**Задание 1.** (авторы А.С. Чубаров, В.А. Емельянов).

№	Элемент	Буква	№	Элемент	Буква	№	Элемент	Буква
1	Водород	в	7	Азот	з	13	Фосфор	к
2	Гелий	Х	8	Хром	Х	14	Серебро	д
3	Йод	е	9	Цинк	Х	15	Олово	Х
4	Хлор	а	10	Железо	и	16	Ртуть	л
5	Сера	ж	11	Магний	г	17	Цезий	б
6	Медь	Х	12	Свинец	Х	18	Золото	Х

Система оценивания:

1. За правильное определение каждого элемента 1 б., подходящее именно для выбранного элемента уравнение 1 б. Если элемент выбран неверно, но для него выбрано подходящее уравнение, ставится 1 б.	$1 \cdot 18 + 1 \cdot 11 = 29 \text{ б.}$
Всего:	29 баллов.

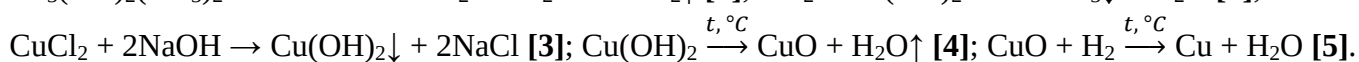
Задание 2. (авторы И.В. Лякишева, В.А. Емельянов).

1. Из описания цветов пигментов и признаков реакций [3]-[5] однозначно следует, что металл **Х** – медь. Бесцветный газ без запаха, выделяющийся при действии соляной кислоты на минерал и вызывающий помутнение известковой воды – CO_2 . Следовательно, **А** – какой-то карбонатный минерал меди. Масса меди в навеске 0,5531 г, ее количество $0,5531/63,5 = 0,00871$ моль. Количество карбонат-ионов в той же навеске равно количеству выделившегося углекислого газа и составляет $0,1299/22,4 = 0,00580$ моль. Их отношение составляет $0,00871/0,00580 = 1,50$ или $3 : 2$.

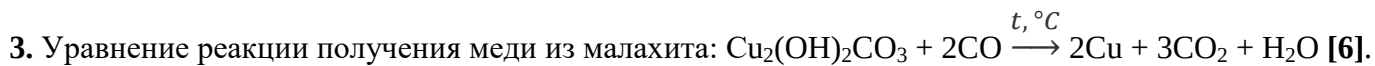
Можно считать и по-другому. Предположим, что один моль **А** содержит n моль меди и m моль карбонат-ионов. Количество молей **А** в навеске массой 1,000 г $v(\text{А}) = 1,000/M_{\text{А}}$. В то же время $v(\text{А}) = v(\text{CO}_2)/m = 0,0058/m$. Отсюда $M_{\text{А}} = 1,000 \cdot m/0,0058 = 172,4m$. Помимо этого, $M_{\text{А}} = nM_{\text{Cu}}/\omega_{\text{Cu}} = n \cdot 63,5/0,5531 = 114,8n$. Приравняв эти молярные массы, получим, что $172,4m = 114,8n$. Тогда $n/m = 172,4/114,8 = 1,50$ или $3 : 2$.

Итак, допустим, что каждый моль **А** содержит три атома меди. Тогда молярная масса **А** составляет $M_{\text{А}} = 3M_{\text{Cu}}/\omega_{\text{Cu}} = 3 \cdot 63,546/0,5531 = 344,67$ г/моль, из которых на медь и карбонат-ионы приходится $3 \cdot 63,546 + 2 \cdot 60 = 310,64$ г/моль. От молярной массы остается $344,67 - 310,64 = 34,03$ г/моль, что с хорошей точностью соответствует двум гидроксид-ионам, согласуется со степенью окисления меди +2 и приводит к известному минералу азуриту. **А** – $\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$, минерал азурит.

Уравнения реакций:



2. Другой, еще более известный медно-карбонатный минерал, имеющий характерный зеленый цвет и имеющий тот же качественный состав - малахит $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ или $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$. Массовая доля меди в малахите $2 \cdot 63,546/221,1 = 0,5748$ или 57,48%, что согласуется с условием задачи. По традиционной номенклатуре это вещество называется гидроксокарбонат меди, по русской - основная углекислая медь.



Чтобы вычислить массу меди, которую можно получить из 1 кг малахита, достаточно просто умножить массу малахита на массовую долю меди в нем: $m_{\text{Cu}} = 1 \cdot 0,5748 = 0,5748$ кг или 574,8 г.

4. Известняк - CaCO_3 - карбонат кальция, песок - SiO_2 - диоксид кремния, поташ - K_2CO_3 - карбонат калия, галит - NaCl - хлорид натрия, глауберова соль - $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ - декагидрат сульфата натрия.

5. Вычислим молярное соотношение реагентов (малахита, известняка и песка), для чего определим количество молей каждого из них при описанном сплавлении.

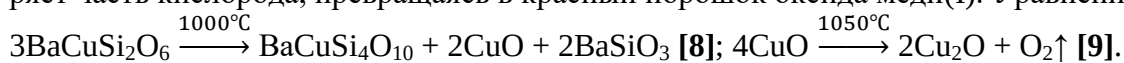
$\nu(\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3) = 5000/221 \approx 23$ моль; $\nu(\text{CaCO}_3) = 4600/100 = 46$ моль; $\nu(\text{SiO}_2) = 11000/60 = 183$ моль. Соотношение $\nu(\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3) : \nu(\text{CaCO}_3) : \nu(\text{SiO}_2) = 23 : 46 : 183 = 1 : 2 : 8$. Если дочитать задачу до конца, несложно понять, что состав пигмента **В** также можно представить, как комбинацию трех оксидов. Можно заметить, что масса получаемого пигмента (17,3 кг) заметно меньше, чем сумма масс реагентов ($5+4,6+11 = 20,6$ кг). Следовательно, не все элементы, содержащиеся в исходных веществах (а там их пять плюс кислород), попадают в состав пигмента. В случае **В** это будут оксиды меди (по условию), кальция (в пигментах **С** и **Д** именно он заменен элементом **Y**, карбонат которого берут для синтеза вместо известняка) и кремния (его было 11 кг, а масса пигмента меньше массы исходных веществ всего на $20,6-17,3 = 3,3$ кг). Действительно, наиболее очевидные "лишние" элементы - это водород и углерод, удаляющиеся из реакционной смеси при температуре синтеза в виде водяных паров и углекислого газа. Тогда уравнение реакции получения **В** будет выглядеть следующим образом:

$$\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3 + 2\text{CaCO}_3 + 8\text{SiO}_2 \xrightarrow{850^\circ\text{C}} 2\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10} + 3\text{CO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}\uparrow$$
 [7], а химическая формула **В** $\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$ или $\text{CaCu}(\text{Si}_2\text{O}_5)_2$ или $\text{CaO} \cdot \text{CuO} \cdot 4\text{SiO}_2$. Массовая доля меди в нем 16,9%, а получается его примерно $17300/375,5 = 46$ моль, что соответствует условию задачи и уравнению реакции [7].

6. Поскольку пигменты **В** и **С** имеют одинаковые химические формулы с заменой кальция на металл **Y** (да еще и этот металл из одной группы с кальцием), следовательно, металл **Y** также имеет степень окисления +2. Представив формулу карбоната как YCO_3 , вычислим молярную массу **Y**: $M_Y/(M_Y+60) = 0,6959$, откуда $0,3041M_Y = 41,754$, а $M_Y = 41,754/0,3041 = 137,3$. Тогда **Y** - барий, а формула пигмента **С** $\text{BaCuSi}_4\text{O}_{10}$ или $\text{BaCu}(\text{Si}_2\text{O}_5)_2$ или $\text{BaO} \cdot \text{CuO} \cdot 4\text{SiO}_2$.

Вычислим соотношение оксидов в формуле пигмента **Д**: $\text{BaO} : \text{CuO} : \text{SiO}_2 = 43,4/153,3 : 22,5/79,5 : (100-43,4-22,5)/60 = 0,283 : 0,283 : 0,568 = 1 : 1 : 2$. То есть, формула пигмента **Д** $\text{BaO} \cdot \text{CuO} \cdot 2\text{SiO}_2$ или $\text{BaCuSi}_2\text{O}_6$ или $\text{BaCu}(\text{SiO}_3)_2$.

Для того, чтобы правильно написать уравнение реакции [8], надо внимательно посмотреть на состав пигментов **С** и **Д** и разобраться с продуктами этой реакции. В составе одного моля пигмента **Д** содержится меньше оксида кремния, чем в составе одного моля пигмента **С**. Взять его мы можем только из пигмента **Д**, для чего придется часть этого пигмента разложить на составляющие его оксиды. Действительно, один из продуктов этой реакции – черный порошок CuO (такой же, как в реакции [4]). Логично предположить, что еще одним продуктом является BaO , но массовая доля бария в нем 89,57%, что сильно больше требующихся 64,35%. Это означает, что «лишний для пигмента **С**» оксид бария соединяется с чем-то еще, образуя вещество **Е**. Поскольку оксид меди выделился в индивидуальном состоянии, наиболее вероятно, что вещество **Е** является каким-то силикатом бария. Вычисляя его молярную массу в расчете на один моль бария, получаем $M_E = 137,3/0,6435 = 213,4$, что соответствует составу BaSiO_3 (вещество **Е**). При нагревании до 1050°C черный порошок оксида меди(II) теряет часть кислорода, превращаясь в красный порошок оксида меди(I). Уравнения реакций:



Система оценивания:

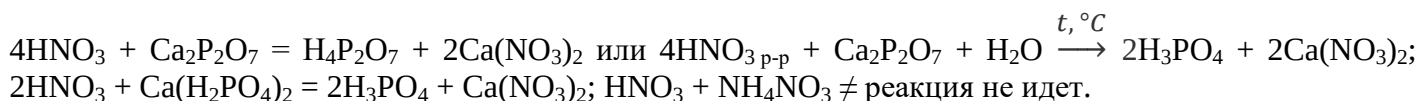
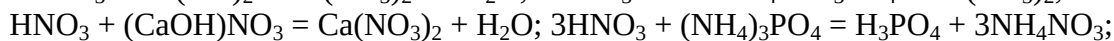
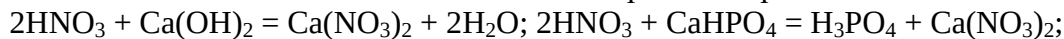
1. Формула и название минерала по 1 б., расчеты с учетом объема газа и массовой доли 4 б. (только по одной из цифр 2 б.), уравнения реакций по 1 б.	$1+1+4+1 \cdot 5 = 11$ б.
2. Формула минерала 2 б., названия по 1 б.	$2+1 \cdot 2 = 4$ б.
3. Уравнение реакции 1 б., масса меди 2 б.	$1+2 = 3$ б.
4. Формулы и номенклатурные названия веществ по 1 б.	$(1+1) \cdot 5 = 10$ б.
5. Формула пигмента 2 б., расчет 4 б., уравнение реакции 1 б.	$2+4+1 = 7$ б.
6. Металл Y 1 б., подтверждение расчетом 1 б., формула пигмента С 2 б., формула пигмента Д 2 б., подтверждение расчетом 3 б., формула соединения Е 2 б., расчет 1 б., уравнения реакций по 1 б.	$1+1+2 = 4$ б. $2+3 = 5$ б. $2+1+1 \cdot 2 = 5$ б.
Всего:	49 баллов.

