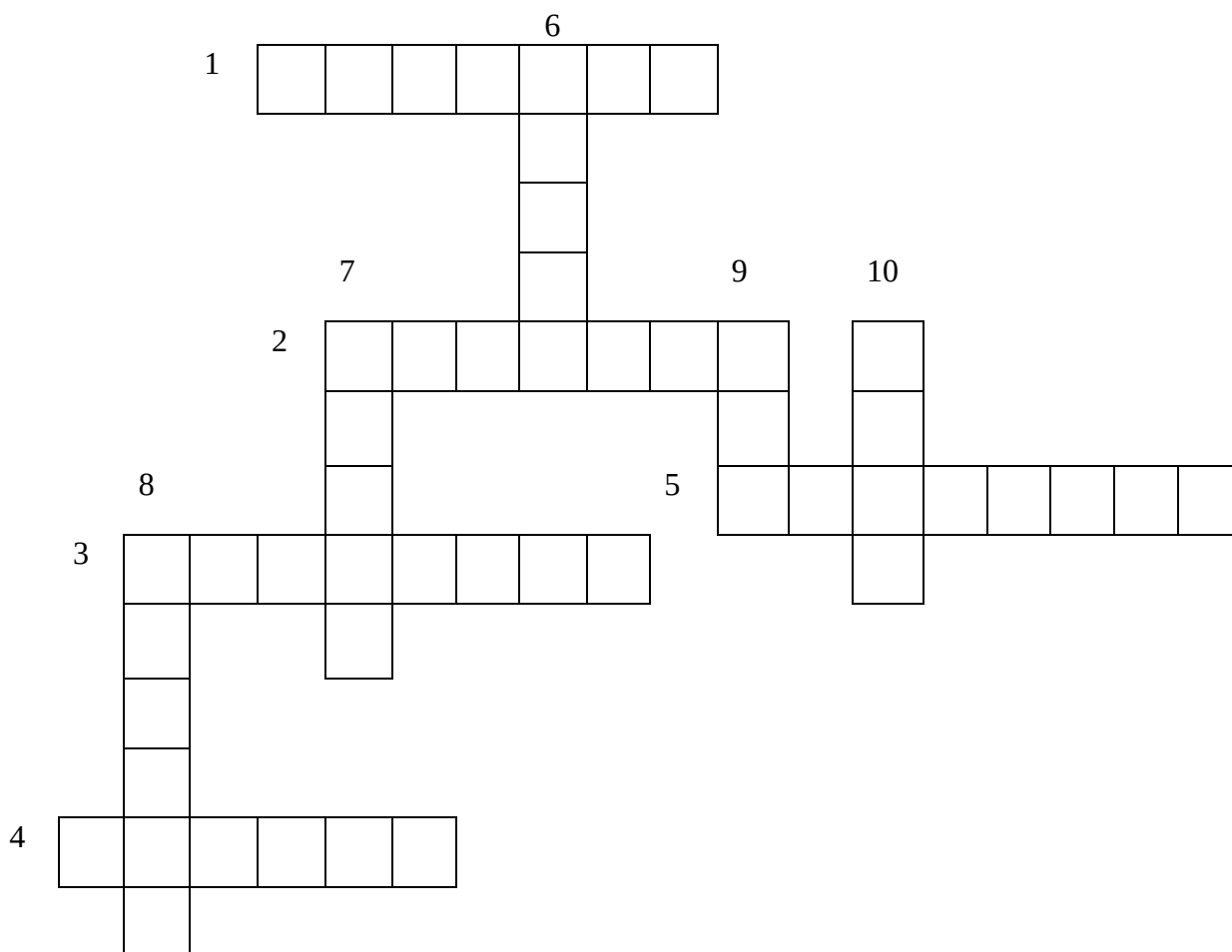


Задача 1. Химический кроссворд

В этой задаче вам необходимо расшифровать кроссворд. В пустые клетки впишите буквы так, чтобы получились слова.



