

Максимальное количество баллов за олимпиаду — 100

Задание 1.

Какие процессы **всегда** происходят с выделением тепла?

- реакция нейтрализации;
- кипение жидкости;
- кристаллизация жидкости;
- растворение в воде;
- горение на воздухе;
- электролиз.

Ответ:

- ✓ Реакция нейтрализации
- ✓ Кристаллизация жидкости
- ✓ Горение на воздухе

Критерий оценивания: за каждый верный ответ — 2 балла; за каждый неверный ответ снимается 2 балла

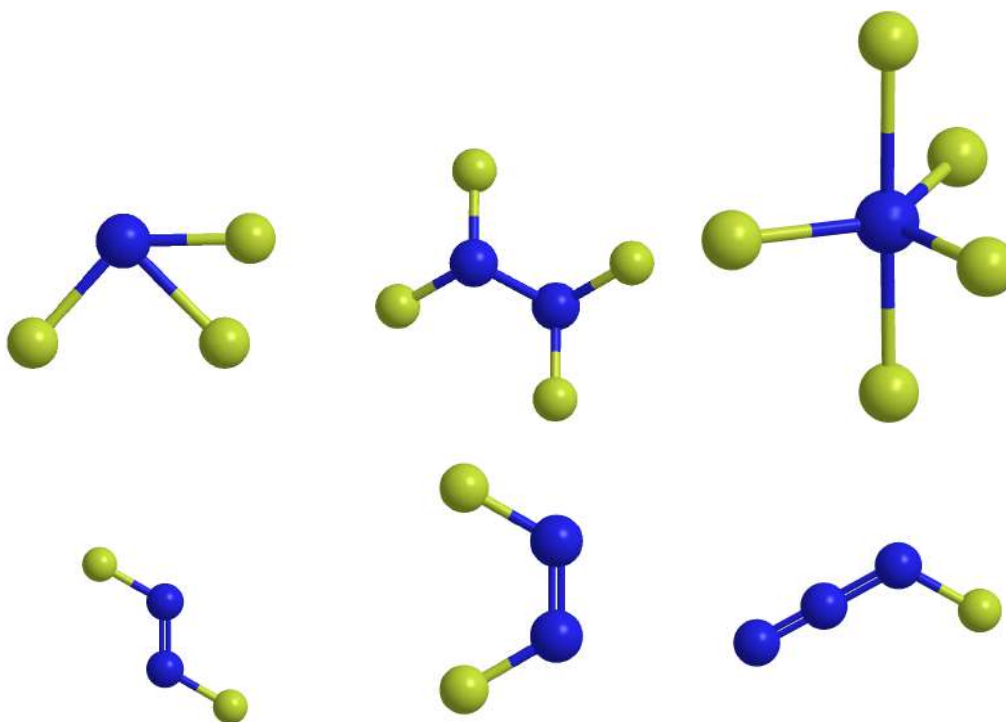
Максимальный балл за задание — 6

Решение.

