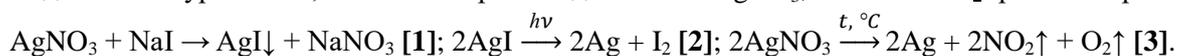
**Задание 1.** (авторы И.А. Трофимов, А.С. Романов, В.А. Емельянов).

1. Физическую величину, численно равную количеству формульных единиц (ф. е.), содержащихся в одном моле вещества, называют числом Авогадро. Численное значение этой величины равно $6,022045 \cdot 10^{23}$. Для рядовых расчетов обычно используют три значащих цифры, т.е. полностью верный ответ $6,02 \cdot 10^{23}$.

2. Количество протонов, приходящихся на одну ф. е., в этих веществах следующее: медь (Cu) – 29, азот (N_2) – $7 \cdot 2 = 14$, озон (O_3) – $8 \cdot 3 = 24$, хлорид бора (BCl_3) – $5 + 17 \cdot 3 = 56$, оксид алюминия (Al_2O_3) – $13 \cdot 2 + 8 \cdot 3 = 50$, карбонат аммония ($(NH_4)_2CO_3$) – $(7+4) \cdot 2 + 6 + 8 \cdot 3 = 52$.

3. Поскольку в растворе после взаимодействия остаётся лишь нитрат натрия, следовательно, одна из искомым солей – нитрат $M(NO_3)_n$, а другая соль натрия Na_mX . Также из этого ясно, что в реакции $mM(NO_3)_n + nNa_mX = (n \cdot m)NaNO_3 + M_mX_n \downarrow$ оба вещества прореагировали полностью. Так как начальные количества веществ были одинаковые (по 0,004 моль $M(NO_3)_n$ и Na_mX), из этого следует, что n и m равны между собой и с очень высокой вероятностью равны единице. В этом случае вещества **A** в осадок выпало 0,004 моль, а его молярная масса равна $M_A = 0,94/0,004 = 235$ г/моль. Цвет осадка, фоточувствительность и использование в фотографии этого бинарного вещества со степенями окисления элементов +1 и -1 наводят на мысль о бромиде либо иодиде серебра, из которых последний имеет молярную массу $107,87 + 126,9 = 234,77$, что с хорошей точностью (концентрации растворов даны с одной значащей цифрой) совпадает с необходимым значением.

Таким образом, **A** – AgI – иодид серебра. Количество протонов на одну ф.е. в этом веществе, ровно $100 = 47 + 53$. Столько же протонов на одну ф. е. будет и в веществах **B** и **C**. Судя по данным о разложении *соли 1* с выделением бурого газа, *соль 1* – нитрат. Тогда *соль 1* – $AgNO_3$, *соль 2* – NaI . Уравнения реакций:



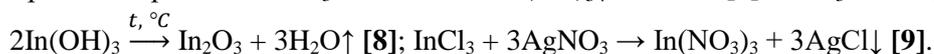
4. Внимательно изучив выданную таблицу растворимости, можно заметить, что единственный двухвалентный металл, который обладает только двумя хорошо растворимыми соединениями – это свинец. Следовательно, вещество **B** – свинцовая соль. Имея информацию о содержании 100 протонов на одну ф. е. этой соли и отнимая количество протонов в ядре свинца, получим 18 протонов на остальные ядра. Единственный разумный вариант – PbF_2 . Тогда **D** – $Pb(NO_3)_2$, **E** – $Pb(CH_3COO)_2$, *соль 3* – NaF . Уравнения реакций:



5. 70 мл 1,0 М раствора фторида натрия содержат $0,07 \cdot 1 = 0,07$ моль NaF . Максимальное количество фторида свинца, которое мы сможем получить, в два раза меньше, т.е. $0,07/2 = 0,035$ моль, его масса $0,035 \cdot 245 = 8,6$ г. Стехиометрические количества веществ **D** и **E**, необходимые для этой цели, также по 0,035 моль, их массы $0,035 \cdot 331 = 11,6$ г и $0,035 \cdot 325 = 11,4$ г. Массы 10 % растворов **D** и **E** составят $11,6/0,1 = 116$ г и $11,4/0,1 = 114$ г, их объёмы $116/1,09 = 106,4$ мл и $114/1,05 = 108,6$ мл соответственно.