1. Самый распространенный элемент во Вселенной.
2. Ионы этого металла окрашивают пламя спиртовки в кирпично-красный.
3. Сосуд цилиндрической формы, который используется для проведения реакций в малом объеме.
4. Металл, который чаще всего используется для изготовления ювелирных изделий.
5. Стабильный изотоп водорода с атомной массой, равной 2.
6. Ядовитый металл, который при комнатной температуре находится в жидком состоянии.
7. Стекланный сосуд с длинным горлышком, используемый для проведения химических реакций.
8. Элементарная частица, имеющая положительный заряд.
9. Этот элемент с древнегреческого переводится как "фиалкоподобный" из-за цвета его паров.
10. Этот выпускник МФТИ получил Нобелевскую премию в 2010 году за получение графена.

Задача 2. Химия в помощь питомцам

На Физтехе расположено множество лабораторий самого различного профиля. Этой осенью Лаборатория доклинических исследований МФТИ получила задание на разработку технологии синтеза активных фармацевтических субстанций «тилетамин» и «золазепам», входящих в состав комбинированного препарата «Телазол».



Телазол предназначен для общей анестезии и широко применяется для обезболивания кошек, собак и более крупных млекопитающих (даже белых медведей!). Цитаты из инструкции по применению препарата:

«Непосредственно перед применением во флакон с лекарственным препаратом вводят 5 мл воды для инъекций с соблюдением правил асептики. Концентрация полученного раствора составляет 100 мг активных веществ в 1 мл препарата... Приготовленный раствор для инъекций содержит в 1 мл в качестве действующих веществ: 50 мг тилетамина, 50 мг золазепама, а в качестве вспомогательного вещества – 57,7 мг маннитола.»

1. Молярная масса тилетамина составляет 223 г/моль, а молярная масса золазепама – 286 г/моль. Во сколько раз тилетамина больше, чем золазепама по массе? Во сколько раз тилетамина больше, чем золазепама по количеству вещества?

В ответ для каждого вопроса введите только число, с точностью до сотых.

«Телазол применяют глубоко внутримышечно при следующих показаниях в дозах:

Собаки:

- Клинический осмотр — 7–10 мг/кг;
- Кратковременная общая анестезия при мелких хирургических вмешательствах — 10–13 мг/кг;
- Длительная общая анестезия при обширных и болезненных хирургических вмешательствах — не более 25 мг/кг.

Максимально допустимая доза составляет 29 мг/кг.

Кошки:

- Клинический осмотр — 10–12 мг/кг;
- Кратковременная общая анестезия при мелких хирургических вмешательствах — 10,5–12,5 мг/кг;
- Длительная общая анестезия при обширных и болезненных хирургических вмешательствах — 14–16 мг/кг. Максимально допустимая доза составляет 72 мг/кг».

2. Рассчитайте, какой объём препарата в мл, разведённого по инструкции, необходимо ввести кошке весом 4 кг для проведения небольшой операции. Используйте средние значения концентраций.

Ответ округлите до десятых.

Объём крови у нашей кошки составляет 230 мл. Предположим, что после введения весь препарат поступает в кровь.

3. Какая концентрация активных веществ в мг/л, будет наблюдаться в начальный момент времени?

Ответ округлите до целых.

Как только вещества поступили в кровь, организм сразу начинает разрушать их. Каждые 40 минут концентрация препарата уменьшается вдвое. Когда концентрация препарата становится меньше 30 мг/л, кошка просыпается.

4. Через сколько часов после введения Телазола кошка должна проснуться?

Ответ округлите до целых.

Задача 3. Зубной порошок



Зубные порошки относятся к древнейшим средствам личной гигиены полости рта. В древнеегипетском папирусе Эберса упоминается рецепт, применявшийся ещё с 3500 г. до н.э.: для очистки зубов от остатков пищи и налёта использовали пепел внутренностей быка, мирру, растертую яичную скорлупу и пемзу. Гиппократ рекомендовал приготавливать зубной порошок путем смешивания золы после

сжигания одного зайца и трех мышей, древние римляне пользовались толчеными панцирями крабов и раковинами устриц. В России при Петре I действовал особый указ, обязывающий бояр чистить зубы мелом.

Зубной порошок по-прежнему применяется, стоматологи рекомендуют использовать его не чаще, чем 2–3 раз в неделю. Интересно, что за прошедшие века ключевой компонент зубного порошка практически не изменился – его основой обычно является белое мелкодисперсное вещество А. В более дорогие продукты дополнительно добавляют эфирные масла, синтетические ароматизаторы и подсластители, активированный уголь, поверхностно-активные вещества и другие компоненты.