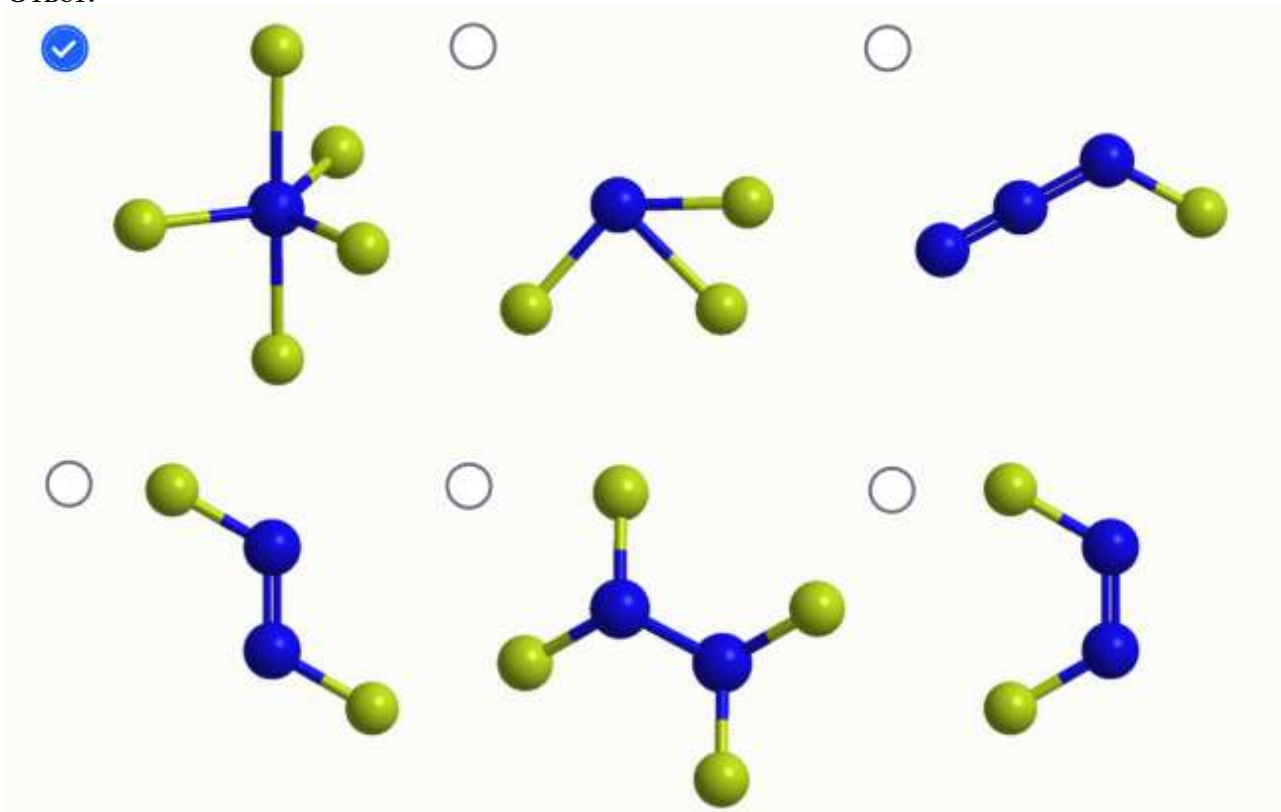
Из перечисленных процессов с выделением тепла всегда протекают нейтрализация кислоты щёлочью, кристаллизация жидкости и горение на воздухе. Кипение всегда происходит с поглощением тепла, электролиз, как правило, тоже эндотермичен, а растворение может быть как экзо-, так и эндотермичным.

Задание 2.

Даны модели молекул, состоящих из одной и той же пары элементов. Пять из них соответствуют реальным газообразным при н. у. соединениям, а одна не существует. Какой именно?



Ответ:



Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 балла

Максимальный балл за задание — 4

Задание 3.

Запишите символы элементов в составе этих молекул. Порядок неважен.

Ответ:

✓ N

✓ F

Критерий оценивания: за каждый верный символ — 2 балла; более 3-х ответов-0 баллов

Максимальный балл за задание — 4

Решение. Задания 2–3

Во всех структурах синие атомы соответствуют трёхвалентному элементу, а жёлтые — одновалентному. Из условия их газообразного состояния при н. у. можно понять, что это самые лёгкие элементы III и VII групп периодической системы — азот и фтор. Реальные соединения здесь — NF_3 , N_3F , *транс*- и *цис*- N_2F_2 , N_2F_4 . Структура 3 соответствует NF_5 , а такой высший фторид азота не существует. Соответствующие соединения с водородом тоже существуют, но гидразин N_2H_4 и азотистоводородная кислота HN_3 при комнатной температуре являются жидкостями.

Задание 4.

С помощью изображённых на фото предметов начинающий химик Владислав собрался выполнить одну из лабораторных операций.

Какую именно операцию он хотел провести?