6. Осадок **F**, выпадающий из раствора как при действии раствора щелочи, так и аммиака – гидроксид. Нагревание **F** до 340 °С приводит к отщеплению воды, так что вещество **G** должно быть оксидом этого элемента. Чаще всего при таком нагревании гидроксидов не происходит изменения степени окисления элемента, поэтому наиболее вероятно, что формула его оксида $\text{Э}_2\text{O}_3$. Вычислим атомную массу Э, исходя из этого предположения и массовой доли кислорода в оксиде. $0,1727 = 48/(2M_Э + 48)$, откуда $M_Э = 115$ а.е.м.

Тогда получается, что элемент – это индий, **F** – $In(OH)_3$ и **G** – In_2O_3 . Так как индий входит в состав исходной соли **C**, то на остающиеся атомы приходится 51 протон. Это может быть как атом сурьмы, так и три атома хлора. Оба вещества существуют, однако $InSb$ нерастворим в воде, а $InCl_3$ – растворим. Последний вариант подтверждается также тем, что *соль 1* даёт с **C** белый осадок в растворе. Тогда **C** – это $InCl_3$.



7. Элементы одного семейства – это галогены, расположенные в VIIA (17) группе ПС. Тогда есть ещё четыре таких соединения, в состав которых входят галогены: $ZnBr_2$, PCl_5 , $GeCl_4$ и $DyCl_2$ (существует в сухой инертной атмосфере).

A	B	C	D	E	
AgI	PbF ₂	InCl ₃	Pb(NO ₃) ₂	Pb(CH ₃ COO) ₂	
F	G	два вещества из четырех		<i>соль 1</i>	<i>соль 2</i>
In(OH) ₃	In ₂ O ₃	ZnBr ₂ , GeCl ₄ , PCl ₅ и DyCl ₂		AgNO ₃	NaI
					<i>соль 3</i>
					NaF

Система оценивания:

1. Число Авогадро 1 б., после округления $6,02 \cdot 10^{23}$ 2 б. ($6 \cdot 10^{23}$ 1 б.)	1+2 = 3 б.
2. Верные ф. е. по 0,5 б., количество протонов по 0,5 б. (если ф. е. неверна, но относится к тому же классу соединений, то за верное в ней кол-во протонов 0,5 б.)	(0,5+0,5)*6 = 6 б.
3. Формула вещества А, солей 1 и 2 по 1 б., название А 1 б., уравнения реакций по 1 б.	1*3+1+1*3 = 7 б.
4. Формулы веществ В, D, E и соли 3 по 1 б., уравнения реакций по 1 б.	1*4+1*2 = 6 б.
5. Масса вещества В 2 б., объемы растворов D и E по 2 б.	2*3 = 6 б.
6. Формулы веществ С, F и G по 1 б., уравнения реакций по 1 б.	1*3+1*4 = 7 б.
7. VII A (17) группа ПС 1 б., галогены 1 б., формулы двух веществ по 1 б.	1+1+1*2 = 4 б.
Всего:	39 баллов.

Задание 2. (авторы А.И. Ушеров, В.А. Емельянов).

1. «Кислые» газы – составная часть коксовых газов, которые образуются из каменного угля в результате пиролиза без доступа воздуха, значит, все газы образованы неметаллами, содержащимися в каменном угле. Уголь в свою очередь образовался из растительности, поэтому «кислые» газы могут содержать такие элементы, как С, Н, О, N, S, P. Растворимость «кислых» газов в аммиачной воде и лёгкое извлечение их из нее при нагревании позволяет исключить соединения фосфора, следовательно, «кислые» газы состоят из следующих 5 элементов С, Н, О, N, S. Сера могла бы быть не очевидной, но на ее присутствие есть явное указание при описании полезного продукта. Комбинируя эти элементы попарно (газы бинарные), можно составить лишь три вещества, реагирующих с аммиаком с образованием солей, которые будут разлагаться при температуре ниже 100 °С на исходные компоненты: CO₂, H₂S, SO₂. Однако, эти три газа суммарно образованы вовсе не 5-ю, а всего 4-мя элементами, поэтому данный перечень не удовлетворяет условию задачи. Более того, все три этих газа кислые, а в условии задачи сказано, что один из компонентов смеси проявляет основные свойства, с аммиаком не реагирует, а просто хорошо растворяется в воде, частично взаимодействуя с ней. Это позволяет включить в наш список аммиак и требует исключения из него одного из соединений. Исключив из этого списка CO₂, мы снова нарушаем условие 5-ти элементов, да и отсутствие углекислого газа в продуктах пиролиза угля кажется чем-то совсем невероятным. А вот при замене на аммиак как H₂S, так и SO₂ условие 5-ти элементов выполняется.

Проанализируем опыты, проведенные в лаборатории.