Юный химик решил проанализировать образец зубного порошка. Ему удалось выяснить, что он практически не растворяется в воде, но растворяется в уксусе с бурным выделением пузырьков бесцветного газа, не имеющего запаха.

1. Определите химическую формулу вещества А, если известно, что содержание металла в нём составляет 40,00 %.

Укажите формулу вещества в ответе.

2. Какой процент чистого вещества А содержится в зубном порошке, если для полного растворения 5,00 г порошка требуется 64 мл раствора уксусной кислоты (CH_3COOH) с массовой долей 9 %? Для расчётов примите плотность раствора уксусной кислоты равной 1,01 г/мл и что порошок состоит только из вещества А и нерастворимых в уксусной кислоте примесей.

В ответе укажите число в процентах с точностью до сотых.

3. Определите массовую долю растворённого вещества после реакции, проведённой в пункте 2.

В ответ укажите число в процентах с точностью до сотых.

4. В состав некоторых марок зубных порошков в качестве добавки к веществу А включают карбонат магния. С какой максимальной массой зубного порошка, содержащей А ($\omega = 95,00\%$) и карбонат магния ($\omega = 5,00\%$) может вступить во взаимодействие такой же объём такого же раствора уксусной кислоты, как из пункта 2?

В ответ укажите число в г, с точностью до сотых.

Задача 4. Об одном «красочном» элементе



Элемент **X** известен яркой и разнообразной окраской своих соединений. Одно из самых широкодоступных — соль **A** ($\omega(\text{X}) = 35,4 \%$) оранжевого цвета, оранжевый водный раствор которой при добавлении щёлочи становится жёлтым (*реакция 1*) за счёт образования **B**.

A — достаточно сильный окислитель, особенно в кислой среде, поэтому в лаборатории часто используют **A** в смеси с концентрированной серной кислотой («**X**-овая смесь») для очень тщательного мытья посуды от органических загрязнений, что может быть особенно важно для синтезов наночастиц, крайне чувствительных к малейшим загрязнениям. Взаимодействие **A** с концентрированной серной кислотой можно описать *реакцией 2*, приводящей к образованию оксида **C** ($\omega(\text{X}) = 52,0 \%$) тёмно-красного цвета, однако из растворов с меньшей концентрацией серной кислоты можно получить и другие соединения, например **D** ($\omega(\text{X}) = 39,6 \%$; $\omega(\text{O}) = 40,6 \%$) и **E**, в котором массовые доли кислорода и **X** практически совпадают.

Окислительные свойства **A** можно продемонстрировать на примере нескольких реакций:

- взаимодействие с калиевой солью **F** ($\omega(\text{K}) = 23,6 \%$) в присутствии серной кислоты приводит сначала к образованию тёмно-коричневого раствора, из которого при добавлении избытка **A** выпадают фиолетовые кристаллы простого вещества **G** (*реакция 3*);
- взаимодействие с щавелевой кислотой $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ в присутствии серной кислоты при нагревании приводит к выделению газа **H**, плотность которого по воздуху составляет 1,52 (*реакция 4*);
- взаимодействие с аммонийной солью **I** ($\omega(\text{N}) = 41,2 \%$) в нейтральной среде приводит к выпадению двух осадков — бледно-зелёного **J** и бледно-жёлтого **K** (*реакция 5*), а в присутствии гидроксида калия — только осадка **K** (*реакция 6*, при этом также образуется зелёный раствор соединения **L**);
- при нагревании твёрдого **A** он разлагается с образованием **B**, оксида **M** ($\omega(\text{X}) = 68,4 \%$) и выделением кислорода (*реакция 7*).

1. Определите вещества **A** – **M**.

