

Время выполнения заданий – 240 минут
Максимальное количество баллов – 100.

**Напоминание: вычисления в расчетных задачах необходимо вести с точностью
 приведенных в условии значений**

1. Период полураспада (время, за которое разрушается половина изотопов) изотопа иттрия-90 составляет 64 часа.

- 1) За какое время распадётся $\frac{1}{4}$ всех изотопов?
- 2) Взяли 4 изотопа. С какой вероятностью через 128 часов не распадётся ни одного изотопа? А ровно 2 изотопа?

Решение и критерии оценки:

Из определения периода полураспада ($\tau_{1/2}$) количество нераспавшихся изотопов через время t будет определяться по формуле

$$\frac{N_{\text{ост}}}{N_{\text{исх}}} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{\tau_{1/2}}},$$

Видно, что за 32 часа останется всего лишь

$$\frac{N_{\text{ост}}}{N_{\text{исх}}} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{2}} \approx 0,71$$

от исходного количества изотопов, что уже меньше, чем требуется по условию.

Чтобы рассчитать время, за которое распадётся $\frac{1}{4}$ (а останется $\frac{3}{4}$) изотопов, придётся провести дополнительные преобразования:

$$t = \tau_{1/2} \cdot \frac{\ln \frac{N_{\text{исх}}}{N_{\text{ост}}}}{\ln 2} = 64 \text{ ч} \cdot \frac{\ln \frac{4}{3}}{\ln 2} = \mathbf{26,6 \text{ ч}}$$

Для ответа на вторую часть задачи потребуется переформулировать понятие периода полураспада. Для отдельных частиц его можно рассматривать как время, за которое каждый отдельный изотоп распадается с вероятностью $\frac{1}{2}$.

Т.е. вероятность выжить через 2 периода полураспада (128 часов) для каждого отдельного изотопа составляет $\frac{1}{4}$. Чтобы определить вероятность сохранения всех 4 изотопов, нужно перемножить вероятности не распасться для каждого из них, т.е. суммарная вероятность составит $(\frac{1}{4})^4 = \mathbf{0,39\%}$.

В случае распада ровно двух изотопов потребуется рассмотреть все варианты.

Пронумеруем частицы цифрами от 1 до 4. Условию соответствуют следующие варианты:

распались 1 и 2, остались 3 и 4;

распались 1 и 3, остались 2 и 4;

распались 1 и 4, остались 2 и 3;

распались 2 и 3, остались 1 и 4;

распались 2 и 4, остались 1 и 3;

распались 3 и 4, остались 1 и 2.

Вероятность всех этих 6 вариантов будет одинаковой и равной произведению вероятности для 2 изотопов распасться ($\frac{3}{4}$ для каждого), а для 2 сохраниться ($\frac{1}{4}$ для каждого). Т.е. суммарная вероятность составит $6 \cdot (\frac{3}{4})^2 \cdot (\frac{1}{4})^2 = \mathbf{21,1\%}$.

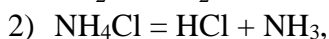
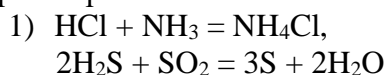
Содержание критерия	Баллы
Приведено полное решение с необходимыми объяснениями	12
Полностью решён пункт 1	6
Полностью решён пункт 2	6
В п.2 верно найдена только вероятность сохранения всех изотопов	2
Приведены разумные общие рассуждения, не подтверждённые расчётами, без верных выводов.	1-4
Решение не соответствует ни одному из критериев, перечисленных выше	0
Максимальный балл	12

2. Приведите не менее двух примеров реакций (не однотипных):