I-II. Концентрированным раствором натриевой щелочи могут поглощаться CO₂, H₂S и SO₂ а аммиак в нем практически не растворяется. То есть, газ А – аммиак, а его объемная (она же мольная) доля составляет 0,1 или 10 % (объем смеси уменьшился в 10 раз). Именно в реакции с аммиаком из раствора сульфата меди выпадает светло-голубой осадок гидроксида меди, который растворяется в избытке аммиака с образованием раствора аммиачного комплекса меди интенсивного темно-синего цвета.

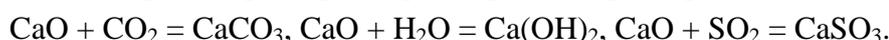
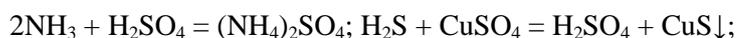
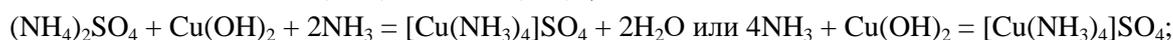
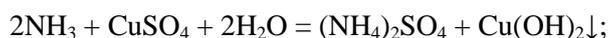
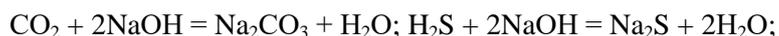
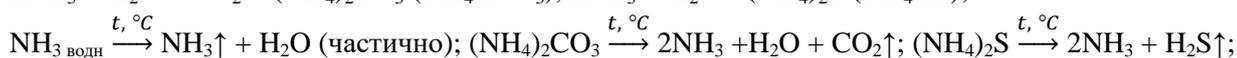
III. Образовывать черный осадок с избытком раствора сульфата меди, подкисленного серной кислотой, может только H₂S. Аммиак будет реагировать лишь с избытком кислоты, карбонаты и сульфиты в кислой среде образоваться не могут, да и цвет был бы не тот. Объективно, SO₂ восстанавливает медь(II), причем в этих условиях получится металлическая медь, но она не черного цвета, а красного. Следовательно, второй компонент смеси «кислых» газов – H₂S. Сульфида меди получилось $14,325/95,5 = 0,15$ моль, следовательно, сероводорода в исходной смеси «кислых» газов тоже было 0,15 моль. Через раствор пропускали $28,95/28,95 = 1$ моль исходной смеси, следовательно, мольная доля H₂S в ней составляет 0,15 или 15 %.

IV. При сжигании «кислых» коксовых газов общим количеством $55,2/55,2 = 1$ моль в избытке ($27,6/55,2 = 0,5$ моль) кислорода получили смесь газов Б, Г, Д, Е, Ж в количестве $80,04/55,2 = 1,45$ моль. Газ Б не сгорел, следовательно, газ Б – CO₂, газ В – H₂S. По условию, продуктами сгорания газа А (NH₃) при 400 °С являются вещества Г и Д (N₂ и H₂O). Тогда газы Е и Ж – SO₂ (второй продукт сгорания H₂S, первый – H₂O) и O₂ (был в избытке).

V. При пропускании горячей смеси газов через трубку с оксидом кальция поглощаются CO₂ (Б), H₂O (Д) и SO₂ (Е). После этой операции в смеси газов остаются N₂ (Г) и O₂ (Ж) общим количеством $5,6/22,4 = 0,25$ моль. Поскольку мольная доля аммиака в «кислом» газе составляла 10 %, в опыте IV сгорело $0,1 \cdot 1 = 0,1$ моль аммиака и получилось 0,05 моль азота. Больше азот не получался нигде, следовательно кислорода в этой смеси $0,25 - 0,05 = 0,2$ моль. Те же цифры получатся, если использовать любое из дополнительных условий: $n(N_2) + 4n(N_2) = 0,25$ или $28n(N_2) + 32(0,25 - n(N_2)) = 31,2 \cdot 0,25$.

Итак, **А** – NH₃, аммиак; **Б** – CO₂, углекислый газ (двуокись (диоксид) углерода), **В** – H₂S, сероводород; **Г** – N₂, азот; **Д** – H₂O, вода (водяной пар), **Е** – SO₂, сернистый газ (двуокись (диоксид) серы, сернистый ангидрид), **Ж** – O₂, кислород.

2. Уравнения реакций: NH₃ + H₂O = NH₄⁺ + OH⁻ (NH₃_{водн.}, NH₃*H₂O, NH₄OH или «не реагируют»),



3. При анализе опытов I-II мы установили, что мольная доля NH₃ в пробе составляла 0,1 (10 %), а мольная доля H₂S 0,15 (15 %). Следовательно, мольная доля CO₂ в этой пробе составила 1-0,1-0,15 = 0,75 (75 %).