Ответ: вакуумное фильтрование (фильтрование под вакуумом, отсасывание)

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 6 баллов

Максимальный балл за задание — 6

Задание 5.

Какие два предмета лабораторной посуды представлены на фото?

- Воронка Бюхнера
- Колба Бунзена
- Колба Эрленмейера
- Аппарат Кипша
- Делительная воронка
- Холодильник Либиха

Ответ:

✓ Воронка Бюхнера

✓ Колба Бунзена



Критерий оценивания: за каждый верный ответ — 2 балла; за каждый неверный ответ снимается 2 балла
Максимальный балл за задание — 4

Задание 6.

Загадка. *Сидят детки в тесной клетке, один из них меченый. Тот, чьё имя носит меченый, тоже томился в неволе недалеко от Сириуса. А сам меченый нашёл себе применение в виде соединения из двух элементов, в котором 57.7% металла по массе.*



Запишите формулу этого соединения.

Ответ: PmCl_3

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 8 баллов

Максимальный балл за задание — 8

Решение.

«Детки» в этой загадке — лантаноиды, которые часто помещаются в одну строку сокращённой таблицы Менделеева вместе с лантаном. «Меченый» — прометий, единственный радиоактивный лантаноид. Прометий назван в честь Прометея, которого, согласно мифу, приковали к Кавказским горам недалеко от современной федеральной территории Сириус. Для бинарного соединения с массовой долей $\omega(\text{Pm}) = 57.7\%$ получаем молярную массу соединения:

$$M = \frac{145}{0.577} \approx 251.3 \text{ г/моль.}$$

Тогда на анионы приходится $251.3 - 145 = 106.3$ г/моль. Для лантаноидов характерна степень окисления +3, значит, масса одного одновалентного аниона равна $106.3/3 \approx 35.4$ г/моль, что соответствует хлору. Следовательно, формула вещества — PmCl_3 .

Задание 7.

Вариант 1.

Через газовую смесь с плотностью по водороду 7.94, состоящую из кислорода и ещё одного газа, пропустили электрические разряды. В результате плотность смеси по водороду увеличилась до 8.42.

а) Запишите формулу второго компонента исходной смеси.

Ответ: He

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

б) Запишите формулу продукта реакции.

Ответ: O_3

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

в) Определите объёмную долю продукта реакции в конечной смеси. Ответ выразите в процентах, округлите до целых.

Ответ: 12

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 балла

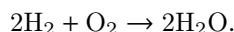
Максимальный балл за задание — 8

Решение.

Из плотности по водороду получаем среднюю молярную массу исходной смеси:

$$M = 2 \cdot 7.94 = 15.88 \text{ г/моль.}$$

Так как один компонент — кислород с молярной массой 32 г/моль, второй должен иметь молярную массу меньше 16 г/моль. Подходят только водород и гелий. Если бы смесь содержала водород, при пропускании разряда шла бы реакция



Тогда на выходе получилась бы смесь водяного пара с кислородом, что не согласуется с новой средней молярной массой. Следовательно, второй компонент — гелий.

Тогда в системе протекает реакция $3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{O}_3$. Пусть исходно было 1 моль смеси. Тогда количество кислорода равно

$$\nu(\text{O}_2) = \frac{15.88 - 4}{32 - 4} = 0.424 \text{ моль,}$$

а гелия — 0.576 моль. Пусть в реакцию вступило $3y$ моль кислорода. Тогда после реакции имеем $0.424 - 3y$ моль O_2 , 0.576 моль He и $2y$ моль O_3 . Общее количество вещества равно $1 - y$ моль. Из условия для средней молярной массы конечной смеси:

$$\frac{32(0.424 - 3y) + 4 \cdot 0.576 + 48 \cdot 2y}{1 - y} = 16.84.$$

Отсюда $y = 0.06$, поэтому объёмная доля озона в конечной смеси равна

$$\varphi(\text{O}_3) = \frac{2y}{1 - y} \cdot 100\% = \frac{0.12}{0.94} \cdot 100\% \approx 12.8\% \approx 12\%.$$

Задание 7. Вариант 2.

