

Задание 1. (автор В.А.Емельянов).

1. Правильнозаполненные таблицы см. справа и внизу.

2. Элементы-неметаллы: Н, Не, В, С, N, O, F, Ne, Si, P.

3. Классификационный признак – наличие электронов на соответствующем валентном подуровне (внешнем для s- и p-электронов, предвнешнем для d-электронов). В первой таблице находятся только s-элементы (первые 9 в ПС), во второй p-элементы (также первые 9), в третьей – первые 9 d-элементов.

Система оценивания:

1. Каждая заполненная таблица по 5 б (символ не на месте, либо пустая клетка минус 1 б, однако за каждую таблицу не меньше 0 б)

$$5б * 3 = 15 б;$$

2. Каждый указанный неметалл по 0,5 б (за неверное отнесение минус 0,5 б) $0,5б * 10 = 5 б;$

3. Указания на s-, p- и d-элементы по 1 б (другие попытки классификации по 0,5 б) $1б * 3 = 3 б;$

Всего **23 балла**

Be	Li	K	Ca	He	Rb	Sr	Na	H
Ca	Rb	Na	H	Sr	K	Be	Li	He
H	He	Sr	Li	Be	Na	Ca	Rb	K
He	Be	Li	K	Rb	Sr	H	Ca	Na
Rb	Na	Ca	He	H	Be	K	Sr	Li
K	Sr	H	Na	Ca	Li	Rb	He	Be
Li	H	Rb	Sr	K	He	Na	Be	Ca
Sr	K	He	Be	Na	Ca	Li	H	Rb
Na	Ca	Be	Rb	Li	H	He	K	Sr

P	Si	N	O	Al	F	B	Ne	C
Ne	F	C	N	P	B	Al	Si	O
O	Al	B	C	Ne	Si	P	N	F
B	P	Al	Ne	O	C	Si	F	N
C	O	F	Al	Si	N	Ne	B	P
N	Ne	Si	B	F	P	O	C	Al
Al	N	P	Si	C	Ne	F	O	B
Si	B	O	F	N	Al	C	P	Ne
F	C	Ne	P	B	O	N	Al	Si

Co	Ni	V	Cr	Cu	Fe	Ti	Sc	Mn
Cu	Ti	Mn	Sc	Co	V	Ni	Cr	Fe
Sc	Cr	Fe	Mn	Ni	Ti	V	Cu	Co
Ni	Cu	Cr	Fe	V	Mn	Sc	Co	Ti
Mn	Sc	Co	Ti	Cr	Ni	Fe	V	Cu
Fe	V	Ti	Cu	Sc	Co	Cr	Mn	Ni
Cr	Mn	Ni	V	Ti	Cu	Co	Fe	Sc
Ti	Fe	Sc	Co	Mn	Cr	Cu	Ni	V
V	Co	Cu	Ni	Fe	Sc	Mn	Ti	Cr

Задание 2. (авторы Н.Н. Сапрыгина, В.А. Емельянов).

1. Из описания (самородность, известность, стоимость, химическое поведение) следует, что металл **М** – золото (Au).

В земной коре золота $2,8 \cdot 10^{19} \cdot 2 \cdot 10^{-7} / 100 = 5,6 \cdot 10^{10}$ тонн. Посчитаем его массу в мировом океане. В 1 км³ содержится 10^9 м³ или 10^{12} л. Золота в мировом океане около $4 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{12} \cdot 1,3 \cdot 10^9 = 5,2 \cdot 10^{15}$ г или $5,2 \cdot 10^9$ тонн. Общие запасы металла **М** на нашей планете $5,6 \cdot 10^{10} + 0,52 \cdot 10^{10} = 6,12 \cdot 10^{10}$, т. е. около $6 \cdot 10^{10}$ или 60 млрд тонн.

2. Плотность в г/см³ равна плотности в тонн/м³. Отсюда объем «кубика» $V = 170000 / 19,32 \approx 8799$ м³, а длина его стороны $a = \sqrt[3]{8799} \approx 20,6$ м.

3. Стоимость 1 г золота 214832 коп. За 1 копейку можно приобрести $1 / 214832 = 4,66 \cdot 10^{-6}$ г или $4,66 \cdot 10^{-6} / 197$ молей или $6,02 \cdot 10^{23} \cdot 4,66 \cdot 10^{-6} / 197 = 1,42 \cdot 10^{16}$ атомов золота.