4. Мы установили, что не поглощенная оксидом кальция смесь после сжигания 1 моль исходной пробы содержала 0,05 моль азота и 0,2 моль избыточного кислорода. При сжигании 0,1 моль аммиака образовалось 0,05 моль азота и 0,15 моль воды, потрачено 0,075 моль кислорода. При сжигании 0,15 моль сероводорода образуется 0,15 моль сернистого газа и 0,15 моль воды, затрачивается 0,225 моль кислорода. Всего кислорода было истрачено 0,075+0,225 = 0,3 моль, осталось 0,2 моль, что совпадает с предыдущим расчетом. Общее количество газов в смеси, полученной после сжигания 1 моль исходной пробы, составляет 0,75 (**Б**) + 0,05 (**Г**) + 0,15*2 (**Д**) + 0,15 (**Е**) + 0,2 (**Ж**) = 1,45 моль, что также совпадает с расчетом по условию.

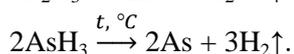
Итак, мольные доли газов в газовой смеси, полученной после сжигания исходной пробы, составляют: **Б** – 0,75/1,45 = 0,5172 (51,72 %), **Г** – 0,05/1,45 = 0,0345 (3,45 %), **Д** – 0,3/1,45 = 0,2069 (20,69 %), **Е** – 0,15/1,45 = 0,1034 (10,34 %), **Ж** – 0,2/1,45 = 0,1379 (13,79 %).

Система оценивания:

1. Формулы веществ А-Ж по 1,5 б., названия по 0,5 б.,	(1,5+0,5)*7 = 14 б.
2. Уравнения реакций по 1 б.	1*17 = 17 б.
3. Мольные доли компонентов исходной пробы по 2 б.	2*3 = 6 б.
4. Мольные доли газов в смеси, полученной после сжигания по 2 б.	2*5 = 10 б.
Всего:	47 баллов.

Задание 3. (автор Т.М. Карнаухов).

1. Для установления элемента **Х** достаточно посчитать молярную массу его водородного соединения: 39*2 = 78. Поскольку степень окисления **Х** в оксиде равна +3, наиболее вероятный состав водородного соединения ХН₃. Тогда получаем A_r(X) = 78-3 = 75 г/моль, что соответствует мышьяку. Можно было и воспользоваться данными о составе его оксида. Поскольку степень окисления **Х** равна +3, запишем формулу **В** как Х₂О₃. Массовая доля кислорода в нём составляет 1 – 0,7573 = 0,2427. Молярная масса оксида равна 16*3/0,2427 = 197,8 г/моль. Вычитая массу трех моль атомов кислорода, получаем, что на 2 моль атомов **Х** приходится 197,8 – 48 = 149,8 г/моль, т. е. A_r(X) = 149,8/2 = 74,9 г/моль. Элемент **Х** – мышьяк, **В** – оксид мышьяка(III). При восстановлении оксида в атмосфере водорода образуется неустойчивый двухэлементный газ арсин **А** – AsH₃, при нагревании разлагающийся на составляющие его простые вещества с образованием мышьякового зеркала. Уравнения реакций:



2. Определим атомное соотношение мышьяка и кислорода в соли **С**:

$$v(\text{As}) : v(\text{O}) = \frac{1,17}{75} : \frac{1}{16} = 0,0156 : 0,0625. \text{ Разделив на наименьшее число, получаем } v(\text{As}) : v(\text{O}) = 1 : 4.$$

Кроме того, зная массовую долю мышьяка, можно установить молярную массу вещества **С**, которая приходится на один атом As: M(**С**) = 75/0,3884 = 192,9 г/моль. Вычитая массу одного моль атомов мышьяка и четырех моль атомов кислорода, получаем 192,9 – 74,9 – 4*16 = 54 г/моль. Поскольку, согласно условию, соль четырехэлементная, эта масса соответствует оставшимся двум элементам. Реакция проводится в аммиачном растворе, значит, этими элементами могут быть азот и водород, а значение 54 г/моль хорошо соответствует молярной массе трех катионов аммония NH₄⁺. Получаем, что соль **С** – арсенат аммония (NH₄)₃AsO₄,

действительно содержащая мышьяк в высшей степени окисления +5.

Уравнение реакции растворения мышьяка: $2As + 6NH_3 + 5H_2O_2 = 2(NH_4)_3AsO_4 + 2H_2O$.