Задание 3. (автор В.А. Емельянов).

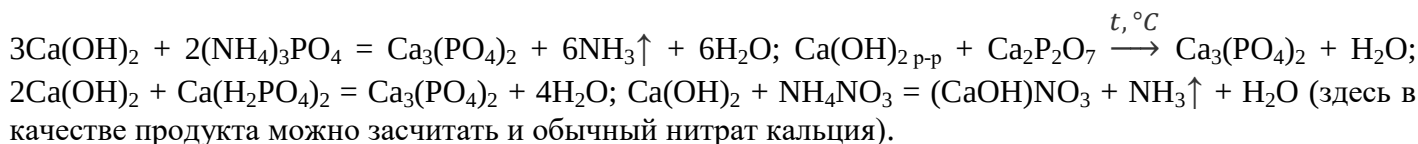
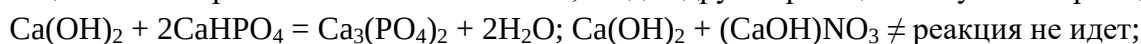
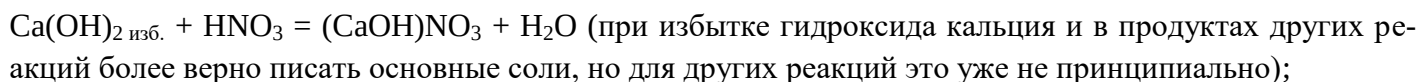
1-2. Механизм расчета брутто-формулы довольно прост. Представим, что у нас есть 100 г вещества 1. Массы каждого из элементов (Н, О, N) составят 1,6, 76,2 и 22,2 г, числа молей 1,6/1, 76,2/16 и 22,2/14. Соотношение молей атомов, а, следовательно, и соотношение атомов, содержащихся в молекуле (Н : О : N) составит: 1,6/1, 76,2/16 и 22,2/14 = 1,6 : 4,8 : 1,6. Разделим эти числа на минимальное из них, и получим отношение 1 : 3 : 1, т.е. брутто-формула соединения HO_3N . Таким образом, первое соединение – азотная кислота, более привычный вид формулы которой HNO_3 . Для второго вещества Н : О : Са = 2,72/1 : 43,2/16 : 54,1 : 40 = 2,72 : 2,7 : 1,35 или 2 : 2 : 1, откуда получаем $\text{H}_2\text{O}_2\text{Ca}$ или $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – гидроксид кальция. Действуя по тому же алгоритму, получим формулы остальных веществ и назовем их:

№	Брутто-формула	Общепринятая формула	Название
1	HO_3N	HNO_3	азотная кислота (100 %-я)
2	$\text{H}_2\text{O}_2\text{Ca}$	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	гидроксид кальция
3	HO_4PCa	CaHPO_4	гидрофосфат кальция
4	HO_4NCa	$(\text{CaOH})\text{NO}_3$	гидроксонитрат кальция
5	$\text{H}_{12}\text{O}_4\text{N}_3\text{P}$	$(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$	ортофосфат аммония
6	$\text{O}_7\text{P}_2\text{Ca}_2$	$\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$	дифосфат (пирофосфат) кальция
7	$\text{H}_4\text{O}_8\text{P}_2\text{Ca}$	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	дигидрофосфат кальция
8	$\text{H}_4\text{O}_3\text{N}_2$	NH_4NO_3	нитрат аммония

3. а) Азотная кислота – сильная кислота. Поэтому она будет реагировать с основаниями, а также вытеснять более слабые кислоты из их солей. Уравнения реакций:



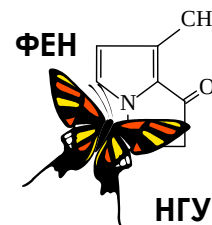
б) Гидроксид кальция является сильным основанием (особенно по первой ступени), поэтому он будет реагировать с соединениями, имеющими кислый характер, а также вытеснять аммиак из солей аммония. Уравнения реакций:



Если в уравнениях реакций вместо ортофосфата кальция приводится гидроксоапатит $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$, то такие уравнения также засчитываются.

Система оценивания:

1. Брутто-формулы по 1 б.	1*8 = 8 б.
2. Формулы в привычном виде по 0,5 б. (если брутто-формулы не записаны отдельно, но есть привычные формулы, то по 1,5 б.), названия по 0,5 б.	(0,5+0,5)*8 = 8 б.
3. Уравнения реакций или верные указания на то, что реакция не идет по 1 б.	1*14 = 14 б.
Всего:	30 баллов.

**Задание 1.** (авторы А.С. Чубаров, В.А. Емельянов).

№	Элемент	Буква	№	Элемент	Буква	№	Элемент	Буква
1	Водород	Х	7	Азот	в	13	Фосфор	д
2	Гелий	Х	8	Хром	Х	14	Серебро	з
3	Йод	к	9	Цинк	е	15	Олово	Х
4	Хлор	а	10	Железо	и	16	Ртуть	л
5	Сера	ж	11	Магний	г	17	Цезий	б
6	Медь	Х	12	Свинец	Х	18	Золото	Х

Система оценивания:

1. За правильное определение каждого элемента 1 б., подходящее именно для выбранного элемента уравнение 1 б. Если элемент выбран неверно, но для него выбрано подходящее уравнение, ставится 1 б.	$1 \cdot 18 + 1 \cdot 11 = 29 \text{ б.}$
Всего:	29 баллов.

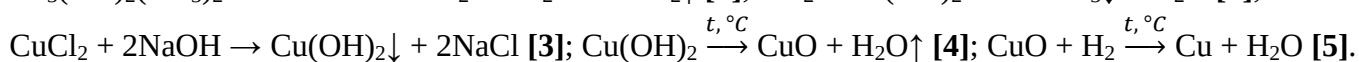
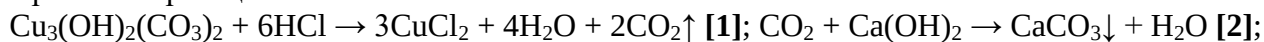
Задание 2. (авторы И.В. Лякишева, В.А. Емельянов).

1. Из описания цветов пигментов и признаков реакций [3]-[5] однозначно следует, что металл **Х** – медь. Бесцветный газ без запаха, выделяющийся при действии соляной кислоты на минерал и вызывающий помутнение известковой воды – CO_2 . Следовательно, **А** – какой-то карбонатный минерал меди. Масса меди в навеске 0,5531 г, ее количество $0,5531/63,5 = 0,00871$ моль. Количество карбонат-ионов в той же навеске равно количеству выделившегося углекислого газа и составляет $0,1299/22,4 = 0,00580$ моль. Их отношение составляет $0,00871/0,00580 = 1,50$ или $3 : 2$.

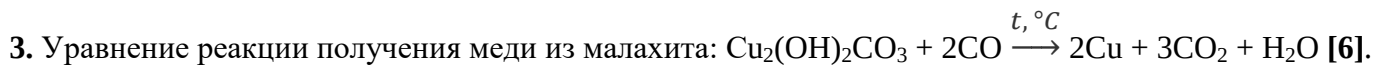
Можно считать и по-другому. Предположим, что один моль **А** содержит n моль меди и m моль карбонат-ионов. Количество молей **А** в навеске массой 1,000 г $v(\text{А}) = 1,000/M_{\text{А}}$. В то же время $v(\text{А}) = v(\text{CO}_2)/m = 0,0058/m$. Отсюда $M_{\text{А}} = 1,000 \cdot m/0,0058 = 172,4m$. Помимо этого, $M_{\text{А}} = nM_{\text{Cu}}/\omega_{\text{Cu}} = n \cdot 63,5/0,5531 = 114,8n$. Приравняв эти молярные массы, получим, что $172,4m = 114,8n$. Тогда $n/m = 172,4/114,8 = 1,50$ или $3 : 2$.

Итак, допустим, что каждый моль **А** содержит три атома меди. Тогда молярная масса **А** составляет $M_{\text{А}} = 3M_{\text{Cu}}/\omega_{\text{Cu}} = 3 \cdot 63,546/0,5531 = 344,67$ г/моль, из которых на медь и карбонат-ионы приходится $3 \cdot 63,546 + 2 \cdot 60 = 310,64$ г/моль. От молярной массы остается $344,67 - 310,64 = 34,03$ г/моль, что с хорошей точностью соответствует двум гидроксид-ионам, согласуется со степенью окисления меди +2 и приводит к известному минералу азуриту. **А** – $\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$, минерал азурит.

Уравнения реакций:



2. Другой, еще более известный медно-карбонатный минерал, имеющий характерный зеленый цвет и имеющий тот же качественный состав – малахит $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ или $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$. Массовая доля меди в малахите $2 \cdot 63,546/221,1 = 0,5748$ или 57,48%, что согласуется с условием задачи. По традиционной номенклатуре это вещество называется гидроксокарбонат меди, по русской – основная углекислая медь.



Чтобы вычислить массу меди, которую можно получить из 1 кг малахита, достаточно просто умножить массу малахита на массовую долю меди в нем: $m_{\text{Cu}} = 1 \cdot 0,5748 = 0,5748$ кг или 574,8 г.

4. Известняк – CaCO_3 – карбонат кальция, песок – SiO_2 – диоксид кремния, поташ – K_2CO_3 – карбонат калия, галит – NaCl – хлорид натрия, глауберова соль – $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ – декагидрат сульфата натрия.

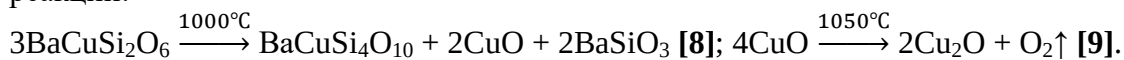
5. Вычислим молярное соотношение реагентов (малахита, известняка и песка), для чего определим количество молей каждого из них при описанном сплавлении.

