X и формулу оксида VII.

В общем виде, формулу оксида можно записать как  $X_2O_n$ , где n – степень окисления элемента X. Обозначим за M его молярную массу. Тогда зная массовую долю X в оксида можно составить уравнение:

$$\omega(X) = M \cdot 2 / (M \cdot 2 + 16n) = 0,748$$

$$2M = 0,748(M \cdot 2 + 16n)$$

$$0,504M = 11,968n$$

$$M = 23,75n$$

Перебирая n, можно установить элемент X:

Степень окисления n	1	2	3	4	5	6	7	8
Атомная масса X	23,75	47,5	71,25	95	118,75	142,5	166,25	190
Возможный элемент X	—	—	—	—	—	—	—	Os

Значит, формула оксида VII —  $OsO_4$ , так как молярная масса получена для n = 8. Это дальтонид.

Аналогично можно установить Y и формулу соединения VIII — S, S<sub>2</sub>O, так же дальтонид.

*Разбалловка*

Установление формул I–VIII с помощью расчётов — по 2 балла за каждую формулу, всего 16 баллов

Установление X и Y — по 2,5 балла за каждый элемент, всего 5 баллов

Определение принадлежности к дальтонидам и бертоллидам соединений I–VIII — по 0,5 балла, всего 4 балла.

### **Задача 2.**

Обозначим металлы как Me и Me\*, а галоген — Г. Имеем соотношения:

$$M(\text{Me}\Gamma_3) / M(\text{Me}^*\Gamma_3) = 0,584$$

$$M(\text{Me}) / M(\text{Me}^*) = 0,221 \quad (5 \text{ баллов})$$

Пусть  $x = M(\text{Me})$ ,  $y = M(\text{Me}^*)$ ,  $z = M(\Gamma)$ . Тогда соотношение будет выглядеть так:

$$x + 3z / y + 3z = 0,584$$

$$x / y = 0,221$$

Это не что иное как система уравнений:

$$\begin{cases} \frac{x + 3z}{y + 3z} = 0,584 \\ \frac{x}{y} = 0,221 \end{cases} \quad (5 \text{ баллов})$$

Из второго уравнения:

$$x / y = 0,221$$

$$x = 0,221 y$$

Из первого уравнения:

$$x + 3z = 0,584 (y + 3z)$$

Подставляем в это уравнение вывод, полученный выше:

$$0,221 y + 3z = 0,584 (y + 3z)$$

Решаем это уравнение, чтобы упростить его:

$$0,221 y + 3z = 0,584 y + 0,584 \cdot 3z$$

$$0,221 y + 3z = 0,584 y + 1,752z$$

$$0,221 y - 0,584 y = -3z + 1,752z$$

$$y = 3,438z$$

Но  $z$  — это молярная масса галогена. Далее задачу будем решать методом подбора. Будем подставлять вместо  $z$  атомную массу различных галогенов и вычислять  $y$ . Если  $y$  совпадёт с молярной массой какого-либо металла, проявляющего валентность 3, то решение будет найдено.

1. Пусть  $z = 19$  (фтор). Тогда  $y = 3,438 \cdot 19 = 65,32$ . То есть  $M(\text{Me}) = 65$ . Такая молярная масса соответствует цинку. Но цинк в соединениях двухвалентен, следовательно, данный случай не является решением. **5 баллов**

2. Пусть  $z = 35,5$  (хлор). Тогда  $y = 3,438 \cdot 35,5 \approx 122$ . Такая молярная масса соответствует сурьме. Сурьма же действительно может проявлять валентность III. Найдём другой металл:  $x = 0,221 \cdot y$ . Тогда  $x = 0,221 \cdot 122 \approx 27$ . Второй металл – алюминий. Следовательно, качественный состав галогенидов:  $\text{SbCl}_3$ ,  $\text{AlCl}_3$ .

**5 баллов**

3. Убедимся, что больше решений нет. Пусть  $z = 80$  (бром). Тогда,  $y = 3,438 \cdot 80 = 275$ . Металла с такой большой молярной массой нет. Значит подставлять и дальше нет смысла. **5 баллов**

### Задача 3.

Проще всего решение начать с реакции 3. При взаимодействии металла с водой образуется раствор гидроксида этого металла (вещество **B**) и выделяется водород (газ **D**). В реакции 5 при взаимодействии гидроксида металла (**B**) с углекислым газом образуется карбонат этого металла (соль **E**). Зная массовую долю металла в этой соли, можно установить металл.

$\text{X}(\text{OH})_n + \text{CO}_2 = \text{X}_2(\text{CO}_3)_n + \text{H}_2\text{O}$ , где  $n$  — степень окисления металла в соединениях

$$w(X) = \frac{2M(X)}{2M(X) + 60n} = 0,5652$$

$$2M(X) = 0,5652(2M(X) + 60n)$$

$$0,8696M(X) = 33,912$$

При  $n = 1$  получаем  $M(X) = 39$  г/моль, **X** — это калий, **E** —  $\text{K}_2\text{CO}_3$ . Таким образом, **B** —  $\text{KOH}$ .