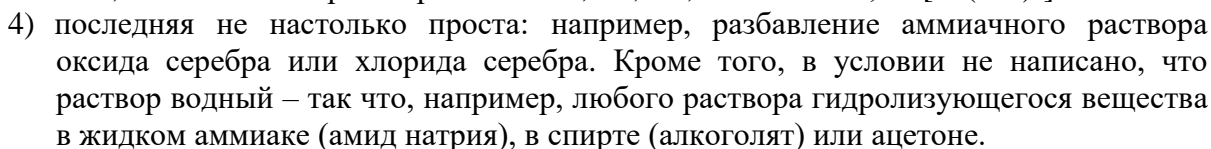
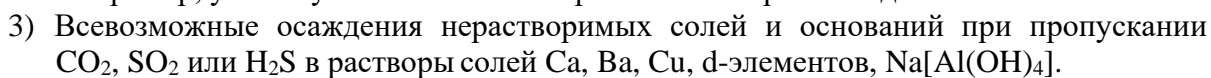
- 1) Двух газообразных (н.у.) соединений, продуктом которой является твердый продукт.
- 2) Разложения индивидуального твердого вещества с образованием только газообразных (н.у.) продуктов.
- 3) Выпадения осадка при пропускании газа в водный раствор (с полным поглощением этого газа).
- 4) Выпадения осадка при добавлении воды в раствор (хотя бы 1 пример).

Решение и критерии оценки:

Первые три известны всем:



Например, упомянутый в нескольких работах электролиз воды.



Содержание критерия	Баллы
Приведено полное решение с необходимыми объяснениями	10
Полностью (реакции не противоречат химии, приведены условия их проведения) решён пункт 1	1+1
Полностью решён пункт 2	1+1
Полностью решён пункт 3	1+1
Полностью решён пункт 4	4
Решение не соответствует ни одному из критериев, перечисленных выше	0
Максимальный балл	10

3. В двух пробирках имеются растворы гидроксида натрия и сульфида алюминия. Как их различить, по возможности, без использования дополнительных веществ, имея только одну пустую пробирку или даже без нее?

Решение и критерии оценки:

Капнуть из одной пробирки в другую. Осадок появился – в первой щелочь, осадка нет – в первой сульфат алюминия. При дальнейшем добавлении – растворение в избытке реагента

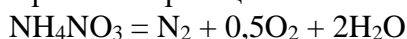
в одном случае и появление осадка по достижении стехиометрического соотношения во втором.

Содержание критерия	Баллы
Приведено полное решение с необходимыми объяснениями	8
Реакции имеются, объяснение отсутствует	3–5
Использованы дополнительные вещества	1-2
Решение не соответствует ни одному из критериев, перечисленных выше	0
Максимальный балл	8

4. Считаем, что в воздухе, пригодном для дыхания, при комнатной температуре содержится 80% по объёму азота и 20% кислорода. В каких соотношениях по массе нужно смешать нитрат и нитрит аммония, чтобы при сильном прокаливании (больше 200 градусов) и последующем охлаждении до указанных выше условий получилась пригодная для человека атмосфера (состав см. выше)?

Решение и критерии оценки:

Уравнения реакций:



Замечаем, что если смешать соли в мольном соотношении 1:1, то получится газовая смесь $2\text{N}_2 + 0,5\text{O}_2$ или 80% азота + 20% кислорода. То есть, нужное соотношение. Осталось поделить молярную массу нитрата на молярную массу нитрита, чтобы найти массовое соотношение:

$$m_{(\text{нитрат})}/m_{(\text{нитрит})} = 1,25$$

Содержание критерия	Оценка	либо	Баллы
Приведено полное решение с необходимыми объяснениями	+		10
Правильно написаны уравнения реакции, но расчёт проведён неверно	±		2-4
Решение не соответствует ни одному из критериев, перечисленных выше	–		0
Максимальный балл			10

5. Навеску соли А, массой 1,000 г, в чистом виде окрашивающей пламя горелки в фиолетовый цвет, растворили в воде. К полученному раствору добавили избыток раствора хлорида бария. Выпало 0,987 г белого осадка. При нагревании такой же навески соли А выделилось 112,0 мл (н.у.) газа В без запаха и цвета. Определите соль А.