Через газовую смесь с плотностью по водороду 7.86, состоящую из кислорода и ещё одного газа, пропустили электрические разряды. В результате плотность смеси по водороду увеличилась до 8.49.

а) Запишите формулу второго компонента исходной смеси.

б) Запишите формулу продукта реакции.

в) Определите объёмную долю продукта реакции в конечной смеси. Ответ выразите в процентах, округлите до целых.

Ответ:

а) He

б) O_3

в) 16%

Критерии оценивания и Решение по аналогии с вариантом 1

Задание 7. Вариант 3.

Через газовую смесь с плотностью по водороду 7.75, состоящую из кислорода и ещё одного газа, пропустили электрические разряды. В результате плотность смеси по водороду увеличилась до 8.29.

а) Запишите формулу второго компонента исходной смеси.

б) Запишите формулу продукта реакции.

в) Определите объёмную долю продукта реакции в конечной смеси. Ответ выразите в процентах, округлите до целых.

Ответ:

а) He

б) O_3

в) 14%

Критерии оценивания и Решение по аналогии с вариантом 1

Задание 7. Вариант 4.

Через газовую смесь с плотностью по водороду 7.62, состоящую из кислорода и ещё одного газа, пропустили электрические разряды. В результате плотность смеси по водороду увеличилась до 8,00.

а) Запишите формулу второго компонента исходной смеси.

б) Запишите формулу продукта реакции.

в) Определите объёмную долю продукта реакции в конечной смеси. Ответ выразите в процентах, округлите до целых.

Ответ:

а) He

б) O_3

в) 10%

Критерии оценивания и Решение по аналогии с вариантом 1

Решение.

А — мышьяк (добавка к полупроводниковому кремнию), Б — сера (вулканизация резины), В — фтор (в виде фторидов добавляется в зубную пасту), Г — цинк (цинкование стали, оцинкованное ведро), Д — ванадий (легирование стали), Е — иод (добавляется в виде иодидов или иодатов в поваренную соль).

Задание 9.**Вариант 1.**

а) Сколько кислорода, взятого при температуре 20 °С и давлении 750 мм рт. ст., израсходуется на горение 2.6 г смеси порошков магния и титана? Ответ выразите в литрах, округлите до десятых.

б) Ионы каких трёх металлов, окрашивают пламя в оттенки одного и того же цвета: Ca, Na, K, Sr, Ba, Li.

Ответ: а) 1.3

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 5 баллов

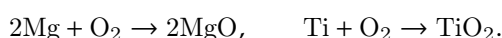
Ответ: б) Ca, Sr, Li

Критерий оценивания: за каждый верный вариант — 1 балл; за каждый неверный ответ снимается 1 балл

Максимальный балл за задание — 8

Решение.

При сгорании смеси протекают реакции



Для обоих металлов расход кислорода на 1 г вещества одинаков, поэтому количество израсходованного окислителя определяется только общей массой смеси. Во второй части задания одинаковый оттенок красного цвета дают ионы кальция, стронция и лития.

Задание 9. Вариант 2.

а) Сколько кислорода, взятого при температуре 20 °С и давлении 750 мм рт. ст., израсходуется на горение 3.0 г смеси порошков магния и титана? Ответ выразите в литрах, округлите до десятых.

б) Ионы каких трёх металлов, окрашивают пламя в оттенки одного и того же цвета: Ca, Na, K, Sr, Ba, Li.

Ответ: а) 1.5

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 5 баллов

Ответ: б) Ca, Sr, Li

Критерий оценивания: за каждый верный вариант — 1 балл; за каждый неверный вариант снимается 1 балл

Максимальный балл за задание — 8

Решение по аналогии с вариантом 1

Задание 9. Вариант 3.

а) Сколько кислорода, взятого при температуре 23 °С и давлении 750 мм рт. ст., израсходуется на горение 3.5 г смеси порошков магния и титана? Ответ выразите в литрах, округлите до десятых.