Теперь можно установить формулу **A**.



$x : y = n(\text{K}) : n(\text{O}) = 54,94/39 : 45,06/16 = 1,41 : 2,82 = 1:2$ , это  $\text{KO}_2$ . **3 балла**

Газ **C**, образующийся при взаимодействии  $\text{KO}_2$  с водой — это кислород (реакция 2).

1. Зашифрованные вещества:

**X** — K

**A** —  $\text{KO}_2$

**B** —  $\text{KOH}$

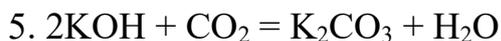
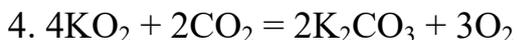
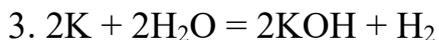
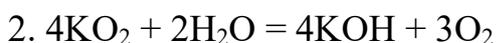
**C** —  $\text{O}_2$

**D** —  $\text{H}_2$



(7 баллов)

2. Уравнения реакций:



10,5 баллов

3. Поташ (от него произошло латинское название калия)

1,5 балла

4. Применяется для регенерации атмосферы в условиях, когда это невозможно естественными путями (подводные лодки, изолирующие противогазы). (2 балла)

#### Задача 4.

Во втором периоде нет твёрдых оксидов кислотного характера.

Рассмотрим третий период:

	$Na_2O$	$MgO$	$Al_2O_3$	$SiO_2$	$P_2O_5$
с $H_2O$ (хол.)	+	—	—	—	+
с $HCl$	2 моль	2 моль	6 моль	—	—
с $NaOH$ (хол.)	—	—	+	+	+

$$M_1 \cdot x + M_2 \cdot x + M_3 \cdot x = 242$$

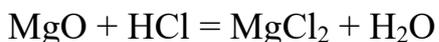
$$M_2 \cdot x + M_3 \cdot x = 202$$

$$M_3 \cdot x = 60$$

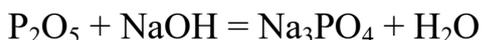
$$v(HCl) = \frac{365 \cdot 0,2}{36,5} = 2 \text{ моль}$$

Следовательно, элемент № 1 — Mg, № 2 — Si, № 3 — P.

(5 баллов)



(5 баллов)



(5 баллов)



(5 баллов)



(5 баллов)

#### Задача 5.

- Масса металла =  $203,40 - 67,32 = 136,08$  г.

- Масса добавленной в колбу воды =  $291,40 - 203,40 = 88$  г

- С учётом плотности воды добавлено в колбу  $88 \text{ см}^3$  воды => остальной объём занимает металл.

• Объем мерной колбы =  $100 \text{ см}^3 \Rightarrow$  объем металла =  $100 - 88 = 12 \text{ см}^3$ . **(10 баллов)**

1. Плотность металла =  $11,34 \text{ г/см}^3 \Rightarrow$  металл = Рв. **(5 баллов)**

2. Хотя стоит в ряду напряжения до водорода, не растворяется в серной кислоте, т.к. на поверхности образуется нерастворимая в воде плёнка оксида/сульфата. **(5 баллов)**

3. Аккумуляторные батареи, грузила для рыбалки и т.д. Допускается любой правильный ответ. **(5 баллов)**

## 9-й класс

### Задача 1.

а)  $27x + 26(1 - x) = 26,98$  (5 баллов)

$x = 0,02$  (2 %, 98 %)

Б)  $M(^{27}\text{Al}_2^{16}\text{O}_3) = 102$  г/моль

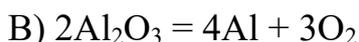
$M(^{27}\text{Al}_2^{17}\text{O}_3) = 105$  г/моль

$M(^{27}\text{Al}_2^{18}\text{O}_3) = 108$  г/моль

$M(^{26}\text{Al}_2^{16}\text{O}_3) = 100$  г/моль

$M(^{26}\text{Al}_2^{17}\text{O}_3) = 103$  г/моль

$M(^{26}\text{Al}_2^{18}\text{O}_3) = 106$  г/моль (5 баллов)

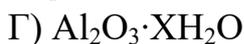


1 т = 1 000 000 г. Так как оксида алюминия 98 %, то  $m(\text{Al}_2\text{O}_3) = 980\,000$  г.

$n(\text{Al}_2\text{O}_3) = m/M = 980\,000 \text{ г} / 102 \text{ г/моль} = 9607,84$  моль.