Объем покупки в мл (см³) составил бы $4,66 \cdot 10^{-6} / 19,32 = 2,41 \cdot 10^{-7}$ мл.

4. Упомянутая смесь кислот называется «царская водка», поскольку она растворяет «царя металлов», т.е. золото. Составим уравнение для расчета объемов. Обозначим за x количество молей азотной кислоты, которое будет содержаться во взятом нами объеме. Тогда соляной кислоты надо будет взять $3x$ молей. Умножив эти величины на молярную массу, получим массу чистых кислот; поделив на массовые доли в выданных кислотах, получим их массы, поделив на плотность, получим их объемы. Пренебрегая изменением объема при смешивании, допустим, что сумма этих объемов составит нужный нам объем 100 мл. Итак, получаем уравнение с одним неизвестным:

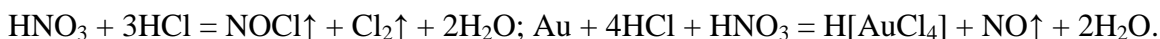
$$x \cdot 63 / (0,65 \cdot 1,4) + 3x \cdot 36,5 / (0,36 \cdot 1,18) = 100, \text{ откуда } x = 0,306 \text{ моль. Теперь считаем объемы:}$$

$$\text{азотной кислоты } 0,306 \cdot 63 / (0,65 \cdot 1,4) = 21,2 \text{ мл;}$$

$$\text{соляной кислоты } 3 \cdot 0,306 \cdot 36,5 / (0,36 \cdot 1,18) = 78,9 \text{ мл.}$$

С точностью до ошибок округления получилось 100 мл смеси.

5. Уравнения реакций:



Система оценивания:

1. Золото 2 б, расчет его общих запасов 4 б (в земной коре 1,5 б, в воде 2 б)	2б+4б = 6 б;
2. Длина стороны «кубика» 2 б	2 б;
3. Количество атомов 2 б, объем в мл 2 б	2б+2б = 4 б;
4. Название смеси 1 б, происхождение названия 1 б, расчет объемов 4 б	1б+1б+4б = 6 б;
5. Уравнения реакций по 1 б	1б*2 = 2 б.
Всего	20 баллов

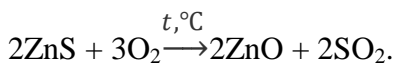
Задание 3. (авторы К.А. Коваленко, В.А. Емельянов).

1. Наиболее известными сульфидными минералами являются пирит FeS₂ (железный колчедан) и халькопирит CuFeS₂ (медный колчедан). Менее известные, но также достаточно распространенные сульфидные минералы: ZnS – цинковая обманка (вюрцит (вюртцит) и сфалерит), Cu₂S – халькозин, CuS – ковеллин, MoS₂ – молибденит (молибденовый блеск), Ag₂S – аргентит (серебряный блеск), HgS – киноварь, PbS – галенит (свинцовый блеск), Sb₂S₃ – антимонит (стибнит, сурьмяный блеск), Bi₂S₃ – висмутин, Co₃S₄ – линнеит, As₂S₃ – аурипигмент, As₄S₄ (AsS) – реальгар и др.

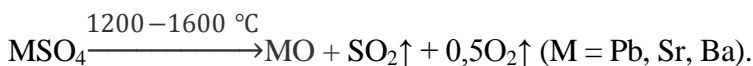
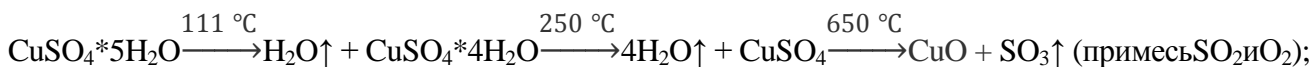
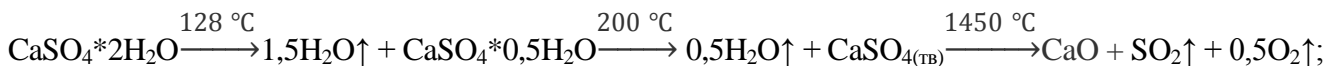
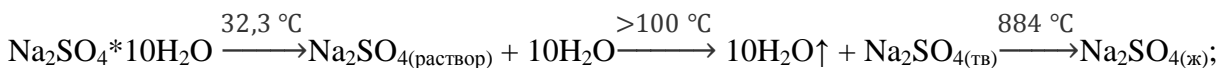
Не сульфидными, но содержащими серу минералами, являются природные сульфаты. Самые известные из них – это плохо растворимые в воде сульфаты кальция CaSO₄·2H₂O (гипс), CaSO₄·0,5H₂O (алебастр) и CaSO₄ (ангидрит), стронция SrSO₄ (целестин), бария BaSO₄ (барит, тяжелый шпат), свинца PbSO₄ (англезит), а также хорошо растворимые Na₂SO₄·10H₂O (мирабилит, глауберова соль) и различные купоросы состава MSO₄·xH₂O.

