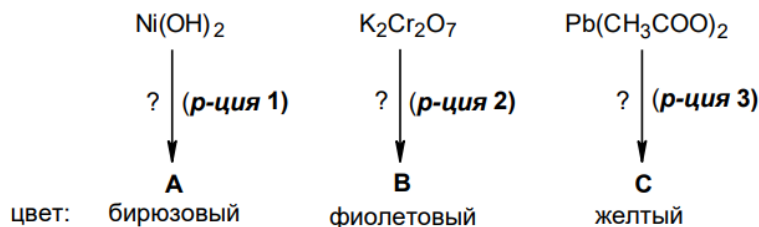


Цветовая палитра

«От рождения человеку дается вся палитра красок жизни,
а уж какие смешивать каждый сам решает.
Желаю всем сочных, ярких красок!»
с просторов сети «Интернет»

Экраны современных смартфонов и телевизоров могут демонстрировать более 10 млн различных цветов и их оттенков. Данные цвета экранов могут быть воссозданы при помощи комбинации трех базовых цветов: красного, зеленого и синего. Вашему вниманию представляются одностадийные получения трех веществ **A**, **B** и **C**:



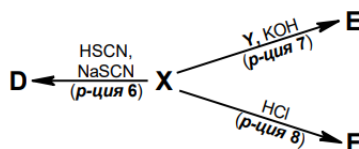
Цвета соединений **A**, **B** и **C** близки к цветам, которые получаются при попарном смешении красного, зеленого и синего света¹. Вещества **A**, **B** являются кристаллогидратами, а **C** – бинарное и не содержит кислород. Водный раствор вещества **A** реагирует с аммиачным раствором оксида серебра(I) (р-ция 4). Чистая соль **A** содержит 3,24 % водорода и 12,97 % углерода по массе. Вещество **B** является двойной солью, а при взаимодействии 50 г её 2,50 %-го раствора с избытком раствора нитрата бария выпадает белый осадок (р-ция 5) массой 1,165 г, не растворимый в кислотах и щелочах.

1. Напишите формулы веществ **A**, **B** и **C**. Состав вещества **B** подтвердите расчётом. Напишите уравнения реакций 1 - 5.

2. Для каждого из веществ **A**, **B** и **C** укажите световую пару (из указанных базовых цветов), при смешении которых на экране телевизора образуется цвет, соответствующий цвету этого вещества.

¹ Правила смешения цвета и света отличаются друг от друга!

При смешении же красок на палитре художника тремя чистыми цветами являются синий, желтый и красный. Вам представлена схема получения веществ **D**, **E** и **F**, водные растворы которых имеют близкие к указанным выше цветам.



Железосодержащие вещества **X** и **Y** могут реагировать между собой (р-ция 9) с образованием нерастворимого в воде вещества **Z** синего цвета с $\omega(\text{Fe}) = 45,58 \%$. При этом если из 1,000 г **Y** можно получить 1,327 г **Z**, то из такого же количества **Y** можно получить 1,42 г вещества **E**. Твердое вещество **F** является гексагидратом, его безводный вариант получают взаимодействием простых веществ (р-ция 10). Твердое вещество **D** при стоянии над концентрированной H_2SO_4 медленно теряет 9 молекул воды, что соответствует потере 23,51 % по массе.

3. Напишите формулы веществ **D**, **E**, **F**, **X–Z** и уравнения реакций 6 - 10. Какого цвета индивидуальные вещества **D**, **E** и **F**? Молярные массы всех зашифрованных веществ считайте целыми.

Решение задачи 11-2 (автор: Романов А.С.)

1-2. Сначала рассчитаем формулы веществ **A** и **B**. Вещество **A**: судя по реакции с аммиачным раствором оксида серебра вещество **A** содержит альдегидную группу и к тому же является кристаллогидратом соли никеля. На роль аниона в таком случае хорошо подходит формиат-ион. Тогда вещество **A** это $\text{Ni}(\text{HCOO})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$. Рассчитаем число молекул воды в этом веществе:

$$M_r(\text{A}) = (2 + 2x)/0,0324 = 61,73(1 + x) = 149 + 18x.$$

Отсюда $x = 2$ и вещество **A** = $\text{Ni}(\text{HCOO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Выйти на формулу вещества **A** можно и несколько иначе. Сначала рассчитаем молярную массу вещества **A**:

$$M(\text{A}) = 12x/0,1297 = y/0,0324 \Rightarrow 92,5x = 30,86y.$$

Равенство выполняется при $x = 2$, $y = 6$. Получаем $M(\text{A}) = 185$ г/моль. Теперь предположим, что в состав вещества **A** входит 1 атом никеля и атомы кислорода (предположим, что других атомов в составе нет). Тогда можно рассчитать брутто-формулу вещества **A**: число атомов кислорода = $(185 - 24 - 6 - 59)/16 = 6$. В итоге формула **A** – $\text{NiC}_2\text{O}_6\text{H}_6$. Рассчитаем степень окисления углерода в этом веществе:

$$0 = 2\text{с.о.}(\text{C}) + 2 + 6 - 12 = 2\text{с.о.}(\text{C}) - 4 \Rightarrow \text{с.о.}(\text{C}) = +2.$$

Углерод в своих соединениях как правило имеет 4 ковалентные связи. Такая степень окисления возможна только в одном варианте, если углерод имеет 3 связи с кислородом и одну с водородом. Отсюда выходим на формиат-ион и вещество **A** – $\text{NiC}_2\text{O}_6\text{H}_6$.

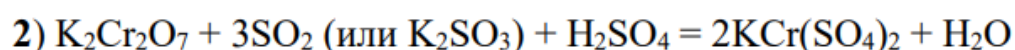
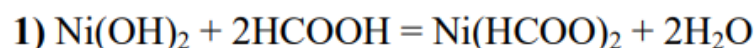
Теперь приступим к веществу **B**: это вещество является двойной солью и скорее всего содержит сульфат-ион, так как образует с катионом бария белый осадок. Двумя металлами из двойной соли скорее всего являются калий и хром, тогда формулу **B** можно записать как $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$. В ходе *реакции 5* сульфата бария образовалось $1,165/233 = 0,0050$ моль. Тогда можно найти молярную массу **2** и число молекул воды в кристаллогидрате: $M_r(\text{B}) = 50 \cdot 0,0250/0,0025 = 500$ г/моль, что практически соответствует наличию 12 молекул воды и вещество **B** – $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$.

При смешении красного с зеленым образуется желтый, красного с синим – пурпурный (фиолетовый или magenta), зеленого с синим – бирюзовый (сине-зеленый или cyan). Цвет хромокалиевых квасцов **B** весьма близок к

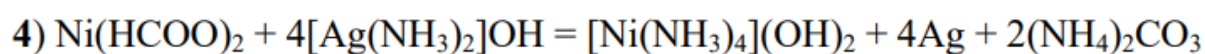
пурпурному, а цвет дигидрата формиата никеля очень похож на бирюзовый. Тогда последним цветом остается желтым, а единственным бинарным (не содержащим кислород) соединением свинца желтого цвета является его иодид, то есть $C = PbI_2$.

Уравнения реакций

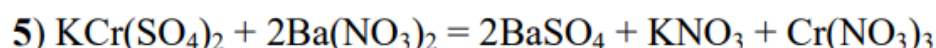
(отсутствие кристаллизационной воды в продуктах реакций не является ошибкой):



вместо KI допустим любой растворимый иодид, или HI



или NH_4HCO_3



3. X – железосодержащее вещество, которое реагирует с кислотами (с $HSCN$ и HCl). Реакция с роданид-ионом указывает на степень окисления железа +3, поэтому можно без расчетов понять, что $X = Fe(OH)_3$. Тогда по условию задачи о гексагидрате вещество **F** – $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ вещество темно-коричневого цвета (или темно-оранжевого, но не желтого).