$n(\text{Al}) = 9607,84 \text{ моль} \cdot 2 = 19215,68$  моль (теоретическое химическое количество)

$m_{\text{практ}}(\text{Al}) = 0,75 \cdot 19215,68 \text{ моль} \cdot 27 \text{ г/моль} = 389117,52 \text{ г} = 389,1 \text{ кг}$  (10 баллов)



$(16 \cdot 3 + 16x) / (102 + 18x) = 0,55$

$x = 1$ , формула боксита  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . (5 баллов)

### Задача 2.

А) **A** — аммиак  $\text{NH}_3$ , **B** —  $\text{HNO}_3$ , **C** —  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , **D** —  $\text{N}_2\text{O}$ . (3 балла)



### Задача 3.

При проведении опытов по идентификации веществ методом попарных взаимодействий:

1.  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  не даёт видимых эффектов реакций ни в одном случае. (5 баллов)

2. Наличие избытка  $\text{NaHSO}_4$  в двух опытах из трех даёт газ. (5 баллов)

3.  $\text{NaHCO}_3$  взаимодействует с  $\text{NaHSO}_4$  с выделением газа при любых соотношениях реагентов. (5 баллов)

4. Взаимодействие  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  с  $\text{NaHSO}_4$  приводит к выделению  $\text{CO}_2$  только в случае избытка кислой соли. (5 баллов)

Реакция в случае недостатка  $\text{NaHSO}_4$ :



При описании решения допускается любая логическая последовательность описания проведения опытов, однако правильное решение засчитывается только при наличии в решении описании эксперимента, в котором при избытке  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  взаимодействие с раствором  $\text{NaHSO}_4$  не приводит к выделению газообразного продукта реакции.

#### Задача 4.

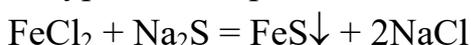
Обозначим некоторый металл как  $\text{Me}$ . Предварительно заметим, что сульфидов, которые можно осадить сероводородом из растворов не так много — это скорее всего  $\text{CuS}$ ,  $\text{PbS}$ ,  $\text{HgS}$ ,  $\text{Ag}_2\text{S}$ . Тогда сначала предположим, что степень окисления некоторого металла в сульфиде будет равна +2. Тогда формула этого сульфида будет  $\text{MeS}$ . Так как в двух порциях исходного раствора одинаковое количество хлорида металла и хлорида железа, то если в осадок выпадает 9,6 г сульфида металла в первом опыте, то точно такая же масса осадка этого сульфида образуется и во втором опыте. Это позволяет рассчитать массу сульфида железа(II) во втором опыте:

$$m(\text{FeS}) = 14 - 9,6 = 4,4 \text{ (г)}$$

Тогда найдём и массу хлорида железа(II) в порции:

$$n(\text{FeS}) = 4,4 / 88 = 0,05 \text{ (моль)} \quad (5 \text{ баллов})$$

По уравнению реакции:



$$n(\text{FeCl}_2) = 0,05 \text{ моль}; m(\text{FeCl}_2) = 0,05 \cdot 127 = 6,35 \text{ (г)} \quad (5 \text{ баллов})$$

Масса порции раствора в каждом из опытов:

$$m_{\text{порц}} = (39,7 + 500) / 2 \approx 269,9 \text{ г}$$

Находим массовую долю  $\text{FeCl}_2$  в исходном растворе:

$$w(\text{FeCl}_2) = 6,35 / 269,9 \approx 0,024 \text{ или } 2,4 \% \quad (5 \text{ баллов})$$

Рассчитаем массу хлорида металла в порции раствора в каждом из опытов. В каждой из двух порций масса хлоридов составит:

$$m(\text{FeCl}_2 + \text{MeCl}_2) = 39,7 / 2 = 19,85 \text{ г}$$

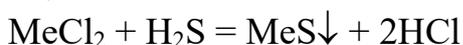
Тогда

$$m(\text{MeCl}_2) = 19,85 - 6,35 = 13,5 \text{ г}$$

Можно найти массовую долю хлорида металла (в том случае, если металл двухвалентен):

$$w(\text{MeCl}_2) = 13,5 / 269,9 \approx 0,05 \text{ или } 5,0\% \quad (5 \text{ баллов})$$

Задача практически решена, но следует убедиться, что металл действительно двухвалентен. В соответствие с уравнением реакции:



Составим и решим уравнение, в котором молярную массу металла обозначим за  $x$ :

$$\frac{13,5}{x + 71} = \frac{9,6}{x + 32}$$

Получаем:

$$3,9x = 249,6$$

$$x = 64 \text{ (г/моль)}. \quad (5 \text{ баллов})$$

Молярная масса металла совпадает с молярной массой меди. Тогда предположение о степени окисления металла верно, в исходной смеси был хлорид меди(II).

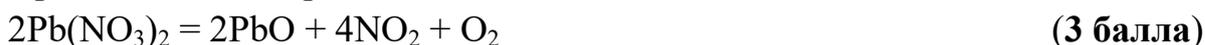
### Задача 5.