$\nu(\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3) = 5000/221 \approx 23$ моль; $\nu(\text{CaCO}_3) = 4600/100 = 46$ моль; $\nu(\text{SiO}_2) = 11000/60 = 183$ моль. Соотношение $\nu(\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3) : \nu(\text{CaCO}_3) : \nu(\text{SiO}_2) = 23 : 46 : 183 = 1 : 2 : 8$. Если дочитать задачу до конца, несложно понять, что состав пигмента **В** также можно представить, как комбинацию трех оксидов. Можно заметить, что масса получаемого пигмента (17,3 кг) заметно меньше, чем сумма масс реагентов ($5+4,6+11 = 20,6$ кг). Следовательно, не все элементы, содержащиеся в исходных веществах (а там их пять плюс кислород), попадают в состав пигмента. В случае **В** это будут оксиды меди (по условию), кальция (в пигментах **С** и **Д** именно он заменен элементом **Y**, карбонат которого берут для синтеза вместо известняка) и кремния (его было 11 кг, а масса пигмента меньше массы исходных веществ всего на $20,6-17,3 = 3,3$ кг). Действительно, наиболее очевидные "лишние" элементы - это водород и углерод, удаляющиеся из реакционной смеси при температуре синтеза в виде водяных паров и углекислого газа. Тогда уравнение реакции получения **В** будет выглядеть следующим образом: $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3 + 2\text{CaCO}_3 + 8\text{SiO}_2 \xrightarrow{850^\circ\text{C}} 2\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10} + 3\text{CO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}\uparrow$ [7], а химическая формула **В** $\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$ или $\text{CaCu}(\text{Si}_2\text{O}_5)_2$ или $\text{CaO} \cdot \text{CuO} \cdot 4\text{SiO}_2$. Массовая доля меди в нем 16,9%, а получается его примерно $17300/375,5 = 46$ моль, что соответствует условию задачи и уравнению реакции [7].

6. Поскольку пигменты **В** и **С** имеют одинаковые химические формулы с заменой кальция на металл **Y** (да еще и этот металл из одной группы с кальцием), следовательно, металл **Y** также имеет степень окисления +2. Представив формулу карбоната как YCO_3 , вычислим молярную массу **Y**: $M_Y/(M_Y+60) = 0,6959$, откуда $0,3041M_Y = 41,754$, а $M_Y = 41,754/0,3041 = 137,3$. Тогда **Y** - барий, а формула пигмента **С** $\text{BaCuSi}_4\text{O}_{10}$ или $\text{BaCu}(\text{Si}_2\text{O}_5)_2$ или $\text{BaO} \cdot \text{CuO} \cdot 4\text{SiO}_2$.

Вычислим соотношение оксидов в формуле пигмента **Д**: $\text{BaO} : \text{CuO} : \text{SiO}_2 = 43,4/153,3 : 22,5/79,5 : (100-43,4-22,5)/60 = 0,283 : 0,283 : 0,568 = 1 : 1 : 2$. То есть, формула пигмента **Д** $\text{BaO} \cdot \text{CuO} \cdot 2\text{SiO}_2$ или $\text{BaCuSi}_2\text{O}_6$ или $\text{BaCu}(\text{SiO}_3)_2$.

Для того, чтобы правильно написать уравнение реакции [8], надо внимательно посмотреть на состав пигментов **С** и **Д** и разобраться с продуктами этой реакции. В составе одного моля пигмента **Д** содержится меньше оксида кремния, чем в составе одного моля пигмента **С**. Взять его мы можем только из пигмента **Д**, для чего придется часть этого пигмента разложить на составляющие его оксиды. Действительно, один из продуктов этой реакции – черный порошок CuO (такой же, как в реакции [4]). Логично предположить, что еще одним продуктом является BaO , но массовая доля бария в нем 89,57%, что сильно больше требующихся 64,35%. Это означает, что «лишний для пигмента **С**» оксид бария соединяется с чем-то еще, образуя вещество **Е**. Поскольку оксид меди выделился в индивидуальном состоянии, наиболее вероятно, что вещество **Е** является каким-то силикатом бария. Вычисляя его молярную массу в расчете на один моль бария, получаем $M_E = 137,3/0,6435 = 213,4$, что соответствует составу BaSiO_3 (метасиликат бария, вещество **Е**). При нагревании до 1050°C черный порошок оксида меди(II) теряет часть кислорода, превращаясь в красный порошок оксида меди(I). Уравнения реакций:



Система оценивания:

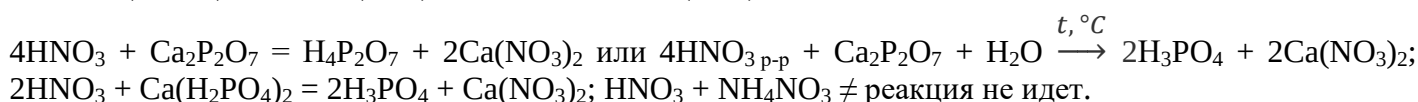
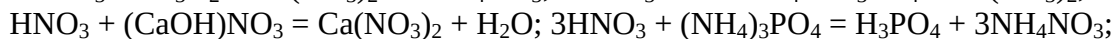
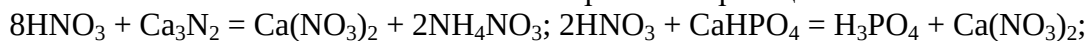
1. Формула и название минерала по 1 б., расчеты с учетом объема газа и массовой доли 4 б. (только по одной из цифр 2 б.), уравнения реакций по 1 б.	$1+1+4+1 \cdot 5 = 11 \text{ б.}$
2. Формула минерала 2 б., названия по 1 б.	$2+1 \cdot 2 = 4 \text{ б.}$
3. Уравнение реакции 1 б., масса меди 2 б.	$1+2 = 3 \text{ б.}$
4. Формулы и номенклатурные названия веществ по 1 б.	$(1+1) \cdot 5 = 10 \text{ б.}$
5. Формула пигмента 2 б., расчет 4 б., уравнение реакции 1 б.	$2+4+1 = 7 \text{ б.}$
6. Металл Y 1 б., подтверждение расчетом 1 б., формула пигмента С 2 б., формула пигмента Д 2 б., подтверждение расчетом 3 б., формула соединения Е 2 б., расчет 1 б., метасиликат 1 б. (силикат 0,5 б.), уравнения реакций по 1 б.	$1+1+2 = 4 \text{ б.}$ $2+3 = 5 \text{ б.}$ $2+1+1 = 4 \text{ б.}$ $1 \cdot 2 = 2 \text{ б.}$
Всего:	50 баллов.

Задание 3. (автор В.А. Емельянов).

1-2. Механизм расчета брутто-формулы довольно прост. Представим, что у нас есть 100 г вещества 1. Массы каждого из элементов (Н, О, N) составят 1,6, 76,2 и 22,2 г, числа молей 1,6/1, 76,2/16 и 22,2/14. Соотношение молей атомов, а, следовательно, и соотношение атомов, содержащихся в молекуле (Н : О : N) составит: 1,6/1, 76,2/16 и 22,2/14 = 1,6 : 4,8 : 1,6. Разделим эти числа на минимальное из них, и получим отношение 1 : 3 : 1, т.е. брутто-формула соединения HO_3N . Таким образом, первое соединение – азотная кислота, более привычный вид формулы которой HNO_3 . Для второго вещества N : Ca = 18,9/14 : 81,1 : 40 = 1,35 : 2,03 или 1 : 1,5 (2 : 3), откуда получаем N_2Ca_3 или Ca_3N_2 – нитрид кальция. Действуя по тому же алгоритму, получим формулы остальных веществ и назовем их:

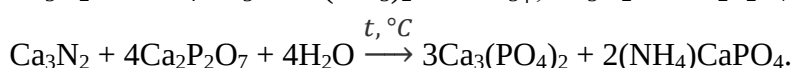
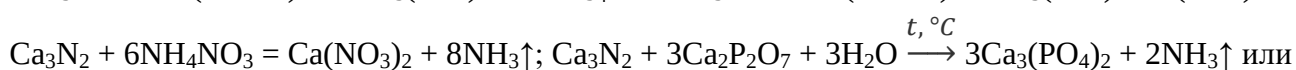
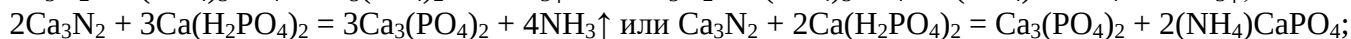
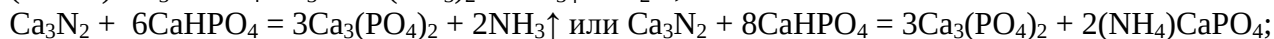
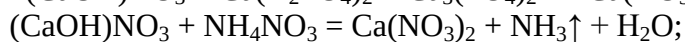
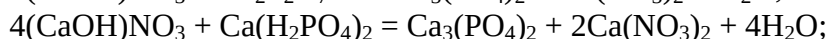
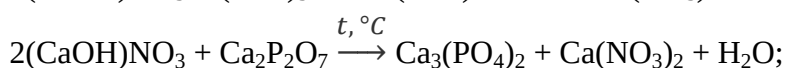
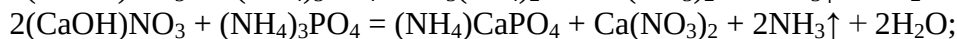
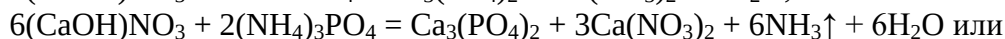
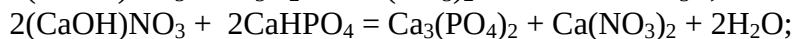
№	Брутто-формула	Общепринятая формула	Название
1	HO_3N	HNO_3	азотная кислота (100 %-я)
2	N_2Ca_3	Ca_3N_2	нитрид кальция
3	HO_4PCa	CaHPO_4	гидрофосфат кальция
4	HO_4NCa	$(\text{CaOH})\text{NO}_3$	гидроксонитрат кальция
5	$\text{H}_{12}\text{O}_4\text{N}_3\text{P}$	$(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$	ортофосфат аммония
6	$\text{O}_7\text{P}_2\text{Ca}_2$	$\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$	дифосфат (пирофосфат) кальция
7	$\text{H}_4\text{O}_8\text{P}_2\text{Ca}$	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	дигидрофосфат кальция
8	$\text{H}_4\text{O}_3\text{N}_2$	NH_4NO_3	нитрат аммония

3. Азотная кислота – сильная кислота. Поэтому она будет реагировать с основаниями, а также вытеснять более слабые кислоты из их солей. Уравнения реакций:

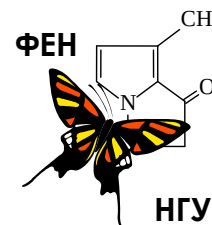


4. Гидроксонитрат и нитрид кальция являются сильными основаниями (особенно нитрид, для которого и OH^- - кислота), поэтому они будут реагировать с соединениями, имеющими кислый характер.

Уравнения реакций:

**Система оценивания:**

1. Брутто-формулы по 1 б.	1*8 = 8 б.
2. Формулы в привычном виде по 0,5 б. (если брутто-формулы не записаны отдельно, но есть привычные формулы, то по 1,5 б.), названия по 0,5 б.	(0,5+0,5)*8 = 8 б.
3-4. Уравнения реакций или верные указания на то, что реакция не идет по 1 б.	1*18 = 18 б.
Всего:	34 балла.