2. Примеры уравнений реакций обжига на воздухе сульфидных минералов:





Примеры уравнений реакций разложения сульфатных минералов при их сильном нагревании:



3. Уравнения реакций: $2\text{H}_2\text{S} + 3\text{O}_2 = 2\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ [1]; $2\text{H}_2\text{S} + \text{SO}_2 = 3\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$ [2].

Суммарное уравнение реакции получения серы из сероводорода: $2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 = 2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$.

По уравнению реакции [2] на 2 моля H_2S требуется 1 моль SO_2 , который получается из 1 моля H_2S по уравнению реакции [1]. Следовательно, в расчете на полное последующее превращение в серу до сернистого газа необходимо сжигать 1/3 часть сероводорода, т. е. 1/3V.

4-5. Уравнения реакций: $\text{S} + \text{O}_2 = \text{SO}_2$ [3]; $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{SO}_3$ [4]; $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_4$ [5].

Количество производимой ежедневно кислоты $n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 500 \cdot 10^6 \text{ г} / 98 \text{ г/моль} \approx 5,1 \cdot 10^6 \text{ моль}$, тогда количество выделяющейся энергии (тепла) $Q = 5,1 \cdot 10^6 \text{ моль} \cdot 130 \text{ кДж/моль} = 6,63 \cdot 10^8 \text{ кДж}$.

6. Количество тепла, преобразующегося в электрическую энергию, составляет $6,63 \cdot 10^8 \cdot 0,75 \cdot 0,3 = 1,49 \cdot 10^8 \text{ кДж}$. 1 Дж = 1 Вт*с, 1 кДж = 1 кВт*с = 1/3600 кВт*ч. Количество производимой электрической энергии: $E_{\text{эл}} = 1,49 \cdot 10^8 / 3600 \text{ кВт*ч} \approx 4,14 \cdot 10^4 \text{ кВт*ч} = 41,4 \text{ МВт*ч}$.

Количество тепла, расходуемого на теплоснабжение, составляет $6,63 \cdot 10^8 \cdot 0,25 = 1,66 \cdot 10^8 \text{ кДж}$ или $1,66 \cdot 10^8 / 3600 \text{ кВт*ч} \approx 4,60 \cdot 10^4 \text{ кВт*ч}$.

Тогда завод может отапливать зимой $4,60 \cdot 10^4 \text{ кВт*ч} / (150 \text{ кВт*ч} / \text{домик}) = 307 \text{ домиков}$.*

*Если посчитать, что завод запасает электроэнергию весь год, а домики отапливаются только зимой, то их количество вырастет обратно пропорционально доле зимних месяцев в году.

7. При образовании 1 моль (98 г = 0,098 кг) H_2SO_4 выделится 130 кДж теплоты, которая израсходуется на нагрев этой кислоты. Тогда из формулы $Q = C \cdot m \cdot \Delta t$ найдем Δt : $\Delta t = Q / (C \cdot m) = 130 / (2,5 \cdot 0,098) \approx 531 \text{ К}$. Поскольку изменение температуры на 1 К соответствует ее изменению на 1°C, конечная температура жидкой кислоты составила бы $25 + 531 = 556^\circ\text{C}$. Отметим, что температура кипения 100% серной кислоты значительно меньше ($296,2^\circ\text{C}$).

8. Количество серного ангидрида, ежедневно производимое на нашем среднем заводе, совпадает с количеством H_2SO_4 и составляет $n(\text{SO}_3) \approx 5,1 \cdot 10^6 \text{ моль}$ (см. п. 5). Тогда масса серного ангидрида $m(\text{SO}_3) = 80 \cdot 5,1 \cdot 10^6 \text{ г} = 408 \text{ т}$.