Решение и критерии оценки:

Соль содержит калий (это понятно по окраске пламени). Есть не так много известных солей, выделяющих газ при нагревании, к тому же бесцветный и без запаха. Здесь вспоминаются газы CO_2 , N_2 , H_2 . Однако, эта соль даёт осадок с барием. Здесь самое очевидное пересечение – это карбонаты. Они и дают осадок с барием и выделяют CO_2 при нагревании. Осталось убедиться во всём при помощи расчётов. 0.987 г предполагаемого BaCO_3 , выпавшего в осадок, соответствует 5 ммоль вещества. С другой стороны, 112 мл газа при н.у. – это тоже 5 ммоль вещества. Однако, при таком раскладе, считая, что 1 г соли соответствует тоже 5 ммоль вещества получается молярная масса 200 г/моль, что

ничего похожего на карбонат калия не даёт. Но если предположить, что из соли при нагреве улетает половина CO_2 (как это происходит при нагреве гидрокарбонатов), то получится, что 1 г соли – это 10 ммоль вещества и молярная масса равна 100 г/моль, что в точности совпадает с молярной массой KHCO_3 . А карбонат бария выпадает даже в присутствии гидрокарбоната калия, выделяя CO_2 . Но для оценки такого утверждения, как и в задаче 8, необходимо было привести сколько-нибудь логичное химическое объяснение.

KHCO_3

Содержание критерия	Оценка	либо Баллы
Приведено полное решение с необходимыми объяснениями	+	10
Установлено присутствие калия в соли и верно проведены расчёты количеств газа и осадка	±	4
Установлено присутствие калия в соли	–	2
Решение не соответствует ни одному из критериев, перечисленных выше	–/0	0
Максимальный балл		10

6. Известным фактом является уменьшение окислительных свойств простых веществ вниз по группе. Особенно наглядно данное явление можно продемонстрировать на бинарных соединениях переходного элемента А с неметаллами. При реакции самого реакционноспособного элемента самой активной группы неметаллов Х с металлом А образуется соединение этого металла в высшей степени окисления А1 (массовая доля металла – 34,91 %). Проведение той же реакции с другими представителями группы Х характеризуется интересной особенностью: при переходе к неметаллу следующего периода (при движении вниз по группе) степень окисления металла А в полученном неметаллиде (от А1 к А4) уменьшается на один.

- 1) Установите номер группы Х.
- 2) Установите металл А.
- 3) Установите соединения А1-А4.

Решение и критерии оценки:

Из учебника известно, что самыми реакционноспособными неметаллами являются галогены. И самым активным среди них является фтор. Таким образом, нам осталось лишь рассчитать состав фторида элемента. Составим уравнение:

$M/(M + 19x) = 0,3491$, где М – атомная масса элемента, а х – его валентность

Приведём уравнение к более удобному виду:

$$M = 10,19x$$

Перебор останавливает нас на значении $x = 5$ при $M = 50,95$, что идеально сходится с атомной массой ванадия. Высшая его степень окисления – как раз 5. Всё соответствует условию.



Содержание критерия	Оценка	либо	Баллы
Приведено полное решение с необходимыми объяснениями	+		12
Установлен номер группы X и уравнение приведено к виду $M = 10,19x$ или эквивалентному данному	±		8
Установлен номер группы X	–		1
Решение не соответствует ни одному из критериев, перечисленных выше	–/0		0
Максимальный балл			12

7. Хлорид кальция образует кристаллогидрат. После нагревания навески 5 г кристаллогидрата в тщательно вакуумированной колбе объёмом 10 л до 1000 °С установилось давление 1,43 атм. Определите количество молекул воды в молекуле кристаллогидрата хлорида кальция (округлите до целого числа).

Решение и критерии оценки:

По уравнению Менделеева-Клапейрона вычисляем количество молекул воды, оказавшейся в газовой фазе после разложения кристаллогидрата:

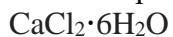
$$n = 1,43 \cdot 101,325 \cdot 10 / (8,314 \cdot (1000 + 273,15)) = 0,13689 \text{ моль}$$

Теперь для кристаллогидрата состава $\text{CaCl}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ должно быть справедливо следующее уравнение:

$$x \cdot 5 / (40,08 + 35,453 \cdot 2 + 18,016 \cdot x) = 0,13689$$

его решением является $x = 6$.