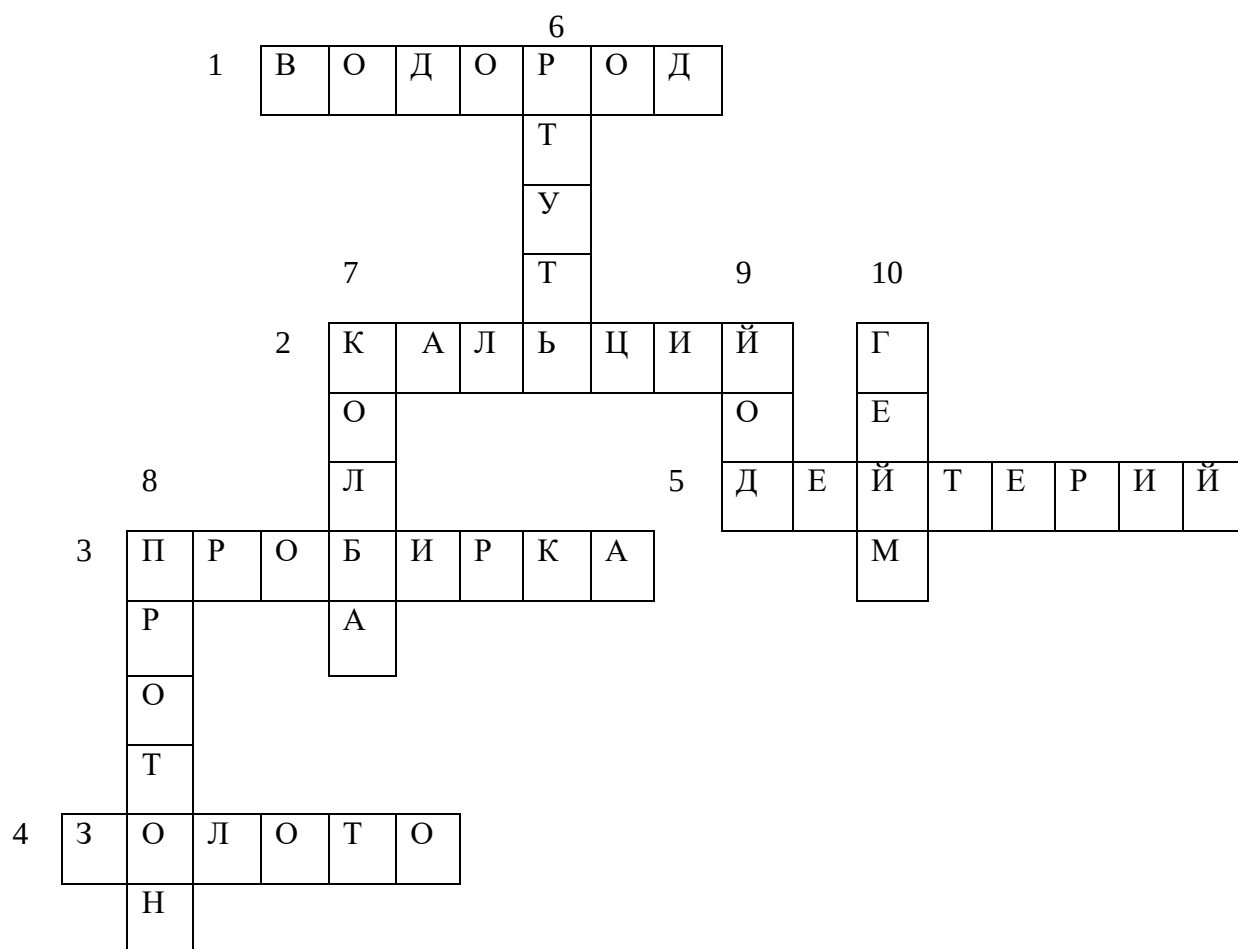
В ответ запишите только их формулы.

2. Запишите суммы минимальных целочисленных коэффициентов в уравнённых реакциях 3, 4, 7 (считайте, что все образующиеся соли — средние).

3. Близкий аналог соединения **A** часто используют для проведения красивого демонстрационного опыта «вулканчик».

Запишите в ответ молярную массу самого лёгкого из газов, образующихся в данной реакции, выраженную в г/моль и округлённую до целых.