Вещество **А** — нитрат свинца(II), вещество **Б** — иодид калия. (4 балла)

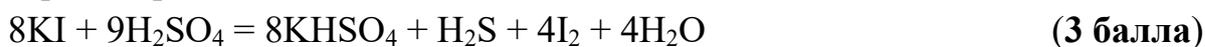
$$M(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = 331,2 \text{ г/моль}; M(\text{KI}) = 166 \text{ г/моль}.$$

Уравнения реакций (возможны и другие варианты, соответствующие условию задачи):

Прокаливание нитрата свинца:



Вещество **Б** восстанавливает концентрированную серную кислоту до сероводорода:



Вещество **А** взаимодействует с сероводородом:



Вещество **Б** взаимодействует с хлоридом меди(II):



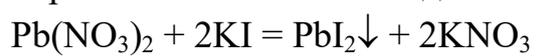
Вещество **Б** взаимодействует с хлоридом железа(III):



Кристаллы иодида калия придают пламени фиолетовое окрашивание за счёт наличия иона калия.

$$\frac{M(A)}{M(B)} = \frac{331,2}{166} \approx 2 \quad (3 \text{ балла})$$

Вернёмся к началу задачи. Взаимодействие А и Б приведёт к образованию жёлтого осадка:



**(3 балла)**

## 10-й класс

### Задача 1.

X = S.



A = Na<sub>2</sub>S (степень окисления = -2); B = Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> (S<sup>+4</sup>)



Из водного раствора при комнатной температуре кристаллизуется Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> · 10H<sub>2</sub>O.



D = Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (центральный атом S<sup>+4</sup>, терминальный — S<sup>0</sup>)

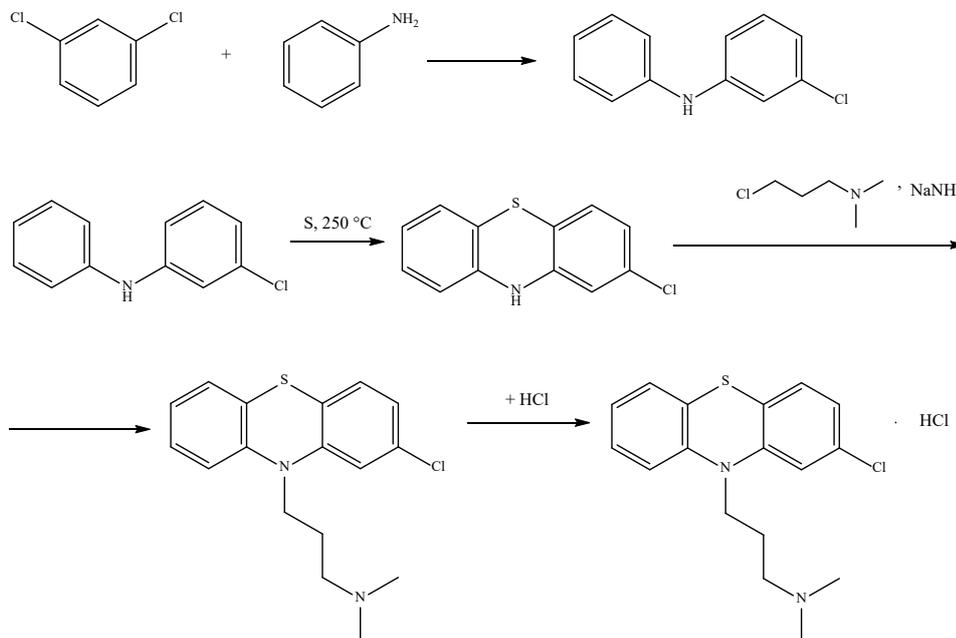


E = Na<sub>2</sub>S<sub>4</sub>O<sub>6</sub> (два атома — S<sup>+5</sup>, два атома — S<sup>0</sup>)