В 1 т 90% серной кислоты содержится $0,1 \cdot 1000 = 100 \text{ кг}$ или $100 \cdot 10^3 / 18 = 5,56 \cdot 10^3 \text{ моль}$ воды. Эта вода прореагирует с $5,56 \cdot 10^3 \text{ моль}$ или $5,56 \cdot 10^3 \cdot 80 = 444 \cdot 10^3 \text{ г} = 444 \text{ кг}$ SO_3 с образованием 100% серной кислоты, общая масса которой в итоге составит $1000 + 444 = 1444 \text{ кг}$. В олеуме, который нам требуется получить, массовая доля этой 100% кислоты составляет $100 - 20 = 80\%$. Следовательно, общая масса 20% олеума, полученного из 1 т 90% серной кислоты, будет составлять $1444 / 0,8 = 1805 \text{ кг}$ или 1,805 т. То есть, на каждые $1,805 - 1 = 0,805 \text{ т}$ SO_3 требуется 1 т 90% H_2SO_4 . Таким образом, чтобы полностью поглотить 408 т ангидрида с образованием 20% олеума, потребуется $408 / 0,805 \approx 507 \text{ т}$ 90% серной кислоты.

9. Итак, $5,56 \cdot 10^3 \text{ моль}$ воды, содержащиеся в 1 т 90% кислоты, реагируют с 444 кг SO_3 с образованием $5,56 \cdot 10^3 \text{ моль}$ 100% серной кислоты. Количество тепла, выделяющееся в этом процессе, составит $5,56 \cdot 10^3 \cdot 130 = 722,8 \cdot 10^3 \text{ кДж}$. Нагреваться будет вся кислота общей массой 1444 кг, следовательно, изменение температуры составит $\Delta t = Q / (C \cdot m) = 722,8 \cdot 10^3 / (1,5 \cdot 1444) \approx 334 \text{ К}$. То есть, в момент образования 100% кислоты ее температура может составить $25 + 334 = 359^\circ\text{C}$. (На самом деле это тоже

выше температуры кипения 100% серной кислоты, поэтому для поглощения обычно используют более крепкую кислоту, либо ставят дополнительные теплообменники).

В 1 т 20% олеума содержится $0,2 \cdot 1000 = 200$ кг или $200 \cdot 10^3 / 80 = 2,5 \cdot 10^3$ моль SO_3 . Этот серный ангидрид прореагирует с $2,5 \cdot 10^3$ моль или $2,5 \cdot 10^3 \cdot 18 = 45 \cdot 10^3 \text{ г} = 45$ кг воды с образованием 100% серной кислоты, общая масса которой в итоге составит $1000 + 44 = 1045$ кг. Количество тепла, выделяющееся в этом процессе, составит $2,5 \cdot 10^3 \cdot 130 = 325 \cdot 10^3$ кДж. Нагреться будет вся кислота общей массой 1045 кг, следовательно, изменение температуры составит $\Delta t = Q / (C \cdot m) = 325 \cdot 10^3 / (1,5 \cdot 1045) \approx 207 \text{ К}$. То есть, в момент образования 100% кислоты из 20% олеума ее температура может составить $25 + 207 = 232^\circ \text{C}$.

Система оценивания:

- | | |
|--|--------------------------------|
| 1. Названия минералов по 0,5 б, формулы по 0,5 б | $(0,5б + 0,5б) \cdot 4 = 4 б;$ |
| 2. Уравнения реакций обжига и разложения (можно суммарно, но до конца) по 1 б 1б*4 = 4 б;
(Если только дегидратация для сульфатов не щелочных металлов, то 0,5 б) | |
| 3. Уравнения реакций [1, 2] и общее по 1 б, сжигаемая доля 1 б | $1б \cdot 3 + 1б = 4 б;$ |
| 4-5. Уравнения реакций [3-5] по 1 б, расчет тепла 2 б | $1б \cdot 3 + 2б = 5 б;$ |
| 6. Количество электроэнергии 2 б, количество домиков 2 б | $2б + 2б = 4 б;$ |
| 7. Расчет температуры 2 б | 2 б; |
| 8. Масса ангидрида 2 б, масса 90% кислоты 4 б | $2б + 4б = 6 б;$ |
| 9. Расчет температур по 2 б | $2б \cdot 2 = 4 б;$ |
| Всего | 33 балла |