б) Ионы каких трёх металлов, окрашивают пламя в оттенки одного и того же цвета: Ca, Na, K, Sr, Ba, Li.

Ответ: а) 1.8

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 5 баллов

Ответ: б) Ca, Sr, Li

Критерий оценивания: за каждый верный вариант — 1 балл; за каждый неверный вариант снимается 1 балл

Максимальный балл за задание — 8

Решение по аналогии с вариантом 1

Задание 9. Вариант 4.

а) Сколько кислорода, взятого при температуре 20 °С и давлении 750 мм рт. ст., израсходуется на горение 2.2 г смеси порошков магния и титана? Ответ выразите в литрах, округлите до десятых.

б) Ионы каких трёх металлов, окрашивают пламя в оттенки одного и того же цвета: Ca, Na, K, Sr, Ba, Li.

Ответ: а) 1.1

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 5 баллов

Ответ: б) Ca, Sr, Li

Критерий оценивания: за каждый верный вариант — 1 балл; за каждый неверный вариант снимается 1 балл

Максимальный балл за задание — 8

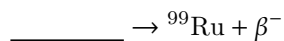
Решение по аналогии с вариантом 1

Задание 10.

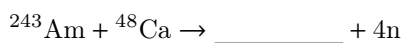
Заполните пропуски в уравнениях ядерных реакций:

**Ответ:** ${}^{228}\text{Ra}$ **Критерий оценивания:** за каждый верный ответ — 2 балла**Максимальный балл за задание — 2****Задание 11.**

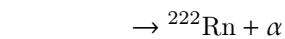
Заполните пропуски в уравнениях ядерных реакций:

**Ответ:** ${}^{99}\text{Tc}$ **Критерий оценивания:** за каждый верный ответ — 2 балла**Максимальный балл за задание — 2****Задание 12.**

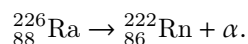
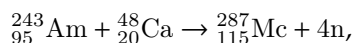
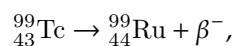
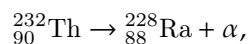
Заполните пропуски в уравнениях ядерных реакций:

**Ответ:** ${}^{287}\text{Mc}$ **Критерий оценивания:** за каждый верный ответ — 2 балла**Максимальный балл за задание — 2****Задание 13.**

Заполните пропуски в уравнениях ядерных реакций:

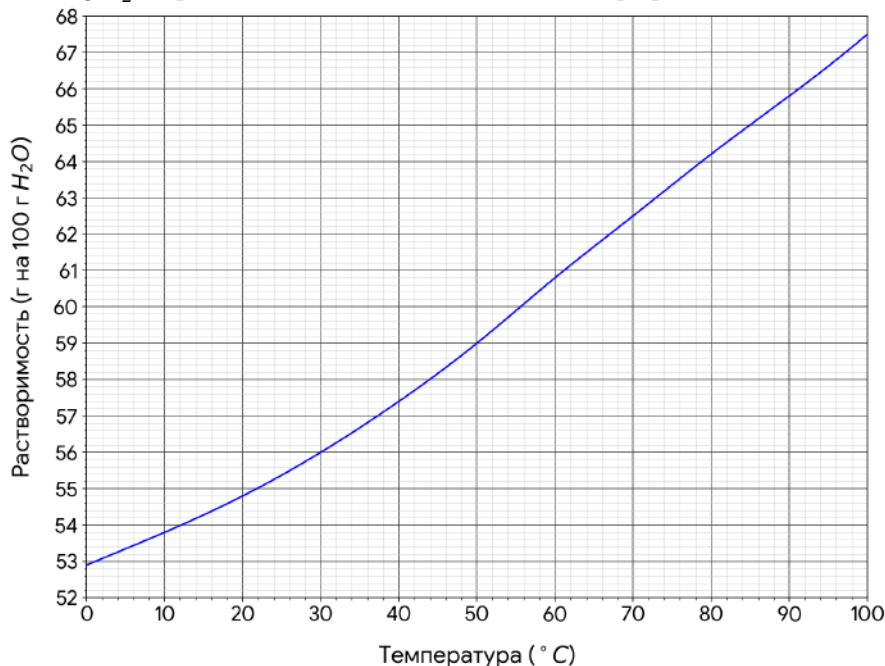
**Ответ:** ${}^{226}\text{Ra}$ **Критерий оценивания:** за каждый верный ответ — 2 балла**Максимальный балл за задание — 2****Решение. Задания 10–13**