**Задание 1.** (авторы А.С. Чубаров, В.А. Емельянов).

№	Элемент	Буква	№	Элемент	Буква	№	Элемент	Буква
1	Водород	Х	7	Азот	Х	13	Фосфор	д
2	Гелий	в	8	Хром	Х	14	Серебро	з
3	Йод	к	9	Цинк	е	15	Олово	а
4	Хлор	Х	10	Железо	и	16	Ртуть	л
5	Сера	ж	11	Магний	г	17	Цезий	Х
6	Медь	Х	12	Свинец	Х	18	Золото	б

Система оценивания:

1. За правильное определение каждого элемента 0,5 б., подходящее именно для выбранного элемента уравнение 1 б. Если элемент выбран неверно, но для него выбрано подходящее уравнение, ставится 1 б.	$0,5 \cdot 18 + 1 \cdot 11 = 20 \text{ б.}$
Всего:	20 баллов.

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

1. Из описания цветов пигментов и признаков реакций [3]-[5] однозначно следует, что металл **Х** – медь. Бесцветный газ без запаха, выделяющийся при действии соляной кислоты на минерал и вызывающий помутнение известковой воды – CO_2 . Следовательно, **А** – какой-то карбонатный минерал меди. Масса меди в навеске 0,5531 г, ее количество $0,5531/63,5 = 0,00871$ моль. Количество карбонат-ионов в той же навеске равно количеству выделившегося углекислого газа и составляет $0,1299/22,4 = 0,00580$ моль. Их отношение составляет $0,0871/0,00580 = 1,50$ или 3 : 2.

Можно считать и по-другому. Предположим, что один моль **А** содержит n моль меди и m моль карбонат-ионов. Количество молей **А** в навеске массой 1,000 г $\nu(\text{А}) = 1,000/M_{\text{А}}$. В то же время $\nu(\text{А}) = \nu(\text{CO}_2)/m = 0,0058/m$. Отсюда $M_{\text{А}} = 1,000 \cdot m/0,0058 = 172,4m$. Помимо этого, $M_{\text{А}} = nM_{\text{Cu}}/\omega_{\text{Cu}} = n \cdot 63,5/0,5531 = 114,8n$. Приравняв эти молярные массы, получим, что $172,4m = 114,8n$. Тогда $n/m = 172,4/114,8 = 1,50$ или 3 : 2.

Итак, допустим, что каждый моль **А** содержит три атома меди. Тогда молярная масса **А** составляет $M_{\text{А}} = 3M_{\text{Cu}}/\omega_{\text{Cu}} = 3 \cdot 63,546/0,5531 = 344,67$ г/моль, из которых на медь и карбонат-ионы приходится $3 \cdot 63,546 + 2 \cdot 60 = 310,64$ г/моль. От молярной массы остается $344,67 - 310,64 = 34,03$ г/моль, что с хорошей точностью соответствует двум гидроксид-ионам, согласуется со степенью окисления меди +2 и приводит к известному минералу азуристу. **А** – $\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$, минерал азурит.

Уравнения реакций: $\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2 + 6\text{HCl} \rightarrow 3\text{CuCl}_2 + 4\text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2 \uparrow$ [1];

$\text{CO}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$ [2]; $\text{CuCl}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2 \downarrow + 2\text{NaCl}$ [3];

$\text{Cu}(\text{OH})_2 + 4\text{NH}_3 \rightarrow [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$ [4]; $\text{Cu}(\text{OH})_2 \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} \text{CuO} + \text{H}_2\text{O} \uparrow$ [5].

2. Другой, еще более известный медно-карбонатный минерал, имеющий характерный зеленый цвет и имеющий тот же качественный состав – малахит $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ или $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$. Массовая доля меди в малахите $2 \cdot 63,546/221,1 = 0,5748$ или 57,48%, что согласуется с условием задачи. По традиционной номенклатуре это вещество называется гидрокарбонат меди, по русской – основная углекислая медь.

3. Уравнение реакции получения меди из малахита: $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3 + 2\text{CO} \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} 2\text{Cu} + 3\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ [6].

Чтобы вычислить массу меди, которую можно получить из 1 кг малахита, достаточно просто умножить массу малахита на массовую долю меди в нем: $m_{\text{Cu}} = 1 \cdot 0,5748 = 0,5748$ кг или 574,8 г.

4. Известняк – CaCO_3 – карбонат кальция, песок – SiO_2 – диоксид кремния, поташ – K_2CO_3 – карбонат калия, галит – NaCl – хлорид натрия, глауберова соль – $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ – декагидрат сульфата натрия.

5. Вычислим мольное соотношение реагентов (малахита, известняка и песка), для чего определим количество молей каждого из них при описанном сплавлении.

$\nu(\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3) = 0,88 \cdot 5700 / 221 \approx 23$ моль; $\nu(\text{CaCO}_3) = 0,8 \cdot 5750 / 100 = 46$ моль; $\nu(\text{SiO}_2) = 0,9 \cdot 12200 / 60 = 183$ моль. Соотношение $\nu(\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3) : \nu(\text{CaCO}_3) : \nu(\text{SiO}_2) = 23 : 46 : 183 = 1 : 2 : 8$. Если дочитать задачу до конца, несложно понять, что состав пигмента **В** также можно представить, как комбинацию трех оксидов. Можно заметить, что масса получаемого пигмента (17,3 кг) заметно меньше, чем сумма масс реагентов ($0,88 \cdot 5,7 + 0,8 \cdot 5,75 + 0,9 \cdot 12,2 = 20,6$ кг). Следовательно, не все элементы, содержащиеся в исходных веществах (а там их пять плюс кислород), попадают в состав пигмента. В случае **В** это будут оксиды меди (по условию), кальция (в пигментах **С** и **Д** именно он заменен элементом **Y**, карбонат которого берут для синтеза вместо известняка) и кремния (его было $0,9 \cdot 12,2 = 11$ кг, а масса пигмента меньше массы исходных веществ всего на $20,6 - 17,3 = 3,3$ кг). Действительно, наиболее очевидные "лишние" элементы - это водород и углерод, удаляющиеся из реакционной смеси при температуре синтеза в виде водяных паров и углекислого газа. Уравнение реакции получения **В**:

$\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3 + 2\text{CaCO}_3 + 8\text{SiO}_2 \xrightarrow{850^\circ\text{C}} 2\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10} + 3\text{CO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}\uparrow$ [7], а химическая формула **В** $\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$ или $\text{CaCu}(\text{Si}_2\text{O}_5)_2$ или $\text{CaO} \cdot \text{CuO} \cdot 4\text{SiO}_2$. Массовая доля меди в нем 16,9%, а получается его примерно $17300 / 375,5 = 46$ моль, что соответствует условию задачи и уравнению реакции [7].

6. Поскольку пигменты **В** и **С** имеют одинаковые химические формулы с заменой кальция на металл **Y** (да еще и этот металл из одной группы с кальцием), следовательно, металл **Y** также имеет степень окисления +2. Представив формулу карбоната как YCO_3 , вычислим молярную массу **Y**: $M_Y / (M_Y + 60) = 0,6959$, откуда $0,3041M_Y = 41,754$, а $M_Y = 41,754 / 0,3041 = 137,3$. Тогда **Y** - барий, а формула пигмента **С** $\text{BaCuSi}_4\text{O}_{10}$ или $\text{BaCu}(\text{Si}_2\text{O}_5)_2$ или $\text{BaO} \cdot \text{CuO} \cdot 4\text{SiO}_2$.

Вычислим соотношение оксидов в формуле пигмента **Д**: $\text{BaO} : \text{CuO} : \text{SiO}_2 = 43,4 / 153,3 : 22,5 / 79,5 : (100 - 43,4 - 22,5) / 60 = 0,283 : 0,283 : 0,568 = 1 : 1 : 2$. То есть, формула пигмента **Д** $\text{BaO} \cdot \text{CuO} \cdot 2\text{SiO}_2$ или $\text{BaCuSi}_2\text{O}_6$ или $\text{BaCu}(\text{SiO}_3)_2$.

Для того, чтобы правильно написать уравнение реакции [8], надо внимательно посмотреть на состав пигментов **С** и **Д** и разобраться с продуктами этой реакции. В составе одного моля пигмента **Д** содержится меньше оксида кремния, чем в составе одного моля пигмента **С**. Взять его мы можем только из пигмента **Д**, для чего придется часть этого пигмента разложить на составляющие его оксиды. Действительно, один из продуктов этой реакции – черный порошок CuO (при нагревании до 1050°C теряющий часть кислорода и превращающийся в красный Cu_2O). Логично предположить, что еще одним продуктом является BaO , но массовая доля бария в нем 89,57%, что сильно больше требующихся 64,35%. Это означает, что «лишний для пигмента **С**» оксид бария соединяется с чем-то еще, образуя вещество **Е**. Поскольку оксид меди выделился в индивидуальном состоянии, наиболее вероятно, что вещество **Е** является каким-то силикатом бария. Вычисляя его молярную массу в расчете на один моль бария, получаем $M_E = 137,3 / 0,6435 = 213,4$, что соответствует составу BaSiO_3 (вещество **Е**). Уравнения реакций:

$3\text{BaCuSi}_2\text{O}_6 \xrightarrow{1000^\circ\text{C}} \text{BaCuSi}_4\text{O}_{10} + 2\text{CuO} + 2\text{BaSiO}_3$ [8]; $4\text{CuO} \xrightarrow{1050^\circ\text{C}} 2\text{Cu}_2\text{O} + \text{O}_2\uparrow$ [9].

7. **А** – $\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$ – бис(карбонат)-дигидроксид тримеди (или меди(II));

В – $\text{CaCu}(\text{Si}_2\text{O}_5)_2$ – метадисиликат (или диметасиликат) меди(II)-кальция;

С – $\text{BaCu}(\text{Si}_2\text{O}_5)_2$ – метадисиликат (или диметасиликат) меди(II)-бария;

Д – $\text{BaCu}(\text{SiO}_3)_2$ – метасиликат или бис(метасиликат) меди(II)-бария;

Е – BaSiO_3 – метасиликат бария;

Система оценивания:

1. Формула и название минерала А по 0,5 б., расчеты с учетом объема газа и массовой доли 4 б. (только по одной из цифр 2 б.), уравнения реакций по 1 б.	$0,5 \cdot 2 + 4 + 1 \cdot 5 = 10$ б.
2. Формула минерала А ¹ 1 б., названия по 0,5 б.	$1 + 0,5 \cdot 2 = 2$ б.
3. Уравнение реакции 1 б., масса меди 1 б.	$1 + 1 = 2$ б.
4. Формулы и номенклатурные названия веществ по 0,5 б.	$(0,5 + 0,5) \cdot 5 = 5$ б.
5. Формула В 1 б., расчет 4 б. (только по ω_X 1 б.), уравнение реакции 1 б.	$1 + 4 + 1 = 6$ б.
6. Металл Y 0,5 б., подтверждение расчетом 1 б., формула пигмента С 1 б., формула пигмента Д 1 б., расчет/подтверждение расчетом 3 б., формула Е 1 б., расчет/подтверждение 1 б., уравнения реакций по 1 б.	$0,5 + 1 + 1 = 2,5$ б. $1 + 3 = 4$ б. $1 + 1 + 1 \cdot 2 = 4$ б.
7. Названия веществ А-Е по традиционной номенклатуре по 0,5 б.	$0,5 \cdot 5 = 2,5$ б.
Всего:	38 баллов.