3. Ближайшие соседи мышьяка по подгруппе – фосфор и сурьма, по периоду – германий и селен. Кроме того, поскольку один из элементов тяжелее мышьяка, а другой – легче, в качестве **Y** и **Z** подойдут лишь пары P – Se и Ge – Sb. Установить элемент **Y** нам поможет расчёт по уравнению сгорания вещества **D**. Поскольку оно является аналогом вещества **A** – арсина, оно является бинарным водородным соединением состава YH_n . Уравнение его сгорания в общем виде может быть записано так:



4. Составим уравнение на атомную массу **Y**:

$$\frac{m(YO_{n/2})}{m(YH_n)} = \frac{M_r(YO_{n/2})}{M_r(YH_n)} = \frac{A_r(Y) + 8n}{A_r(Y) + n} = 1,364, \text{ откуда } A_r(Y) = 18,23n.$$

Так как рассуждениями мы пришли к тому, что **Y** – один из четырех элементов (P, Ge, Se, Sb), делать полный перебор по значениям n необязательно. Достаточно лишь проверить, для какого из элементов удастся получить разумное целое значение n : $A_r(P) = 31$ г/моль, $n = 31/18,23 = 1,7$; $A_r(Ge) = 73$ г/моль, $n = 73/18,23 = 4,0$; $A_r(Se) = 79$ г/моль, $n = 79/18,23 = 4,3$; $A_r(Sb) = 122$ г/моль, $n = 122/18,23 = 6,7$.

Получаем, что элемент **Y** – германий. Так как он сосед мышьяка по периоду и при этом легче его, то элемент **Z** – сосед мышьяка по подгруппе и тяжелее его. Таким образом, **Z** – сурьма. Получается, что **D** – герман GeH_4 , **E** – оксид германия (IV) GeO_2 .

5. Уравнение реакции сгорания гидрида германия: $GeH_4 + 2O_2 = GeO_2 + 2H_2O$. Найдем теплоту сгорания германа:

$$Q_{сгор}^0(GeH_4) = Q_{обр}^0(GeO_2) + 2Q_{обр}^0(H_2O) - Q_{обр}^0(GeH_4) = 567,43 + 2 \cdot 285,83 - (-90,8) = 1229,89 \text{ кДж/моль}.$$

Тогда на 1 г выделится $1229,89 \cdot 1/77 = 15,97$ кДж теплоты.

6. Рассчитаем состав соединения **F**. Так как это соединение бинарное, и мольная доля мышьяка равна 50 %, то мышьяк и второй элемент входят в соединение в атомном соотношении 1 : 1. Отношение их атомных масс может быть найдено с помощью массовой доли мышьяка:

$$\frac{m(As)}{m(\text{Э})} = \frac{M(As)}{M(\text{Э})} = \frac{0,517}{1 - 0,517} = 1,07, \text{ откуда } M(\text{Э}) = \frac{M(As)}{1,07} = 70 \text{ г/моль, что соответствует атомной массе}$$

галлия. Таким образом, вещество **F** – арсенид галлия $GaAs$.

7. Самые известные главные герои книг Астрид Линдгрэн (кроме Калле Блумквиста), это Карлсон (или Малыш), Пеппи Длинный чулок (ее слова и фото из соответствующего кинофильма приведены в начале этой задачи), Лиза (из серии «Мы все из Бюллербю»), Кати (из серии книг про Кати в разных странах), Лотта («Горластая улица»), Мадикен из одноименной серии книг, Эмиль («Эмиль из Лённеберги»).

Система оценивания:

1. Определение X с расчетом 3 б. (без расчёта 1 б.), формула и название A по 1 б., уравнение реакции получения арсина 2 б. (если неверно, то за формулу B 1 б.), уравнение реакции разложения арсина 1 б.	$3+1+1+2+1 = 8$ б.
2. Уравнение реакции 5 б. (если неверно, то за расчет состава C до 4 б.)	5 б.
3. Две пары элементов по 2 б. (неверные по -2 б., но в целом за вопрос не <0 б.), уравнение реакции сжигания D в общем виде 2 б.	$2 \cdot 2 + 2 = 6$ б.
4. Элементы Y и Z по 1 б., подтверждение Y расчетом 3 б., формулы D и E по 1 б., названия по 1 б.	$1 \cdot 2 + 3 + (1+1) \cdot 2 = 9$ б.
5. Уравнение реакции 1 б., теплота реакции 3 б., тепло на 1 г 2 б.	$1+3+2 = 5$ б.
6. Состав вещества F 3 б.	3 б.
7. Два главных героя из двух разных серий книг по 1 б.	$1 \cdot 2 = 2$ б.
Всего:	38 баллов.