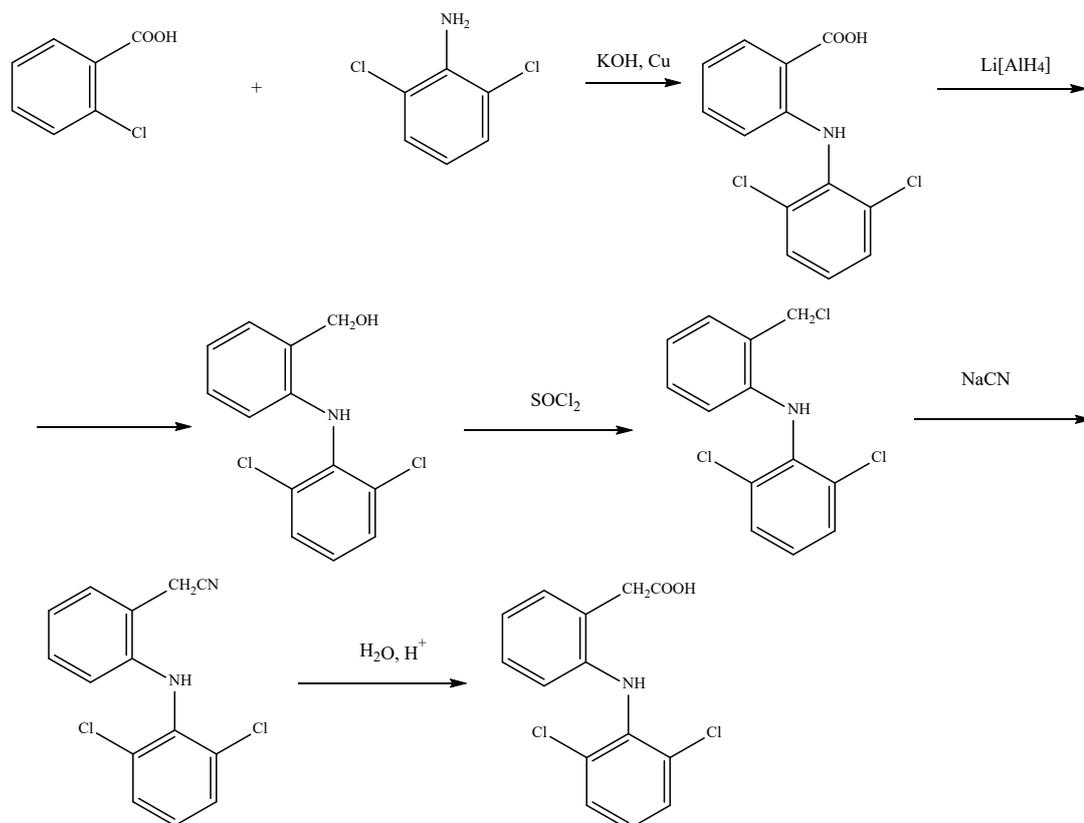
Принцип использования Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: стехиометрическая реакция с раствором иода в иодиде калия (иодометрия). Иод в водном растворе восстанавливается раствором тиосульфата натрия при титровании, точка эквивалентности фиксируется по исчезновению синей окраски иодкрахмального комплекса. (3 балла)