α -частицы — это ядра гелия с массовым числом 4 и зарядом +2, β^- -частицы — электроны с нулевым массовым числом и зарядом -1 , нейтроны имеют заряд 0 и массовое число 1. В ядерных реакциях выполняются законы сохранения заряда и массового числа, поэтому получаем:



Задание 14.**Вариант 1.**

Хлорид магния выпадает из водного раствора при охлаждении в виде гексагидрата. Температурная зависимость растворимости безводного MgCl_2 в граммах на 100 г воды показана на графике.



Сколько осадка выпадет при охлаждении 450 г насыщенного при 90 °С раствора хлорида магния до 20 °С? Ответ выразите в граммах, округлите до целых.

Ответ: 169

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 8 балла

Максимальный балл за задание — 8

Решение.

Согласно графику, растворимость безводного MgCl_2 при 20 °С составляет 54.8 г на 100 г воды, а при 90 °С — 65.8 г на 100 г воды.

Следовательно, 450 г насыщенного при 90 °С раствора содержат

$$450 \cdot \frac{65.8}{165.8} = 178.6 \text{ г } \text{MgCl}_2.$$

Массовая доля хлорида магния в растворе при 20 °С равна

$$\omega = \frac{54.8}{154.8} = 0.354.$$

Пусть при охлаждении выпало x моль $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Тогда

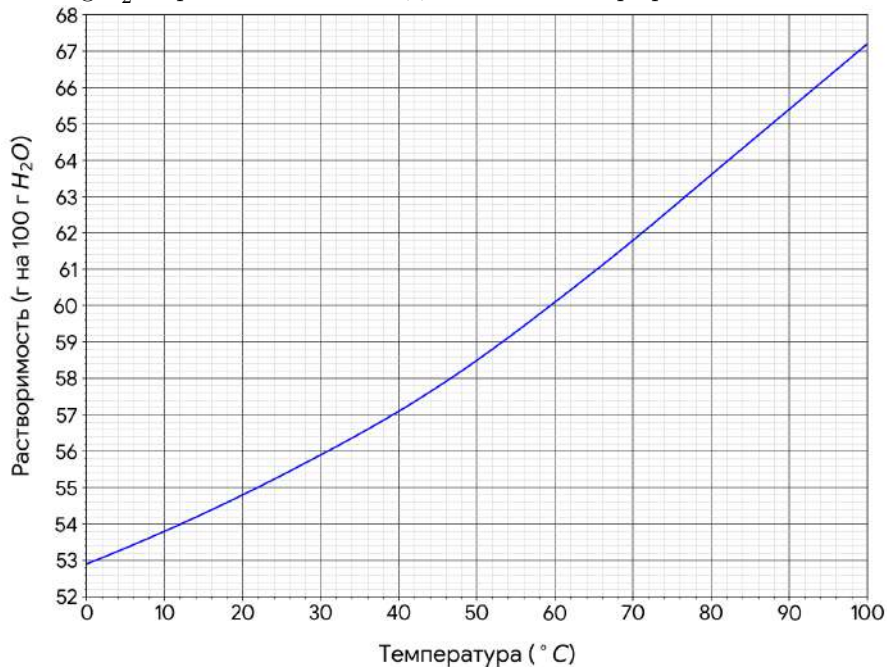
$$\frac{178.6 - x(24 + 35.5 \cdot 2)}{450 - x(24 + 35.5 \cdot 2 + 18 \cdot 6)} = 0.354.$$

Отсюда $x \approx 0.83$ моль, и масса осадка равна

$$m = 0.83 \cdot (24 + 71 + 108) \approx 169 \text{ г.}$$

Задание 14. Вариант 2.