Задача 1. Химический кроссворд



Система оценивания:

1. Ответы по 1 баллу

10 баллов

ИТОГО 10 баллов

Задача 2. Химия в помощь питомцам

1. В 1 мл готового препарата содержится 50 мг тилетамина и 50 мг золазепама. Значит, вещества находятся в соотношении 1:1 по массе. Рассчитаем количества веществ:

$$n(\text{тилетамин}) = \frac{m}{M} = \frac{0,05 \text{ г}}{223 \text{ г/моль}} = 2,24 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$$

$$n(\text{золазепам}) = \frac{m}{M} = \frac{0,05 \text{ г}}{286 \text{ г/моль}} = 1,75 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$$

Значит, молярное соотношение:

$$n(\text{тилетамин}) : n(\text{золазепам}) = 2,24 : 1,75 = 1,28 : 1 = 9 : 7$$

2. Под наш случай подходит доза: 10,5-12,5 мг/кг.

$$\text{Среднее значение: } \frac{10,5 + 12,5}{2} = 11,5 \text{ мг/кг}$$

Кошке весом 4 кг понадобится: $11,5 \text{ мг/кг} \cdot 4 \text{ кг} = 46 \text{ мг}$ препарата. По инструкции разведённый препарат имеет концентрацию 100 мг/мл. Значит, кошке понадобится $\frac{46 \text{ мг}}{100 \text{ мг/мл}} = 0,46 \text{ мл} \approx 0,5 \text{ мл}$ препарата.

3. Кошке вводят 0,5 мл препарата, в которых содержится 50 мг активных веществ. Значит, концентрация в крови составит: $\frac{50 \text{ мг}}{0,23 \text{ л}} = 217 \text{ мг/л}$

4. Через 40 минут концентрация препарата будет равна $\frac{217 \text{ мг/л}}{2} = 108,5 \text{ мг/л}$

$$\text{Через 80 минут после введения: } \frac{108,5 \text{ мг/л}}{2} = 54,25 \text{ мг/л} > 30 \text{ мг/л}$$

Через 120 минут после введения: $\frac{54,25 \text{ мг/л}}{2} = 27,13 \text{ мг/л} < 30 \text{ мг/л}$
120 минут = 2 часа. Т.е. кошка проснётся не позже, чем через 2 часа после введения Телазола.

Система оценивания:

- | | |
|--|---------|
| 1. За верный ответ на каждый вопрос по 2 балла | 4 балла |
| 2. За верный ответ на вопрос | 2 балла |
| 3. За верный ответ на вопрос | 2 балла |
| 4. За верный ответ на вопрос | 2 балла |

ИТОГО 10 баллов

Задача 3. Зубной порошок

1. Уксус содержит уксусную кислоту, это кислота средней силы. Выделение газа в процессе растворения означает, что уксусная кислота замещает слабую кислоту из ее соли, значит, возможные газы: CO_2 , SO_2 , H_2S . С учетом отсутствия запаха подходит только CO_2 . Следовательно, А — карбонат металла.

Рассчитаем его формулу. Представим А формулой $\text{Me}_2(\text{CO}_3)_n$, где М — металл, а n - его валентность. Тогда получаем уравнение:

$$\omega(\text{Me}) = \frac{(\text{M}(\text{Me}) \cdot 2)}{\text{M}(\text{Me}) \cdot 2 + n(12 + 16 \cdot 3)}$$

Примем $\text{M}(\text{Me}) = x$ г/моль:

$$0,4 = \frac{2x}{2x + n(12 + 16 \cdot 3)}$$

Варьируя n:

$$n = 1 \Rightarrow 0,4 = \frac{2x}{2x + 1 \cdot (12 + 16 \cdot 3)} = \frac{2x}{2x + 60} \Rightarrow$$

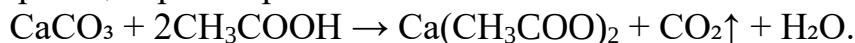
$x = 20$ г/моль — не подходит.

$$n = 2 \Rightarrow 0,4 = \frac{2x}{2x + 2 \cdot (12 + 16 \cdot 3)} = \frac{2x}{2x + 120} = \frac{x}{x + 60} \Rightarrow$$

$x = 40$ г/моль — Са

Итак, А = CaCO_3 .