Задание 3. (автор В.А. Емельянов).

1-2. Механизм расчета брутто-формулы довольно прост. Представим, что у нас есть 100 г вещества 1. Массы каждого из элементов (Н, О, N) составят 1,6, 76,2 и 22,2 г, числа молей 1,6/1, 76,2/16 и 22,2/14. Соотношение молей атомов, а, следовательно, и соотношение атомов, содержащихся в молекуле (Н : О : N) составит: 1,6/1, 76,2/16 и 22,2/14 = 1,6 : 4,8 : 1,6. Разделим эти числа на минимальное из них, и получим отношение 1 : 3 : 1, т.е. брутто-формула соединения HO_3N . Таким образом, первое соединение – азотная кислота, более привычный вид формулы которой HNO_3 . Для второго вещества $\text{P} : \text{Ca} = 34/31 : 66/40 = 1 : 1,5$ или $2 : 3$, откуда получаем $\text{PCa}_{1,5}$ или Ca_3P_2 – фосфид кальция. Действуя по тому же алгоритму, получим формулы остальных веществ и назовем их:

№	Брутто-формула	Общепринятая формула	Название
1	HO_3N	HNO_3	азотная кислота (100 %-я)
2	P_2Ca_3	Ca_3P_2	фосфид кальция
3	HO_4PCa	CaHPO_4	гидрофосфат кальция
4	HO_4NCa	$(\text{CaOH})\text{NO}_3$	гидроксонитрат кальция
5	$\text{H}_6\text{O}_4\text{NP}$	$(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$	дигидрофосфат аммония
6	$\text{O}_7\text{P}_2\text{Ca}_2$	$\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$	дифосфат (пирофосфат) кальция
7	HO_3PCa	CaHPO_3	фосфит кальция
8	$\text{H}_4\text{O}_3\text{N}_2$	NH_4NO_3	нитрат аммония

3. Азотная кислота – сильная кислота и сильный окислитель. Поэтому она будет реагировать с основаниями, вытеснять более слабые кислоты из их солей, а также окислять все восстановители.

Уравнения реакций: $22\text{HNO}_3 + \text{Ca}_3\text{P}_2 = 2\text{H}_3\text{PO}_4 + 16\text{NO}_2\uparrow + 3\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + 8\text{H}_2\text{O}$;

$2\text{HNO}_3 + \text{CaHPO}_4 = \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; $\text{HNO}_3 + (\text{CaOH})\text{NO}_3 = \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$;

$\text{HNO}_3 + (\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4 = \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{NH}_4\text{NO}_3$;

$4\text{HNO}_3 + \text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7 = \text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7 + 2\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ или $4\text{HNO}_3_{\text{p-p}} + \text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} 2\text{H}_3\text{PO}_4 + 2\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$;
 $4\text{HNO}_3 + \text{CaHPO}_3 = \text{H}_3\text{PO}_4 + 2\text{NO}_2\uparrow + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$; $\text{HNO}_3 + \text{NH}_4\text{NO}_3 \neq$ реакция не идет.

4. Гидроксонитрат и фосфид кальция являются сильными основаниями (особенно фосфид, для которого и OH^- - кислота), поэтому они будут легко реагировать с соединениями, имеющими кислый характер. Помимо этого, при спекании с фосфитом гидроксонитрат кальция будет выступать в качестве окислителя, а фосфид – реагировать с образующимися при диспропорционировании фосфита парами воды и дифосфатом кальция.

Уравнения реакций: $6(\text{CaOH})\text{NO}_3 + \text{Ca}_3\text{P}_2 = 3\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + 6\text{CaO} + 2\text{PH}_3\uparrow$;

$2(\text{CaOH})\text{NO}_3 + 2\text{CaHPO}_4 = \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{H}_2\text{O}$;

$6(\text{CaOH})\text{NO}_3 + 2(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4 = \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 3\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + 4\text{NH}_3\uparrow + 6\text{H}_2\text{O}$ или

$2(\text{CaOH})\text{NO}_3 + (\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4 = (\text{NH}_4)\text{CaPO}_4 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{H}_2\text{O}$;

$2(\text{CaOH})\text{NO}_3 + \text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7 \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}\uparrow$;

$2(\text{CaOH})\text{NO}_3 + 2\text{CaHPO}_3 \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + \text{Ca}(\text{NO}_2)_2 + 2\text{H}_2\text{O}\uparrow$;

$(\text{CaOH})\text{NO}_3 + \text{NH}_4\text{NO}_3 = \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{NH}_3\uparrow + \text{H}_2\text{O}$;

$\text{Ca}_3\text{P}_2 + 6\text{CaHPO}_4 = 3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 2\text{PH}_3\uparrow$;

$\text{Ca}_3\text{P}_2 + 2(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4 = \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 2\text{PH}_3\uparrow + 2\text{NH}_3\uparrow$ или $\text{Ca}_3\text{P}_2 + 3(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4 = 3(\text{NH}_4)\text{CaPO}_4 + 2\text{PH}_3\uparrow$;

$\text{Ca}_3\text{P}_2 + 3\text{H}_2\text{O} + 3\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7 \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} 3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 2\text{PH}_3\uparrow$; $\text{Ca}_3\text{P}_2 + 24\text{CaHPO}_3 \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} 9\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 8\text{PH}_3\uparrow$;

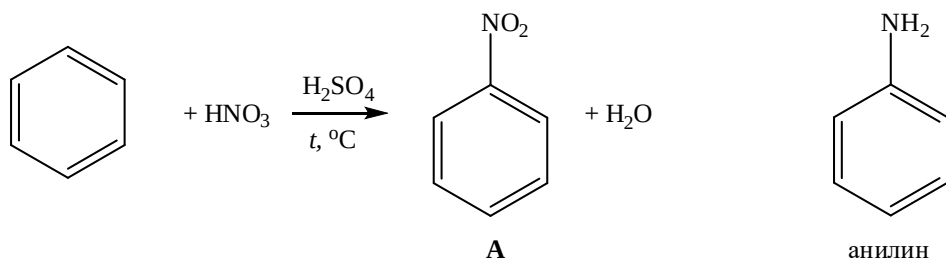
$\text{Ca}_3\text{P}_2 + 6\text{NH}_4\text{NO}_3 = 3\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{PH}_3\uparrow + 6\text{NH}_3\uparrow$.

Система оценивания:

1. Брутто-формулы по 1 б.	1*8 = 8 б.
2. Формулы в привычном виде по 0,5 б. (если брутто-формулы не записаны отдельно, но есть привычные формулы, то по 1,5 б.), названия по 0,5 б.	(0,5+0,5)*8 = 8 б.
3-4. Уравнения реакций или верное указания на то, что реакция не идет по 1 б.	1*18 = 18 б.
Всего:	34 балла.

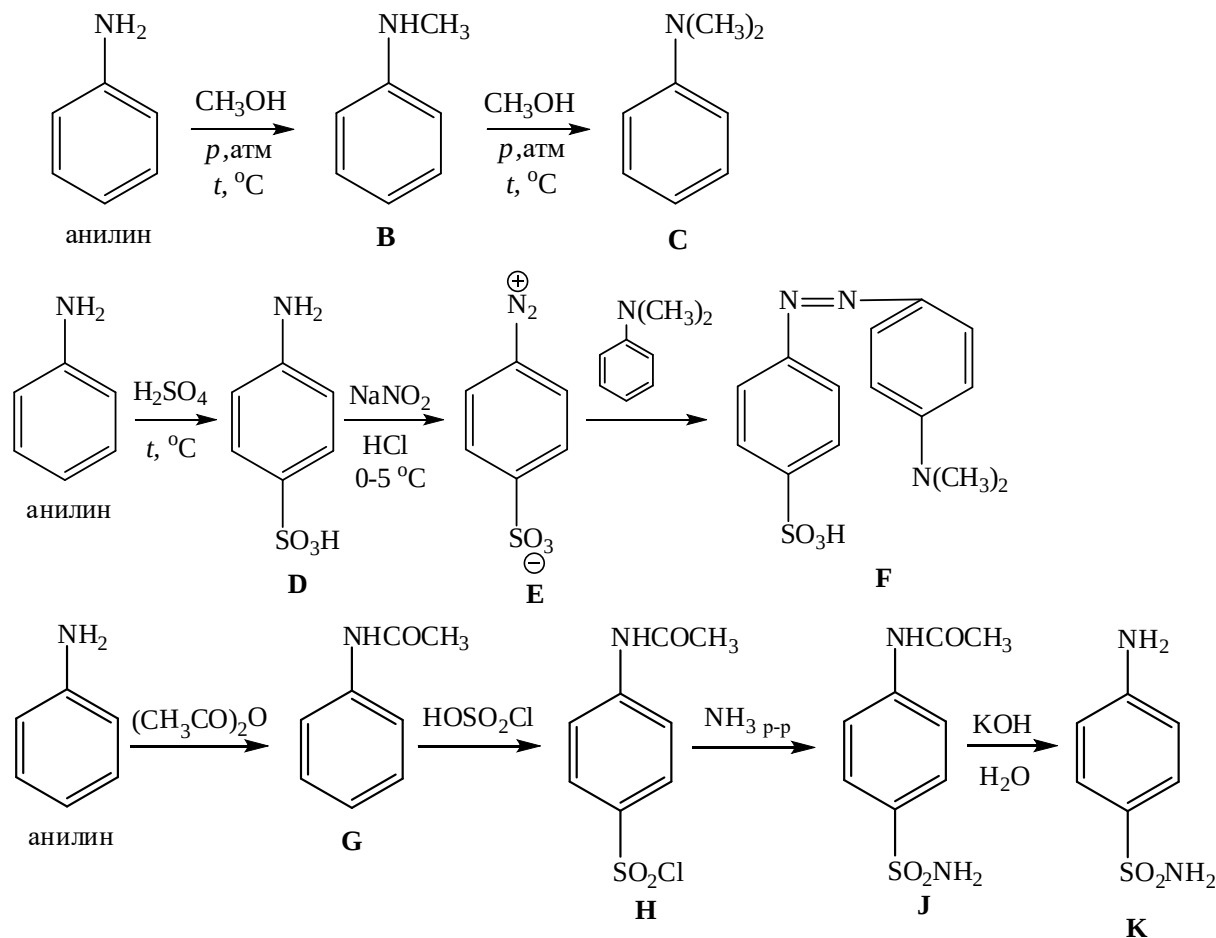
Задание 4. (авторы Н.М. Антонова, В.Н. Конев).

1. Реакция восстановления нитробензола в анилин сульфидом аммония открыта Н.Н. Зининым. Смесь азотной и серной кислот называется нитрующей смесью.



2. Ряд по увеличению основности: анилин < *N*-этиланилин < аммиак < метиламин.