### Задача 2.



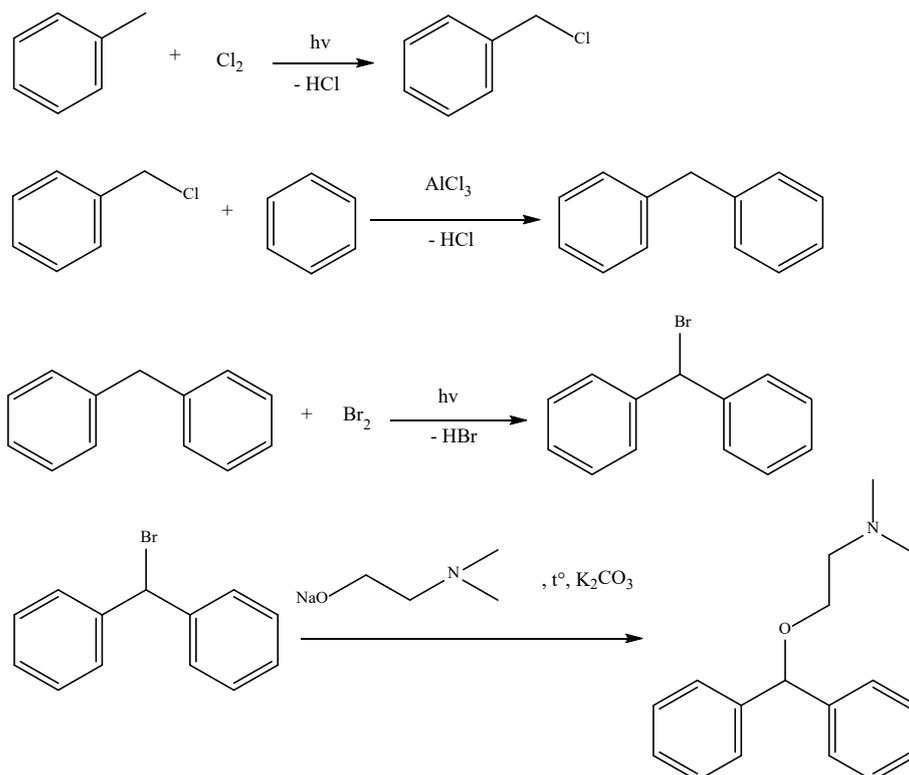
За каждое уравнение — **6,25 балла.**

**Задача 3.**



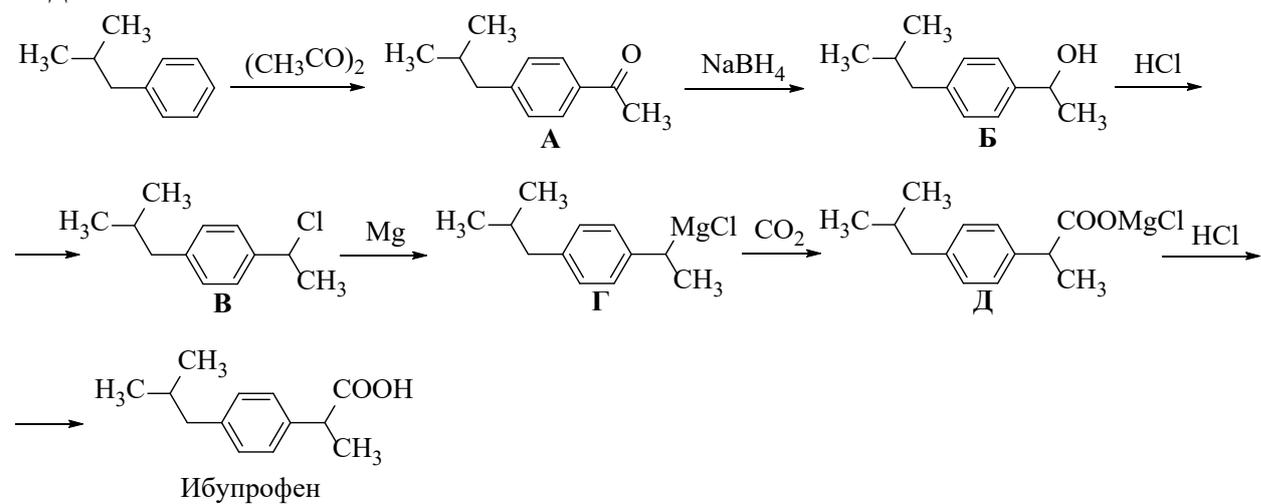
За каждое уравнение — **5 баллов.**

**Задача 4.**



За каждое уравнение — **6,25 балла.**

**Задача 5.**



За каждое уравнение — **4,2 балла.**

## 11-й класс

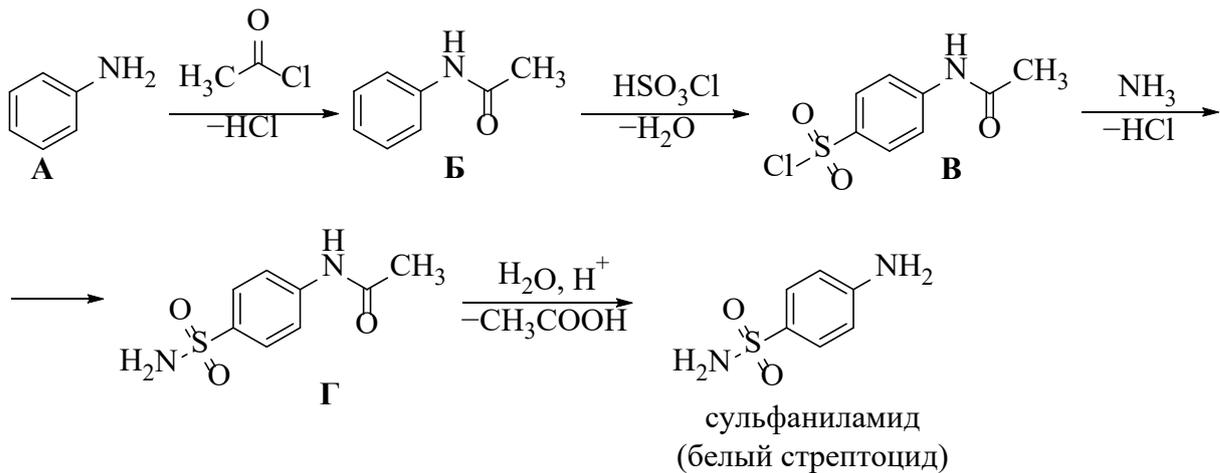
### Задача 1.

**X** — Pt, **A** —  $\text{H}_2[\text{PtCl}_6]$ , **B** —  $\text{K}_2[\text{PtCl}_6]$ , **C** —  $\text{K}_2[\text{PtCl}_4]$ , **D** — *цис*- $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ ,  
**E** —  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$ , **F** — *транс*- $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ , **G** —  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4][\text{PtCl}_4]$ . (1 балл)

1.  $3\text{Pt} + 4\text{HNO}_3 + 18\text{HCl} = 3\text{H}_2[\text{PtCl}_6] + 4\text{NO} + 8\text{H}_2\text{O}$
2.  $\text{H}_2[\text{PtCl}_6] + 2\text{KCl} = \text{K}_2[\text{PtCl}_6]\downarrow + 2\text{HCl}$
3.  $\text{K}_2[\text{PtCl}_6] + \text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6 = \text{K}_2[\text{PtCl}_4] + \text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6 + 2\text{HCl}$
4.  $\text{K}_2[\text{PtCl}_4] + 2\text{NH}_3$  (p-p) = *цис*- $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]\downarrow + 2\text{KCl}$
5. *цис*- $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]\downarrow \xrightarrow{t^\circ}$  *транс*- $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$
6.  $\text{K}_2[\text{PtCl}_4] + [\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2] = [\text{Pt}(\text{NH}_3)_4][\text{PtCl}_4]\downarrow + 2\text{KCl}$
7.  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4][\text{PtCl}_4] \xrightarrow{t^\circ, \text{HCl}}$   $2[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$
8. *цис*- $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2] \xrightarrow{210^\circ}$  *транс*- $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$

За каждое уравнение — 3 балла.