Таким образом, условием задан кристаллогидрат:



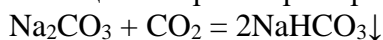
Содержание критерия	Оценка	либо	Баллы
Приведено полное решение с необходимыми объяснениями	+		8
Было использовано уравнение Менделеева-Клапейрона для подсчёта количества молекул воды в молях	±		2
Решение не соответствует ни одному из критериев, перечисленных выше	–		0
Максимальный балл			8

8. Через раствор вещества А пропустили небольшое количество углекислого газа. Образовался осадок, не исчезающий при действии избытка CO_2 . Каков может быть состав вещества А?

Решение и критерии оценки:

По идее, при пропускании избыточного количества CO_2 осадок карбоната (бария, например) должен раствориться с образованием гидрокарбоната. Однако, осадок не растворяется. Причины:

Вариант 1. Гидрокарбонат плохо растворим в этом растворе. Например, в достаточно насыщенном растворе карбоната натрия гидрокарбонат натрия растворяется очень плохо:

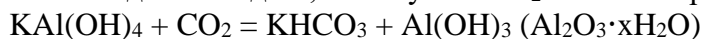


Вариант 2:

Полученное при пропускании CO_2 вещество гидролизуется с образованием нерастворимого осадка, например:



либо осадок выпадает, потому что CO_2 понижает pH:



В решениях встречался вариант 3: выпадение карбоната бария при пропускании CO_2 через раствор $\text{Ba}(\text{OH})_2$. Действительно, карбонат бария плохо растворяется в избытке CO_2 . Но этот ответ оценивался только в том случае, когда было какое-то объяснение (рассуждения о равновесии осадок–раствор, о произведении растворимости карбонатов и т.п.), почему карбонат кальция, например, растворяется при пропускании CO_2 , а карбонат бария – только частично.

Содержание критерия	Оценка	либо Баллы
Приведено полное решение с необходимыми объяснениями	+	8
Решение с выпадением карбоната бария, с детальным обсуждением выбора именно бария (см. выше)	±	6–7
Решение не соответствует ни одному из критериев, перечисленных выше (например, приведено выпадение BaCO_3 вещества без обсуждения, или, например, приведены заведомо нерастворимые исходные вещества)	–	0–3
Максимальный балл		8

9. Белые кристаллические порошки 1 и 2, каждый массой 0,9 г, растворили в воде в двух разных сосудах, в обоих случаях выделилось по 2,24 л газа (н.у.): газ А в первом случае и газ В – во втором. При этом плотность газа А в 1,5 раза больше плотности газа В. По окончании реакции в обоих сосудах в растворе находилось одно и то же вещество С – массой 2,4 г в первом случае и массой 2,5 г во втором.

Установите качественный и количественный (в граммах или в процентах по массе) состав порошков 1 и 2, определите вещества А, В и С. Напишите уравнения реакций. Приведите необходимые рассуждения и расчеты.

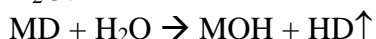
Решение и критерии оценки:

Из условия видно, что всего лишь 9 г порошка приводит к выделению 1 моля газа, что указывает на водород (остальные газы тяжелее).

Вещества, которые выделяют водород при реакции с водой — это активные металлы (они не выглядят как белые кристаллические порошки) или гидриды активных металлов.

Так как газ В, легче, чем газ А, то газ В — это H_2 (более легкого газа быть не может). Его молекулярная масса 2, значит молекулярная масса газа А равна трем. Это может быть частично дейтериеводород HD.

Такой продукт можно получить при реакции дейтерированного гидрида с обычной водой H_2O :



0,1 моль газа А получается при разложении 0,9 г гидрида MD, значит, молекулярная масса MD равна 9, это дейтерид лития (порошок 1).

Следовательно, вещество С это гидроксид лития, его масса соответствует 0,1 моль, что согласуется с условием.

Рассмотрим порошок 2. Это может быть не индивидуальное вещество, так как в условии задано определить состав порошков.