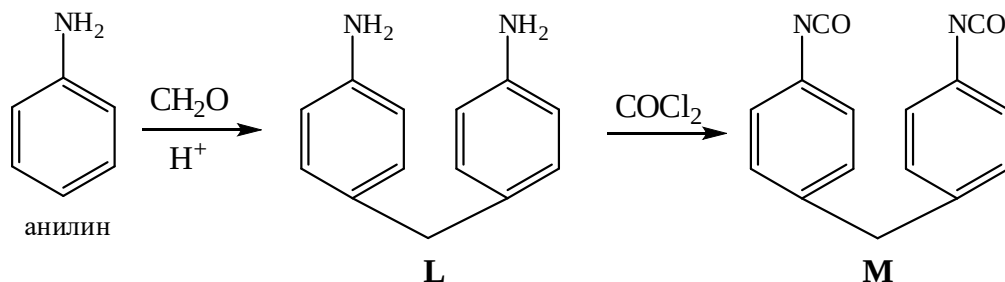
3. Схемы реакций и структурные формулы соединений В-К.

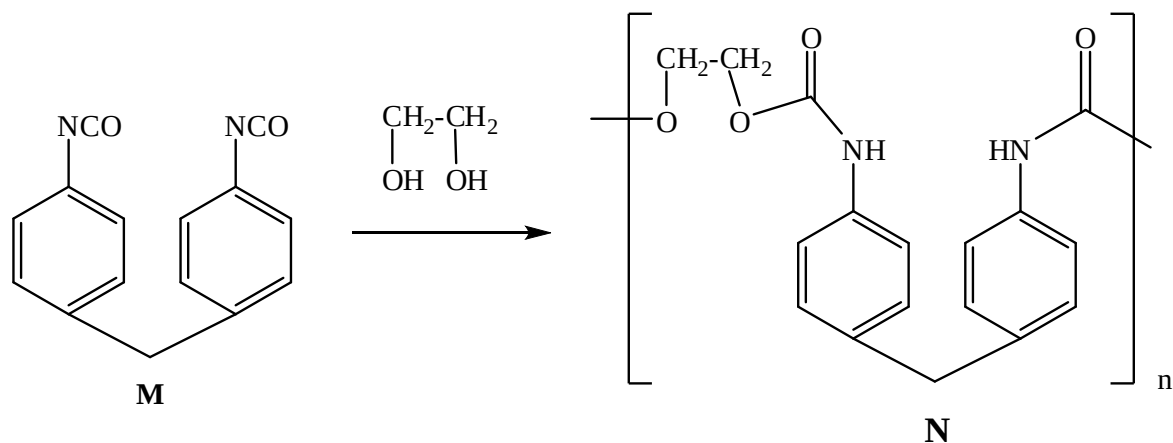


4. В кислой среде метиловый оранжевый окрашивается в красный цвет, а в щелочной - в желтый.

5. Количество стрептоцида в тюбике $n = m/M = 25 \cdot 0,1/172 = 0,0145$ моль. Масса анилина, которая потребуется для проведения четырех стадий синтеза с выходами по 85% $m = 0,0145 \cdot 93/(0,85^4) = 2,58$ г.

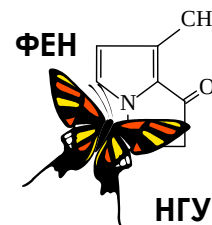
6. Структурные формулы соединений L, M и мономерного звена полимера N.





Система оценивания:

1. Структурные формулы A и анилина по 2 б., Зинин и смесь по 1 б., уравнение реакции нитрования бензола 2 б.	2*2+1*2 = 6 б. 2 б.
2. Ряд по увеличению основности 2 б. (1 ошибка 1 б., 2 ошибки 0 б.)	2 б.
3. Структурные формулы B-K по 2 б.	2*9 = 18 б.
4. Цвет в кислой и щелочной среде по 1 б.	1*2 = 2 б.
5. Масса анилина 2 б.	2 б.
6. Структурные формулы L-N по 2 б.	2*3 = 6 б.
Всего:	38 баллов.

**Задание 1.** (авторы А.С. Чубаров, В.А. Емельянов).

№	Элемент	Буква	№	Элемент	Буква	№	Элемент	Буква
1	Водород	Х	7	Азот	Х	13	Фосфор	Х
2	Гелий	в	8	Хром	з	14	Ванадий	г
3	Йод	к	9	Цинк	Х	15	Олово	а
4	Хлор	Х	10	Железо	л	16	Селен	ж
5	Сера	и	11	Магний	е	17	Цезий	Х
6	Медь	Х	12	Никель	д	18	Золото	б

Система оценивания:

1. За правильное определение каждого элемента 0,5 б., подходящее именно для выбранного элемента уравнение 1 б. Если элемент выбран неверно, но для него выбрано подходящее уравнение, ставится 1 б.	$0,5 \cdot 18 + 1 \cdot 11 = 20 \text{ б.}$
Всего:	20 баллов.

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

1. Из описания цветов пигментов и признаков реакций [3]-[5] однозначно следует, что металл **Х** – медь. Бесцветный газ без запаха, выделяющийся при действии соляной кислоты на минерал и вызывающий помутнение известковой воды – CO_2 . Следовательно, **А** – какой-то карбонатный минерал меди. Масса меди в навеске 0,5531 г, ее количество $0,5531/63,5 = 0,00871$ моль. Количество карбонат-ионов в той же навеске равно количеству выделившегося углекислого газа и составляет $0,1299/22,4 = 0,00580$ моль. Их отношение составляет $0,0871/0,00580 = 1,50$ или $3 : 2$.

Можно считать и по-другому. Предположим, что один моль **А** содержит n моль меди и m моль карбонат-ионов. Количество молей **А** в навеске массой 1,000 г $\nu(\text{А}) = 1,000/M_{\text{А}}$. В то же время $\nu(\text{А}) = \nu(\text{CO}_2)/m = 0,0058/m$. Отсюда $M_{\text{А}} = 1,000 \cdot m/0,0058 = 172,4m$. Помимо этого, $M_{\text{А}} = nM_{\text{Cu}}/\omega_{\text{Cu}} = n \cdot 63,5/0,5531 = 114,8n$. Приравняв эти молярные массы, получим, что $172,4m = 114,8n$. Тогда $n/m = 172,4/114,8 = 1,50$ или $3 : 2$.

Итак, допустим, что каждый моль **А** содержит три атома меди. Тогда молярная масса **А** составляет $M_{\text{А}} = 3M_{\text{Cu}}/\omega_{\text{Cu}} = 3 \cdot 63,546/0,5531 = 344,67$ г/моль, из которых на медь и карбонат-ионы приходится $3 \cdot 63,546 + 2 \cdot 60 = 310,64$ г/моль. От молярной массы остается $344,67 - 310,64 = 34,03$ г/моль, что с хорошей точностью соответствует двум гидроксид-ионам, согласуется со степенью окисления меди +2 и приводит к известному минералу азуриту. **А** – $\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$, минерал азурит.

Уравнения реакций: $\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2 + 6\text{HCl} \rightarrow 3\text{CuCl}_2 + 4\text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2 \uparrow$ [1];

$\text{CuCl}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2 \downarrow + 2\text{NaCl}$ [2]; $\text{Cu}(\text{OH})_2 + 4\text{NH}_3 \rightarrow [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$ [3];

$\text{Cu}(\text{OH})_2 \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} \text{CuO} + \text{H}_2\text{O} \uparrow$ [4].

2. Другой, еще более известный медно-карбонатный минерал, имеющий характерный зеленый цвет и имеющий тот же качественный состав – малахит $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ или $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$. Массовая доля меди в малахите $2 \cdot 63,546/221,1 = 0,5748$ или 57,48%, что согласуется с условием задачи. По традиционной номенклатуре это вещество называется гидрокарбонат меди, по русской – основная углекислая медь.

Уравнение реакции получения меди из малахита: $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3 + 2\text{CO} \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} 2\text{Cu} + 3\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ [5].

3. Известняк – CaCO_3 – карбонат кальция, песок – SiO_2 – диоксид кремния, поташ – K_2CO_3 – карбонат калия, галит – NaCl – хлорид натрия, глауберова соль – $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ – декагидрат сульфата натрия.

4. Вычислим мольное соотношение реагентов (малахита, известняка и песка), для чего определим количество молей каждого из них при описанном сплавлении.

$\nu(\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3) = 0,88 \cdot 5700/221 \approx 23$ моль; $\nu(\text{CaCO}_3) = 0,8 \cdot 5750/100 = 46$ моль; $\nu(\text{SiO}_2) = 0,9 \cdot 12200/60 = 183$ моль. Соотношение $\nu(\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3) : \nu(\text{CaCO}_3) : \nu(\text{SiO}_2) = 23 : 46 : 183 = 1 : 2 : 8$. Можно заметить, что масса получаемого пигмента (17,3 кг) заметно меньше, чем сумма масс реаген-

тов $(0,88 \cdot 5,7 + 0,8 \cdot 5,75 + 0,9 \cdot 12,2 = 20,6 \text{ кг})$. Действительно, при такой температуре из реакционной смеси удаляется даже химически связанная вода, а в присутствии оксида кремния – и углекислый газ. Уравнение реакции получения **В** (в тексте [6], а в задании [7] – опечатка!):

$\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3 + 2\text{CaCO}_3 + 8\text{SiO}_2 \xrightarrow{850^\circ\text{C}} 2\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10} + 3\text{CO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}\uparrow$ [6, 7], а химическая формула **В** $\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$ или $\text{CaCu}(\text{Si}_2\text{O}_5)_2$ или $\text{CaO} \cdot \text{CuO} \cdot 4\text{SiO}_2$. Массовая доля меди в нем 16,9%, а получается его примерно $17300/375,5 = 46$ моль, что соответствует условию задачи и уравнению реакции [6, 7].

5. Поскольку пигменты **В** и **С** имеют одинаковые химические формулы с заменой кальция на металл **Y** (да еще и этот металл из одной группы с кальцием), следовательно, металл **Y** также имеет степень окисления +2. Представив формулу карбоната как YCO_3 , вычислим молярную массу **Y**: $M_Y/(M_Y + 60) = 0,6959$, откуда $0,3041M_Y = 41,754$, а $M_Y = 41,754/0,3041 = 137,3$. Тогда **Y** – барий, а формула пигмента **С** $\text{BaCuSi}_4\text{O}_{10}$ или $\text{BaCu}(\text{Si}_2\text{O}_5)_2$ или $\text{BaO} \cdot \text{CuO} \cdot 4\text{SiO}_2$.

Поскольку пигмент **Д** содержит те же элементы, что и **С**, его формулу тоже можно представить, как комбинацию оксидов бария, меди и кремния $x\text{BaO} \cdot y\text{CuO} \cdot z\text{SiO}_2$. На то, что медь входит в состав пигмента **Д** в степени окисления +2, а не +1, указывает образование черного порошка (а это может быть только CuO) и пигмента **С** (там медь +2) при его разложении. В ходе кипячения пигмента **Д** в соляной кислоте оксиды меди и бария переходят в сине-зеленый раствор в виде хлоридов, а оксид кремния остается в гидратированном виде в форме белого осадка. При его прокаливании в вакууме остается безводный оксид кремния, которого получилось $v(\text{SiO}_2) = 0,341/60 = 5,68 \cdot 10^{-3}$ моль.