Хлорид магния выпадает из водного раствора при охлаждении в виде гексагидрата. Температурная зависимость растворимости безводного MgCl_2 в граммах на 100 г воды показана на графике.



Сколько осадка выпадет при охлаждении 450 г насыщенного при 90 °С раствора хлорида магния до 20 °С? Ответ выразите в граммах, округлите до целых.

Ответ: 163

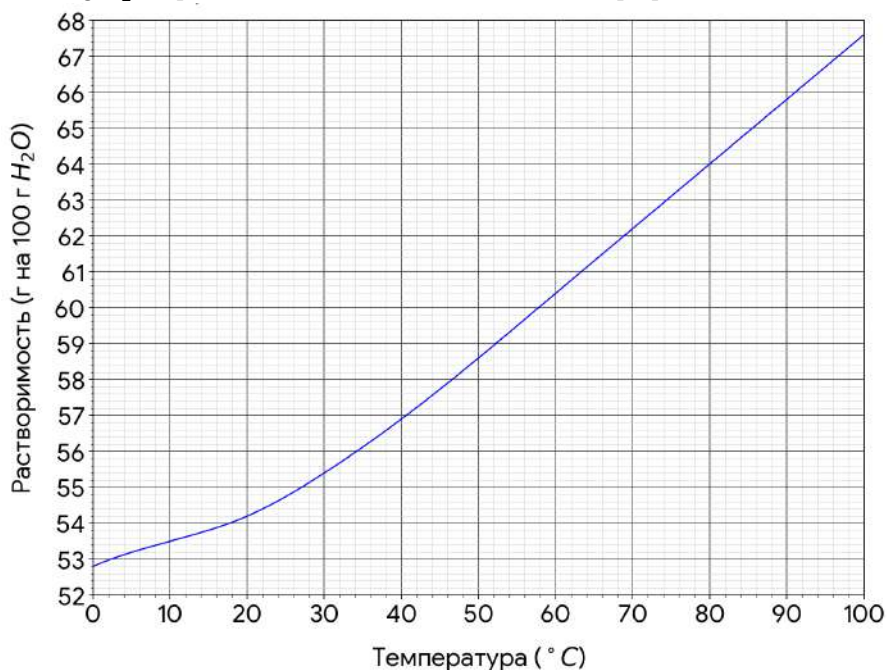
Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 8 балла

Максимальный балл за задание — 8.

Решение по аналогии с вариантом 1

Задание 14. Вариант 3.

Хлорид магния выпадает из водного раствора при охлаждении в виде гексагидрата. Температурная зависимость растворимости безводного MgCl_2 в граммах на 100 г воды показана на графике.



Сколько осадка выпадет при охлаждении 450 г насыщенного при 90 °С раствора хлорида магния до 20 °С? Ответ выразите в граммах, округлите до целых.

Ответ: 175

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 8 балла

Максимальный балл за задание — 8.

Решение по аналогии с вариантом 1

Задание 15.**Вариант 1.**

Заполните пропуски формулами веществ. Выберите вещество, участвующее в реакции, из списка:

- В
- С
- N₂
- O₂
- Si
- Р
- S
- Cl₂

При реакции магния и _____ образуется порошок вещества _____, который растворяется в разбавленной соляной кислоте с выделением газа _____ с массовой долей одного из элементов 87.4%. При упаривании полученного раствора из него выделяются кристаллы соли состава _____.

Ответ:

Элемент	Образующееся вещество	Выделяющийся газ	Кристаллогидрат
Si	Mg ₂ Si	SiH ₄	MgCl ₂ · 6H ₂ O

Критерий оценивания: за каждый верный ответ — 2 балла

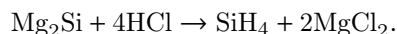
Максимальный балл за задание — 8

Решение.