### Задача 2.



За каждое уравнение — 6,25 балла.

### Задача 3.

Геометрическая часть: расчёт общей поверхности детали.

- Боковая внешняя поверхность: площадь боковой поверхности усечённого конуса.

$$S_1 = \pi L(R + r); L = \sqrt{100^2 + 10^2} \quad (100 \text{ мм} — \text{катет № 1, } 10 \text{ мм} — \text{катет № 2})$$

$$R = 40 \text{ мм}, r = 30 \text{ мм}; \text{ тогда } S_1 = 22100 \text{ мм}^2 \quad (2,5 \text{ балла})$$

- Внутренняя поверхность: 6 одинаковых прямоугольников.

$$S_2 = 6ld; \quad l = 100 \text{ мм}; \quad d — \text{вычисляется из высоты равностороннего треугольника.}$$

Путь 1: в равностороннем треугольнике высота  $h = 20 \text{ мм} \Rightarrow d^2 = \left(\frac{d}{2}\right)^2 + h^2$

Путь 2: исходя из угла =  $60^\circ$   $h = \frac{d\sqrt{3}}{2}$  ( $\cos 60^\circ$ )

В обоих случаях:  $d = \frac{2h}{\sqrt{3}} \Rightarrow d = 23,1$  мм;  $S_2 = 13860$  мм<sup>2</sup> (2,5

балла)

• Верхняя поверхность: круг радиусом 30 мм за вычетом площади шестиугольника.

$$S_3 = \pi r^2 - S_6; \quad S_6 = 6 \cdot \frac{1}{2} dh = 1386 \text{ мм}^2$$

$$S_3 = \pi r^2 - S_6 = 2827 - 1386 = 1441 \text{ мм}^2 \quad (2,5 \text{ балла})$$

• Нижняя поверхность: круг радиусом 40 мм за вычетом площади шестиугольника.

$$S_4 = \pi R^2 - S_6 = 5026 - 1386 = 3640 \text{ мм}^2 \quad (2,5 \text{ балла})$$

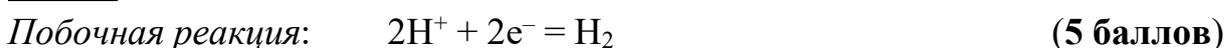
• Общая площадь металлических поверхностей втулки = 41041 мм<sup>2</sup>

Химическая часть: расчёт количества вещества.

$$V(\text{Ni}) = 41041 \cdot 0,05 = 2052 \text{ мм}^3 = 2,052 \text{ см}^3$$

$$M(\text{Ni}) = 2,052 \cdot 8,9 = 18,26 \text{ г}$$

$$n(\text{Ni}) = 18,26 / 58,69 = 0,311 \text{ моль}$$



$$n(e^-) = 2n(\text{Ni}) / 0,8 \text{ (с учётом выхода по току)} = 0,7775 \text{ моль}$$

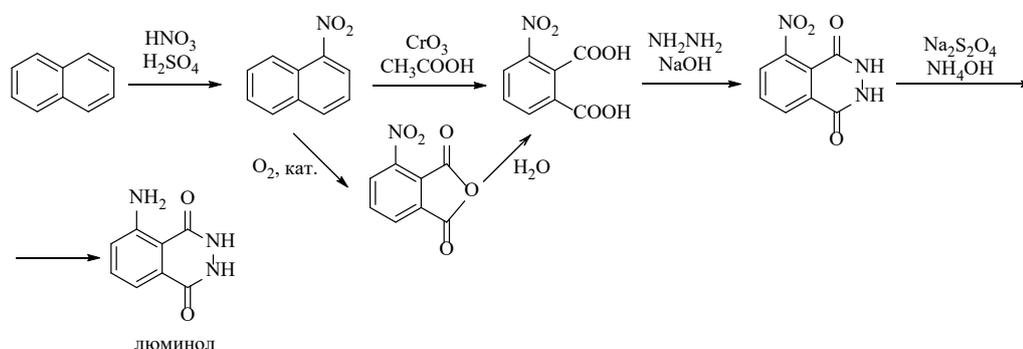
$$n(\bar{e}) = \frac{It}{F}, \text{ откуда } t = \frac{n(\bar{e})F}{I} = 50011 \text{ с} = 13,9 \text{ часов.}$$



$$n(\text{O}_2) = n(e^-) / 4 = 0,194 \text{ моль}$$

$$V(\text{O}_2) = \frac{0,194 \cdot 8,31 \cdot 298}{101300} = 0,00474 \text{ м}^3 = 4,74 \text{ л.} \quad (5 \text{ баллов})$$

#### Задача 4.



За каждое уравнение — 6,25 балла.