Добавление серной кислоты к раствору хлоридов бария и меди привело к выделению белого осадка сульфата бария, которого было получено $v(\text{BaSO}_4) = 0,660/233 = 2,83 \cdot 10^{-3}$ моль. Масса оксида бария в составе исходной навески образца была равна $153 \cdot 2,83 \cdot 10^{-3} = 0,433 \text{ г}$. Тогда на оксид меди приходилось $1,000 - 0,433 - 0,341 = 0,226 \text{ г}$, что составляет $0,226/79,5 = 2,84 \cdot 10^{-3}$ моль. Тогда соотношение оксидов в формуле пигмента **Д** составляет: $\text{BaO} : \text{CuO} : \text{SiO}_2 = 2,83 \cdot 10^{-3} : 2,84 \cdot 10^{-3} : 5,68 \cdot 10^{-3} = 1 : 1 : 2$. То есть, формула пигмента **Д** $\text{BaO} \cdot \text{CuO} \cdot 2\text{SiO}_2$ или $\text{BaCuSi}_2\text{O}_6$ или $\text{BaCu}(\text{SiO}_3)_2$.

Для того, чтобы правильно написать уравнение реакции [10], надо внимательно посмотреть на состав пигментов **С** и **Д** и разобраться с продуктами этой реакции. В составе одного моля пигмента **Д** содержится меньше оксида кремния, чем в составе одного моля пигмента **С**. Взять его мы можем только из пигмента **Д**, для чего придется часть этого пигмента разложить на составляющие его оксиды. Действительно, один из продуктов этой реакции – черный порошок CuO . Логично предположить, что еще одним продуктом является BaO , но массовая доля бария в нем 89,57%, что сильно больше требующихся 64,35%. Это означает, что «лишний для пигмента **С**» оксид бария соединяется с чем-то еще, образуя вещество **Е**. Поскольку оксид меди выделился в индивидуальном состоянии, наиболее вероятно, что вещество **Е** является каким-то силикатом бария. Вычисляя его молярную массу в расчете на один моль бария, получаем $M_E = 137,3/0,6435 = 213,4$, что соответствует составу BaSiO_3 (вещество **Е**). Уравнения реакций: $\text{BaCuSi}_2\text{O}_6 + 4\text{HCl} + 2(n-1)\text{H}_2\text{O} = \text{BaCl}_2 + \text{CuCl}_2 + 2\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}\downarrow$ [8];

$\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O} \xrightarrow[t, ^\circ\text{C}, \text{вакуум}}{\text{SiO}_2 + n\text{H}_2\text{O}\uparrow}$ [9]; $3\text{BaCuSi}_2\text{O}_6 \xrightarrow{1000^\circ\text{C}} \text{BaCuSi}_4\text{O}_{10} + 2\text{CuO} + 2\text{BaSiO}_3$ [10].

6. А – $\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$ – бис(карбонат)-дигидроксид тримеди (или меди(II));

В – $\text{CaCu}(\text{Si}_2\text{O}_5)_2$ – метадисиликат (или диметасиликат) меди(II)-кальция;

С – $\text{BaCu}(\text{Si}_2\text{O}_5)_2$ – метадисиликат (или диметасиликат) меди(II)-бария;

Д – $\text{BaCu}(\text{SiO}_3)_2$ – метасиликат или бис(метасиликат) меди(II)-бария;

Е – BaSiO_3 – метасиликат бария;

Система оценивания:

1. Формула и название минерала А по 0,5 б., расчеты с учетом объема газа и массовой доли 4 б. (только по одной из цифр 2 б.), уравнения реакций по 1 б.	$0,5 \cdot 2 + 4 + 1 \cdot 4 = 9 \text{ б.}$
2. Формула минерала А ¹ 1 б., названия по 0,5 б., уравнение реакции 1 б.	$1 + 0,5 \cdot 2 + 1 = 3 \text{ б.}$
3. Формулы и номенклатурные названия веществ по 0,5 б.	$(0,5 + 0,5) \cdot 5 = 5 \text{ б.}$
4. Формула В 1 б., расчет 4 б. (только по ω_x 1 б.), уравнение реакции 1 б.	$1 + 4 + 1 = 6 \text{ б.}$
5. Металл Y 0,5 б., подтверждение расчетом 1 б., формула пигмента С 1 б., формула пигмента Д 1 б., расчет/подтверждение расчетом 4 б., формула Е 1 б., расчет/подтверждение 1 б., уравнения реакций по 1 б.	$0,5 + 1 + 1 = 2,5 \text{ б.}$ $1 + 4 = 5 \text{ б.}$ $1 + 1 + 1 \cdot 3 = 5 \text{ б.}$
6. Названия веществ А-Е по традиционной номенклатуре по 0,5 б.	$0,5 \cdot 5 = 2,5 \text{ б.}$
Всего:	38 баллов.

Задание 3. (автор В.А. Емельянов).

1-2. Механизм расчета брутто-формулы довольно прост. Представим, что у нас есть 100 г вещества 1. Массы каждого из элементов (Н, О, N) составят 1,6, 76,2 и 22,2 г, числа молей 1,6/1, 76,2/16 и 22,2/14. Соотношение молей атомов, а, следовательно, и соотношение атомов, содержащихся в молекуле (Н : О : N) составит: 1,6/1, 76,2/16 и 22,2/14 = 1,6 : 4,8 : 1,6. Разделим эти числа на минимальное из них, и получим отношение 1 : 3 : 1, т.е. брутто-формула соединения HO_3N . Таким образом, первое соединение – азотная кислота, более привычный вид формулы которой HNO_3 . Для второго вещества $\text{P} : \text{Ca} = 34/31 : 66/40 = 1 : 1,5$ или $2 : 3$, откуда получаем $\text{PCa}_{1,5}$ или Ca_3P_2 – фосфид кальция. Действуя по тому же алгоритму, получим формулы остальных веществ и назовем их:

№	Брутто-формула	Общепринятая формула	Название
1	HO_3N	HNO_3	азотная кислота (100 %-я)
2	P_2Ca_3	Ca_3P_2	фосфид кальция
3	HO_3PCa	CaHPO_3	фосфит кальция
4	HO_4NCa	$(\text{CaOH})\text{NO}_3$	гидроксонитрат кальция
5	$\text{H}_6\text{O}_4\text{NP}$	$(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$	дигидрофосфат аммония
6	$\text{O}_7\text{P}_2\text{Ca}_2$	$\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$	дифосфат (пирофосфат) кальция
7	$\text{H}_4\text{O}_4\text{P}_2\text{Ca}$	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$	гипофосфит кальция
8	$\text{H}_4\text{O}_4\text{N}_2$	$(\text{NH}_3\text{OH})\text{NO}_3$	нитрат гидроксиламиния

3. Азотная кислота – сильная кислота и сильный окислитель. Поэтому она будет реагировать с основаниями, вытеснять более слабые кислоты из их солей, а также окислять все восстановители.

Уравнения реакций: $22\text{HNO}_3 + \text{Ca}_3\text{P}_2 = 2\text{H}_3\text{PO}_4 + 16\text{NO}_2\uparrow + 3\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + 8\text{H}_2\text{O}$;

$4\text{HNO}_3 + \text{CaHPO}_3 = \text{H}_3\text{PO}_4 + 2\text{NO}_2\uparrow + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$;

$\text{HNO}_3 + (\text{CaOH})\text{NO}_3 = \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$; $\text{HNO}_3 + (\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4 = \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{NH}_4\text{NO}_3$;

$4\text{HNO}_3 + \text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7 = \text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7 + 2\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ или $4\text{HNO}_3_{\text{p-p}} + \text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} 2\text{H}_3\text{PO}_4 + 2\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$;

$10\text{HNO}_3 + \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 = 2\text{H}_3\text{PO}_4 + 8\text{NO}_2\uparrow + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + 4\text{H}_2\text{O}$;

$2\text{HNO}_3 + 2(\text{NH}_3\text{OH})\text{NO}_3 = \text{N}_2\text{O}\uparrow + 4\text{NO}_2\uparrow + 5\text{H}_2\text{O}$ или $2(\text{NH}_3\text{OH})\text{NO}_3 \xrightarrow{\text{HNO}_3} \text{N}_2\uparrow + 2\text{NO}_2\uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$.

4. $(\text{CaOH})\text{NO}_3$ и Ca_3P_2 являются сильными основаниями (особенно фосфид, для которого и OH^- - кислота), поэтому они будут реагировать с соединениями, имеющими кислый характер. Помимо этого, при спекании с CaHPO_3 и гипофосфитом $(\text{CaOH})\text{NO}_3$ будет выступать в качестве окислителя, а Ca_3P_2 – реагировать с образующимися при их диспропорционировании парами воды и дифосфатом кальция.

Уравнения реакций: $6(\text{CaOH})\text{NO}_3 + \text{Ca}_3\text{P}_2 = 3\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + 6\text{CaO} + 2\text{PH}_3\uparrow$;

$2(\text{CaOH})\text{NO}_3 + 2\text{CaHPO}_3 \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + \text{Ca}(\text{NO}_2)_2 + 2\text{H}_2\text{O}\uparrow$;

$6(\text{CaOH})\text{NO}_3 + 2(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4 = \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 3\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + 4\text{NH}_3\uparrow + 6\text{H}_2\text{O}$ или

$2(\text{CaOH})\text{NO}_3 + (\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4 = (\text{NH}_4)\text{CaPO}_4 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{H}_2\text{O}$;

$2(\text{CaOH})\text{NO}_3 + \text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7 \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$;

$4(\text{CaOH})\text{NO}_3 + \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 2\text{Ca}(\text{NO}_2)_2 + 4\text{H}_2\text{O}\uparrow$;

$(\text{CaOH})\text{NO}_3 + (\text{NH}_3\text{OH})\text{NO}_3 = \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{NH}_2\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$; $\text{Ca}_3\text{P}_2 + 24\text{CaHPO}_3 \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} 9\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 8\text{PH}_3\uparrow$;

$\text{Ca}_3\text{P}_2 + 2(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4 = \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 2\text{PH}_3\uparrow + 2\text{NH}_3\uparrow$ или $\text{Ca}_3\text{P}_2 + 3(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4 = 3(\text{NH}_4)\text{CaPO}_4 + 2\text{PH}_3\uparrow$;

$\text{Ca}_3\text{P}_2 + 3\text{H}_2\text{O} + 3\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7 \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} 3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 2\text{PH}_3\uparrow$; $\text{Ca}_3\text{P}_2 + 6\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} 3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 8\text{PH}_3\uparrow$;

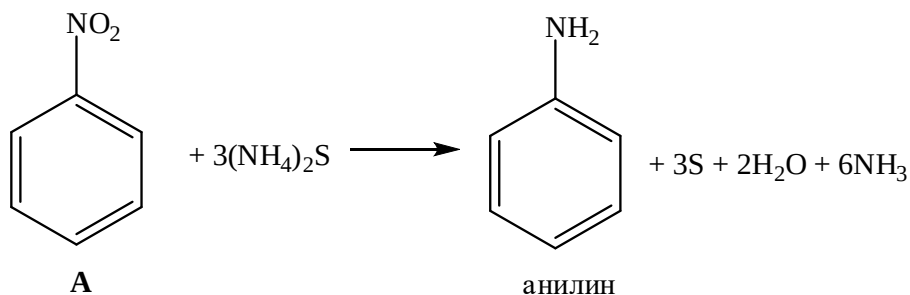
$\text{Ca}_3\text{P}_2 + 6(\text{NH}_3\text{OH})\text{NO}_3 = 3\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{PH}_3\uparrow + 6\text{NH}_2\text{OH}$.