Далее рассчитаем формулу вещества **Z**: $M_r(Z) = 56x/0,4558 = 122,86x$, где x – число атомов железа в **Z**. Наименьшее целое x при котором молярная масса **Z** является практически целым числом это $x = 7$. Тогда $M_r(Z) = 860 \text{ г/моль}$. Поскольку **Z** является синим веществом, то можно предположить наличие цианид-ионов в составе **Z** (синий цвет наводит на мысль о берлинской лазури). Тогда количество цианид-ионов в **Z** = $(860 - 7 \cdot 56)/26 = 18$. Формулу **Z** можно записать как $Z = Fe_7(CN)_{18}$. Становится понятно, что часть атомов железа (n) находится в степени окисления +3, а другая часть в +2 (m). Вычислим эти части атомов железа:

$$3n + 2m = 18;$$

$$n + m = 7.$$

Единственным решением данной системы уравнений является пара $n = 4$,

$m = 3$. В итоге $Z = \text{Fe}^{+3}[\text{Fe}^{+3}\text{Fe}^{+2}(\text{CN})_6]_3$ (или любая другая запись, указывающая на количество атомов железа в разных степенях окисления).

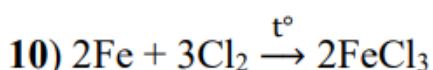
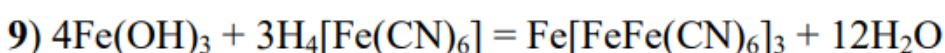
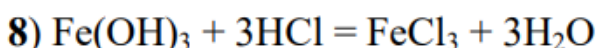
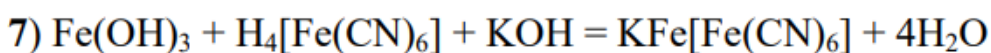
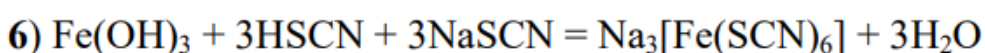
Теперь можно рассчитать состав вещества Y . Очевидно, что всё железо +2 берется именно из Y , так как $\text{Fe}(\text{OH})_3$ содержит железо только в степени окисления +3. В таком случае стехиометрический коэффициент перед Y в реакции получения Z равен 3: $M_r(Y) = 1/(1,327 \cdot 3/860) = 216 \text{ г/моль}$. По уравнению реакции очевидно, что Y содержит 6 цианид-ионов и 1 атом железа, тогда на остаток приходится 4 г/моль, что соответствует $Y = \text{H}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$.

Осталось разгадать формулы веществ D и E . В расчете на 1 моль Y молярная масса вещества E равна $1,42 \cdot 216 = 307 \text{ г/моль}$. Тогда $307 - (216 - 4) = 95 \text{ г/моль}$ приходится на катионы, несущие заряд 4+. Нетрудно заметить, что это K^+ и Fe^{3+} , тогда вещество $E - \text{KFe}^{3+}[\text{Fe}^{2+}(\text{CN})_6]$, растворимая *берлинская лазурь* (вещество синего цвета).

Формулу вещества D рассчитать достаточно просто. По условию задачи на 9 молекул воды приходится 23,51 % массы вещества D , значит его молярная масса равна: $18 \cdot 9/0,2351 = 689 \text{ г/моль}$. Поскольку для $\text{Fe}(\text{III})$ наиболее характерно к.ч. 6, предположим, что в состав D входит шесть роданид-ионов в составе внутренней сферы комплексного соединения для реализации такой большой молярной массы. Тогда на остаток приходится $689 - 58 \cdot 6 = 341 \text{ г/моль}$, сразу учтем, что при наличии 6 роданид-ионов для электронейтральности потребуется 3 катиона натрия и один атом железа: $341 - 23 \cdot 3 - 56 = 216 \text{ г/моль}$. Остальная масса молекулы представлена 12 молекулами воды, тогда вещество $D - \text{Na}_3[\text{Fe}(\text{SCN})_6] \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ кристаллы крово-красного цвета.

Уравнения реакций

(отсутствие кристаллизационной воды в продуктах реакций не является ошибкой):



Система оценивания:

1.	Формулы веществ A, B, C – по 0,5 балла	1,5 балла
	Расчет формулы вещества B – 1 балл	1 балл
	Уравнения реакций [1-5] – по 1 баллу	5 баллов
2.	Верное указание пары цветов для смешения – по 0,5 балла	1,5 балла
3.	Формулы веществ D – F – по 0,5 балла	1,5 балла
	Формулы веществ X, Y и Z – по 1 баллу	3 балла
	Уравнения реакций [6–10] – по 1 баллу	5 баллов
	Верные цвета веществ 4 – 6 – по 0,5 балла	1,5 балла
	ИТОГО:	20 баллов