Он взаимодействует с водой с образованием водорода H_2 и гидроксида лития.

Следовательно, он содержит гидрид лития

Однако, для выделения 0,1 моль H_2 требуется 0,8 г LiH , при этом получается 2,4 г $LiOH$.

Масса порошка 2 равна 0,9 г (на 0,1 г больше), и в растворе получается 2,5 г (на 0,1 г больше) гидроксида лития.

Следовательно, порошок 2 состоит из 0,8 г LiH и 0,1 г $LiOH$.

Таким образом,

порошок 1 = LiD (100%)

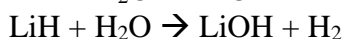
порошок 2 = 0,8 г LiH + 0,1 г $LiOH$ (88,9% и 11,1%).

$A = HD$;

$B = H_2$

$C = LiOH$.

Реакции:



Критерии оценки:

Вещества (при наличии пояснения):

$B = H_2$ 2 балла

$C = LiOH$ 1 балл

$A = HD$ 2 балла

порошок 1 (LiD) 3 балла

порошок 2 ($LiH + LiOH$) 2 балла

состав порошка 2 1 балл

реакции 1 балл

Всего 12 баллов

Содержание критерия		Оценка
Приведено полное решение с необходимыми объяснениями		12
Ошибки, не влияющие на правильность логики и хода решения, но дающие неверный ответ	не определены исходные вещества	7–12
Неверное в целом решение, но присутствуют оцениваемые элементы	определен класс веществ, написаны реакции	3–7
Решение не соответствует ни одному из критериев, перечисленных выше		0
Максимальный балл		12

10. Водный раствор сульфата железа(II) массой 100 г, нагретый до $80^\circ C$, охладили до $20^\circ C$, при этом из него выпало 5,56 г осадка. Растворимость сульфата железа(II) при $20^\circ C$ составляет 26,6 г на 100 г воды. Определите массовые доли сульфата железа(II) в исходном растворе и в конечном растворе (после выпадения и отделения осадка). Учтите, что сульфат железа выпадает из раствора в виде кристаллогидрата состава $FeSO_4 \cdot 7H_2O$.

Решение и критерии оценки:

1) Массовая доля вещества в конечном растворе следует из его растворимости:
Если растворимость составляет 26,6 г на 100 г воды, то в 126,6 г раствора содержится 26,6 г FeSO_4 , что составляет 21,01%

2) Найдем массовую долю вещества в исходном растворе

Масса раствора после выпадения осадка 94,44 г.

Он содержит 19,84 г сульфата железа так как его массовая доля в растворе должна быть 21,01, т.е. $94,44 \cdot 0,2101 = 19,84$.

В осадке находится кристаллогидрат. Масса FeSO_4 в кристаллогидрате составляет $5,56 \cdot 152/278 = 3,04$ г (152 — молекулярная масса безводного сульфата железа, 278 — молекулярная масса кристаллогидрата)

Следовательно в исходном растворе было $19,84 + 3,04 = 22,88$ г сульфата железа.

Масса раствора была 100 г. Массовая доля FeSO_4 составляла 22,88%. **(10 баллов)**.

Критерии оценки:

1) массовая доля вещества в конечном растворе	3 балла
2) массовая доля вещества в исходном растворе	7 баллов
из них	
масса FeSO_4 в конечном растворе	1 балл
масса безводного FeSO_4 в осадке	2 балл
масса FeSO_4 в исходном растворе	2 балл
массовая доля	2 балл

(При другом способе расчета массовая доля вещества в исходном растворе также оценивается из расчета 7 баллов)

Всего 10 баллов

Содержание критерия		Оценка
Приведено полное решение с необходимыми объяснениями		10
Ошибки, не влияющие на правильность логики и хода решения, но дающие неверный ответ	без учета кристаллогидрата	5
Неверное в целом решение, но присутствуют оцениваемые элементы	массовая доля вещества в конечном растворе	3
Решение не соответствует ни одному из критериев, перечисленных выше		0
Максимальный балл		10