Система оценивания:

1. Брутто-формулы по 1 б.	1*8 = 8 б.
2. Формулы в привычном виде по 0,5 б. (если брутто-формулы не записаны отдельно, но есть привычные формулы, то по 1,5 б.), названия по 0,5 б.	(0,5+0,5)*8 = 8 б.
3-4. Уравнения реакций по 1 б.	1*18 = 18 б.
Всего:	34 балла.

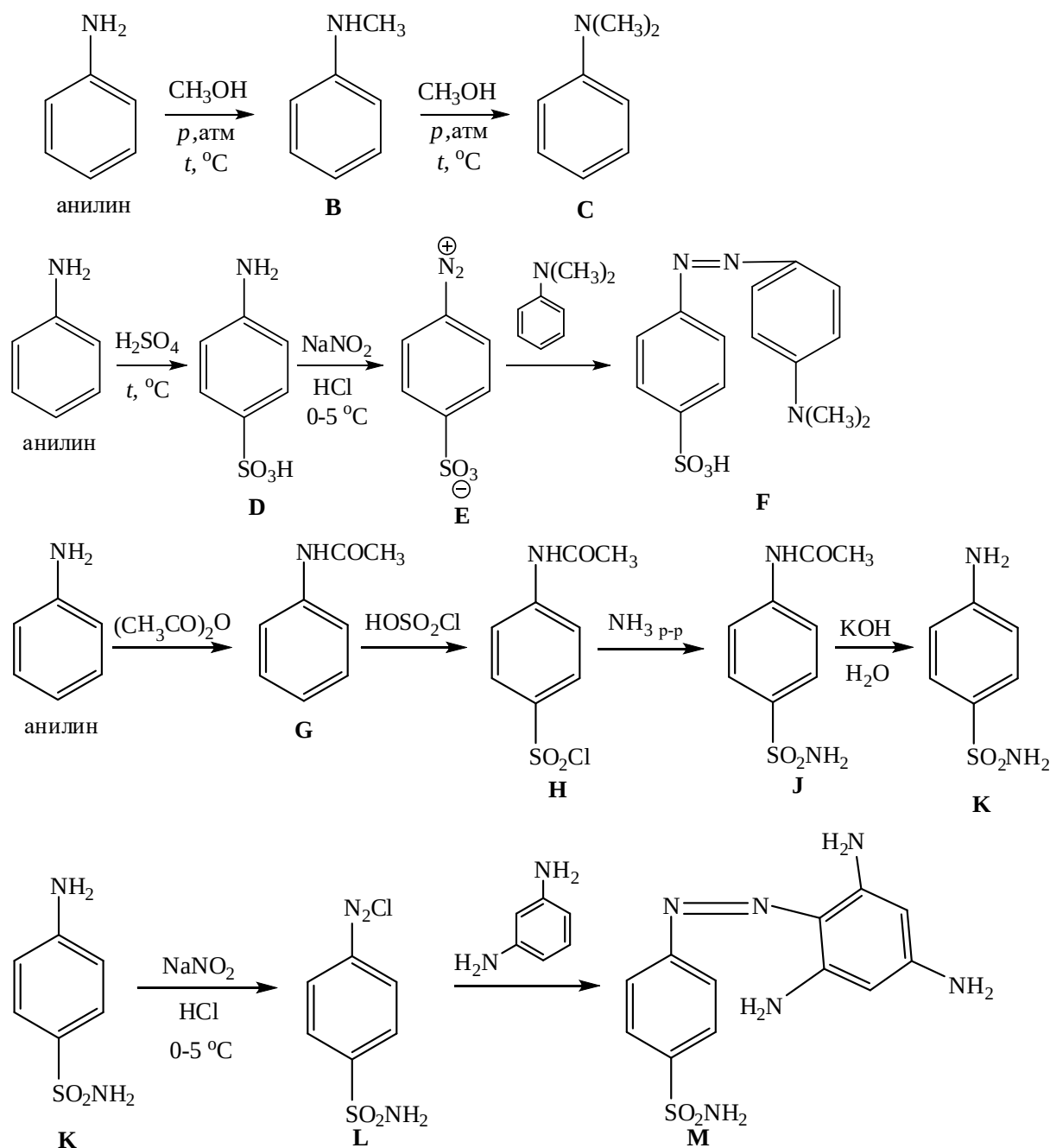
Задание 4. (авторы Н.М. Антонова, В.Н. Конев).

1. Реакция восстановления нитробензола в анилин сульфидом аммония открыта Н.Н. Зининым. Смесь азотной и серной кислот называется нитрующей смесью.

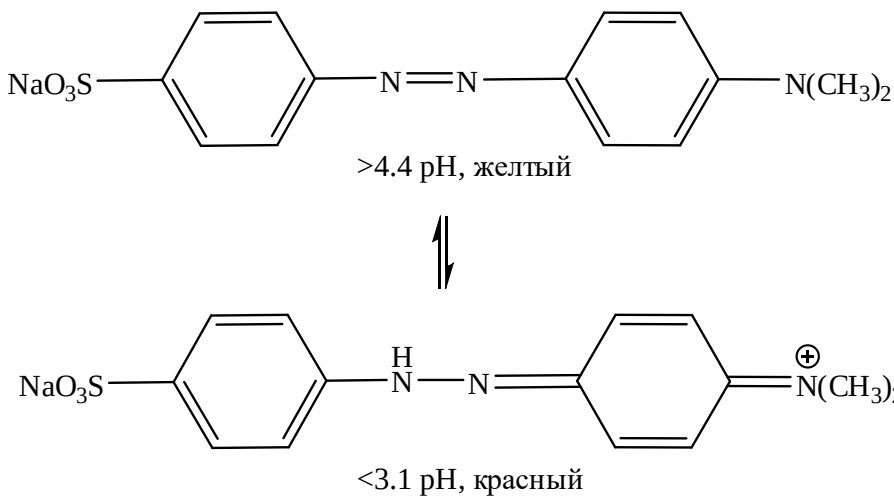


2. Ряд по увеличению основности: анилин < *N*-этиланилин < аммиак < метиламин.

3. Схемы реакций и структурные формулы соединений **В-К**.

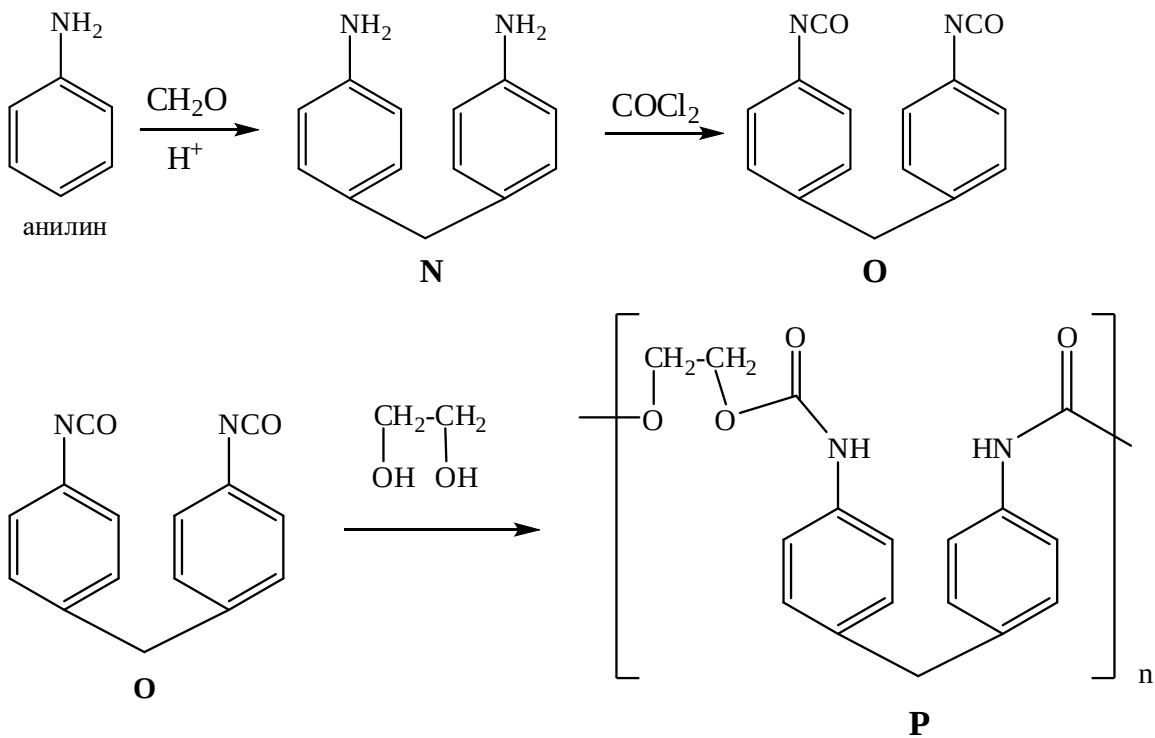


4. В кислой среде метиловый оранжевый окрашивается в красный цвет, а в щелочной - в желтый. Переход окраски индикатора из красной в желтую происходит в интервале pH 3,1-4,4.



5. Количество стрептоцида в тубике $n = m/M = 25 \cdot 0,1/172 = 0,0145$ моль. Масса анилина, которая требуется для проведения четырех стадий синтеза с выходами по 85% $m = 0,0145 \cdot 93/(0,85^4) = 2,58$ г.

6. Структурные формулы соединений N, O и мономерного звена полимера P.



Система оценивания:

1. Структурные формулы A и анилина по 1,5 б., Зинин и смесь по 1 б., уравнение реакции восстановления анилина 2 б.	1,5*2+1*2 = 5 б.
2. Ряд по увеличению основности 2 б. (1 ошибка 1 б., 2 ошибки 0 б.)	2 б.
3. Структурные формулы B-M по 1,5 б.	1,5*11 = 16,5 б.
4. Цвет в кислой и щелочной среде по 1 б., pH перехода 1 б. Структурные формулы при разных pH по 1,5 б.	1*3 = 3 б. 1,5*2 = 3 б.
5. Масса анилина 2 б.	2 б.
6. Структурные формулы N-P по 1,5 б.	1,5*3 = 4,5 б.
Всего:	38 баллов.