Из массовой доли элемента в газе можно определить, что на 1 атом водорода приходится масса второго элемента

$$\frac{87.4}{100 - 87.4} = 6.94.$$

Среди гидридов перечисленных неметаллов это соответствует только силану SiH₄. Значит, гидрид образуется при взаимодействии кислоты с Mg₂Si, а исходный неметалл — кремний:



При упаривании раствора хлорида магния выделяется кристаллогидрат MgCl₂ · 6H₂O.

Задание 15. Вариант 2.

Заполните пропуски формулами веществ. Выберите вещество, участвующее в реакции, из списка:

- В
- С
- N₂
- O₂
- Si
- Р
- S
- Cl₂

При реакции магния и _____ образуется порошок вещества _____, который растворяется в разбавленной соляной кислоте с выделением газа _____ с массовой долей одного из элементов 91.1%. При упаривании полученного раствора из него выделяются кристаллы соли состава _____.

Ответ:

Элемент	Образующееся вещество	Выделяющийся газ	Кристаллогидрат
P	Mg ₃ P ₂	PH ₃	MgCl ₂ · 6H ₂ O

Критерий оценивания: за каждый верный ответ — 1 балл

Максимальный балл за задание — 4

Решение по аналогии с вариантом 1

Задание 15. Вариант 3.

Заполните пропуски формулами веществ. Выберите вещество, участвующее в реакции, из списка:

- В
- С
- N₂
- O₂
- Si
- P
- S
- Cl₂

При реакции магния и _____ образуется порошок вещества _____, который растворяется в разбавленной соляной кислоте с выделением газа _____ с массовой долей одного из элементов 94.1%. При упаривании полученного раствора из него выделяются кристаллы соли состава _____.

Ответ:

Элемент	Образующееся вещество	Выделяющийся газ	Кристаллогидрат
S	MgS	H ₂ S	MgCl ₂ · 6H ₂ O

Критерий оценивания: за каждый верный ответ — 1 балл

Максимальный балл за задание — 4

Решение по аналогии с вариантом 1

Задание 16.

При пропускании тока углекислого газа через раствор гидроксида натрия выпал осадок **X**, который не растворился при дальнейшем пропускании углекислого газа. А при пропускании углекислого газа через раствор гидроксида кальция выпал осадок **Y**, который растворился при дальнейшем пропускании углекислого газа.

Запишите формулу осадка X:

Запишите формулу осадка Y:

Ответ:

X – NaHCO₃

Y – CaCO₃

Критерий оценивания: за каждый верный ответ — 4 балла

Максимальный балл за задание — 8

Решение.

При пропускании CO₂ через раствор гидроксида кальция сначала образуется нерастворимый в воде CaCO₃. В избытке углекислого газа он реагирует дальше с образованием растворимого гидрокарбоната Ca(HCO₃)₂. В растворе гидроксида натрия сравнительно низкой растворимостью обладает гидрокарбонат натрия NaHCO₃, который при дальнейшем пропускании CO₂ уже не переходит в другую растворимую форму.

Задание 17.

Элемент А и его сосед по периоду — элемент Б — образуют газообразное соединение с плотностью при н. у. 2.32 г/л. Со своим соседом по группе, элементом В, элемент А образует соединение, представляющее собой сверхпрочный материал. Сосед элемента В по периоду, элемент Г, образует несколько аллотропных модификаций. Запишите химические символы элементов А–Г.

Ответ:

А	Б	В	Г
С	Н	Si	Р

Критерий оценивания: за каждый верный ответ — 2 балла

Максимальный балл за задание — 8

Решение.

По плотности газа при н. у. находим его молярную массу:

$$M = \rho \cdot 22,4 \approx 2,32 \cdot 22,4 \approx 52 \text{ г/моль.}$$

Под эту молярную массу и условие о соседях по периоду подходит только циан (CN)₂. Следовательно, элемент А — углерод, а элемент Б — азот. Сосед углерода по группе — кремний; соединение SiC действительно является сверхпрочным материалом. Сосед кремния по периоду — фосфор, который образует несколько аллотропных модификаций.