#### Задача 5.

В системе, представляющей собой насыщенный раствор малорастворимого гидроксида  $A(OH)_2$  протекают следующие реакции ( $x_i$  — глубина протекания реакции):



*Балансовые уравнения:*

$$c_{A^{2+}} = x_2$$

$$c_{OH^-} = x_1 + 2x_2$$

**(5 баллов)**

$$c_{H_3O^+} = x_1$$

*Законы равновесия:*

$$K_w = c_{H_3O^+} \cdot c_{OH^-} = x_1(x_1 + 2x_2) \quad (1),$$

$$ПР_{A(OH)_2} = c_{A^{2+}} \cdot c_{OH^-}^2 = x_2(x_1 + 2x_2)^2 \quad (2) \text{ (5 баллов)}$$

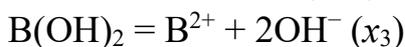
Вследствие того, что  $x_1 \ll x_2$ , сделаем допущение, что  $(x_1 + 2x_2) \approx 2x_2$ .

Тогда получим:

$$K_w = x_1 2x_2 = (c_{H_3O^+}) 2x_2 \Rightarrow x_2 = 0,5 \cdot 10^{-2,5} \quad (3),$$

$$ПР_{A(OH)_2} = 4x_2^3 = 0,5 \cdot 10^{-7,5} \quad (4).$$

Аналогично для  $B(OH)_2$ :



$$ПР_{B(OH)_2} = 4x_3^3 = 0,5 \cdot 10^{-6,9} \quad (5).$$

Запишем уравнения реакций, обозначив соответствующим образом глубины их протекания при одновременном присутствии обоих гидроксидов в водном растворе:



*Балансовые уравнения:*

$$c_{A^{2+}} = x_2'$$

$$c_{B^{2+}} = x_3'$$

$$c_{H_3O^+} = x_1'$$

**(5 баллов)**

$$c_{OH^-} = x_1' + 2x_2' + 2x_3'$$

*Законы равновесия:*

$$K_w = x_1'(x_1' + 2x_2' + 2x_3') \quad (6),$$

$$ПР_{A(OH)_2} = x_2'(x_1' + 2x_2' + 2x_3')^2 \quad (7),$$

$$ПР_{B(OH)_2} = x_3'(x_1' + 2x_2' + 2x_3')^2 \quad (8) \text{ (5 баллов)}$$

Упростим выражения 6–8 вследствие того, что  $x_1' \ll x_2'$  и  $x_1' \ll x_3'$ :

$$\begin{cases} K_w = 2x_1'(x_2' + x_3'), \\ \text{ПР}_{\text{A(OH)}_2} = 4x_2'(x_2' + x_3')^2, \\ \text{ПР}_{\text{B(OH)}_2} = 4x_3'(x_2' + x_3')^2. \end{cases} \quad (9).$$

Решая систему уравнений, находим значение  $x_1' = 1,87 \cdot 10^{-12}$ . Подставим полученное значение в формулу расчёта рН (10):

$$\text{pH} = -\lg c_{\text{H}_3\text{O}^+} = -\lg(1,87 \cdot 10^{-12}) \approx 11,73 \quad (5 \text{ баллов})$$

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ерёмин В. В., Кузьменко Н. Е., Лунин В. В. и др. Химия 10 класс (профильный уровень). М.: Дрофа, 2008.
2. Ерёмина Е. А., Рыжова О. Н. Справочник школьника по химии. М.: Экзамен, 2006.
3. Кузьменко Н. Е., Ерёмин В. В., Попков В. А. Начала химии. Современный курс для поступающих в ВУЗы. 9-е изд., перераб. и доп. М.: Экзамен, 2005.
4. Кузьменко Н. Е., Ерёмин В. В. 2500 задач по химии с решениями (для поступающих в вузы). М.: ОНИКС 21 век; Мир и образование, 2002.
5. Лидин Р. А., Молочко В. А., Андреева Л. Л. Химические свойства неорганических веществ: уч. пособие для вузов. 3-е изд., испр. М.: Химия, 2000.
6. Школьные олимпиады СПбГУ 2020. Химия: учеб.-метод. пособие / под ред. В. Д. Хрипуна. — СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2020.
7. Карцова А. А., Лёвкин А. Н. Химия: 10 класс: уч. пособие для учащихся общеобразовательных организаций (углублённый уровень). М.: Вентана-Граф, 2016.