2. Уравнение реакции растворения:



На 1 моль CaCO_3 требуется 2 моль уксусной кислоты:

$$n(\text{CaCO}_3) = \frac{n(\text{CH}_3\text{COOH})}{2}$$

Масса раствора уксусной кислоты:

$$m(\text{р-ра}) = \rho \times V = 1,01 \text{ г/мл} \times 64 \text{ мл} = 64,64 \text{ г}.$$

Масса чистой уксусной кислоты:

$$m(\text{CH}_3\text{COOH}) = m(\text{р-ра}) \times \omega(\text{CH}_3\text{COOH}) = 64,64 \times \frac{9}{100} = 5,8176 \text{ г}.$$

$$M(\text{CH}_3\text{COOH}) = 12 + 3 \times 1 + 12 + 16 + 16 = 60 \text{ г/моль}.$$

$$n(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{m(\text{CH}_3\text{COOH})}{M(\text{CH}_3\text{COOH})} = \frac{5,8176}{60} \approx 0,09696 \text{ моль}.$$

$$n(\text{CaCO}_3) = \frac{n(\text{CH}_3\text{COOH})}{2} = \frac{0,09696}{2} \approx 0,04848 \text{ моль}.$$

$$M(\text{CaCO}_3) = 40 + 12 + 3 \times 16 = 100 \text{ г/моль}.$$

$$m(\text{CaCO}_3) = n(\text{CaCO}_3) \times M(\text{CaCO}_3) = 0,04848 \times 100 \approx 4,848 \text{ г}.$$

$$\omega(\text{чистого вещества}) = \frac{m(\text{CaCO}_3)}{m(\text{порошка})} \times 100 \% = \left(\frac{4,848}{5}\right) \times 100 \approx 96,96 \%.$$

3. По уравнению реакции $n(\text{CaCO}_3) = n(\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2) = n(\text{CO}_2) = 0,04848$ моль.

Тогда, массовая доля растворённого вещества ($\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$):

$$\omega(\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2) = \frac{158 \times 0,04848}{1,01 \times 64 + 5,00 - 0,04848 \times 44} \approx 11,35 \%.$$

4. Карбонат магния растворяется в уксусной кислоте аналогично карбонату кальция:



Всего в реакцию вступит 0.09696 моль уксусной кислоты, а это значит, что суммарное число моль карбонатов 0.04848. Пусть максимальная масса равна m . Тогда масса карбоната кальция в смеси будет равна $0.95m$, а карбоната магния – $0.05m$. Тогда, получим уравнение:

$$\left(\frac{0.95m}{40 + 12 + 48}\right) + \left(\frac{0.05m}{24 + 12 + 48}\right) = 0,04848,$$

откуда $m \approx 4,80$ г.

Система оценивания:

- | | |
|---------------------|---------|
| 1. За верный расчёт | 2 балла |
| 2. За верный расчёт | 2 балла |
| 3. За верный расчёт | 3 балла |
| 4. За верный расчёт | 3 балла |

ИТОГО 10 баллов

Задача 4. Об одном «красочном» элементе

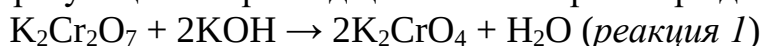
1. Под данный в условии задачи набор цветов соединений подходит явно не один элемент, но отдельные цветовые переходы (оранжевый в жёлтый при добавлении щёлочи, выпадение красного оксида в сильноокислой среде) являются достаточно характерными для Cr. Однако, определить элемент довольно легко можно и без этого, воспользовавшись двумя массовыми долями для оксидов: так, в оксиде **С** массовая доля **Х** равна 52,0 %, откуда для брутто-формулы X_2O_n получаем уравнение:

$$\frac{2 \cdot M(X)}{2 \cdot M(X) + 16 \cdot n} = 0,52.$$

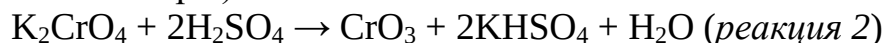
Перебирая n , получим следующие возможные значения для $M(X)$:

n	1	2	3	4	5	6	7	8
$M(X)$	8,7	17,3	26,0	34,6	43,4	52,0	60,7	69,4
X	—	—	—	—	—	Cr	—	Ga (не подходит степень окисления)

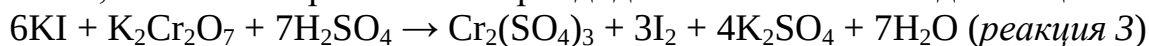
Единственным подходящим вариантом является Cr при $n = 6$, что соответствует оксиду CrO_3 и окраскам описанных соединений Cr(VI). Дополнительно убедиться в этом можно по массовой доле **X** в оксиде **М**, образующемся при разложении **А**, которая соответствует Cr_2O_3 . Таким образом, **А** – $K_2Cr_2O_7$ (что можно проверить по массовой доле **X** в нём), **В** – K_2CrO_4 , образующийся при подщелачивании раствора дихромата:



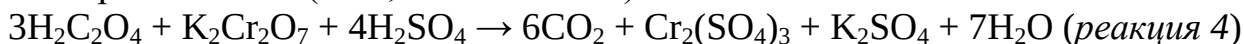
При подкислении раствора, содержащего хромат-ионы, происходит их протонирование с образованием гидрохромат-ионов и последующая конденсация до дихромат-ионов $Cr_2O_7^{2-}$, затем – трихромат-ионов (**Д** – $K_2Cr_3O_{10}$) и тетрахромат-ионов (**Е** – $K_2Cr_4O_{13}$), а в концентрированной серной кислоте – триоксида хрома **С** (второй продукт – гидросульфат калия из-за сильноокислого pH):



Фиолетовое простое вещество **Г** – йод, что подтверждается массовой доле калия в **Г**, соответствующей KI. Коричневая окраска раствора, образующегося вначале, связана с образованием триодид-ионов I_3^- из I^- и выделяющегося I_2 .

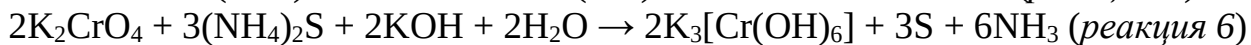


Щавелевая кислота, формально содержащая углерод в степени окисления +3, может быть окислена только до углекислого газа **Н**, что подтверждается его молярной массой ($29 \cdot 1,52 = 44$ г/моль).

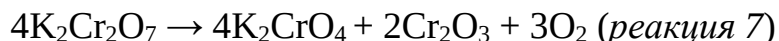


При протекании ОВР в нейтральной среде одним из осадков должен являться бледно-зелёный $Cr(OH)_3$ (**Ж**), а второй, бледно-жёлтый, по всей видимости

является продуктом окисления аниона аммонийной соли. Из массовой доли азота в ней можно получить, что **I** – $(\text{NH}_4)_2\text{S}$, тогда **K** – S. При взаимодействии этих солей в щелочной среде хром остаётся в растворе в виде гидроксидного комплекса **L** ($\text{K}[\text{Cr}(\text{OH})_4(\text{H}_2\text{O})_2]$, или в более щелочных pH – $\text{K}_3[\text{Cr}(\text{OH})_6]$)



В последней реакции нам уже известны все продукты, остаётся её записать и уравнивать:



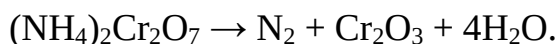
A – $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, **B** – K_2CrO_4 , **C** – CrO_3 , **D** – $\text{K}_2\text{Cr}_3\text{O}_{10}$, **E** – $\text{K}_2\text{Cr}_4\text{O}_{13}$, **F** – KI , **G** – I_2 , **H** – CO_2 , **I** – $(\text{NH}_4)_2\text{S}$, **J** – $\text{Cr}(\text{OH})_3$, **K** – S (вариант – S_8), **L** – $\text{K}_3[\text{Cr}(\text{OH})_6]$ (вариант – $\text{K}[\text{Cr}(\text{OH})_4(\text{H}_2\text{O})_2]$), **M** – Cr_2O_3

2. Реакция 3 – 29

реакция 4 – 23

реакция 7 – 13

3. Демонстрационный опыт «вулканчик» основан на термическом разложении дихромата аммония, протекающем как внутримолекулярная ОВР с выделением молекулярного азота и воды ($M_r = 18$):



Стоит отметить, что этот опыт запрещён для демонстрации в большинстве стран из-за высокой токсичности и канцерогенности соединений $\text{Cr}(\text{VI})$, в частности, пыли дихромата аммония, неизбежно образующейся при горении «вулкана».

Система оценивания:

1. За каждое вещество 1 балл	13 баллов
2. За каждую верную сумму 1 балл	3 балла
3. За верное значение	4 балла

ИТОГО 20 баллов