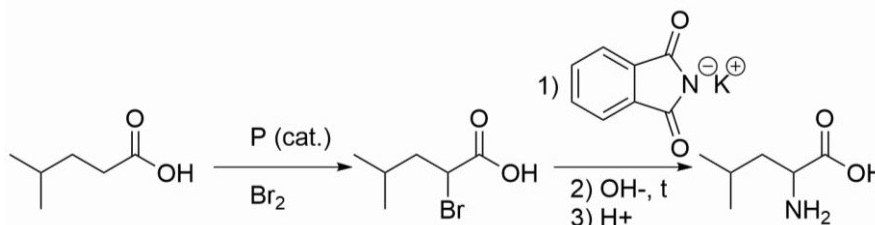
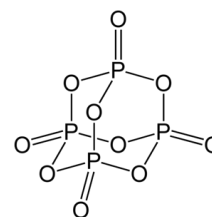
**Задание 1. (автор Н.В. Рубан).**

- Первичная структура белка формируется из аминокислот.
- Обозначим массу легкой субъединицы за x . Тогда масса тяжелой субъединицы составит $2 \cdot x$. Антитела IgG состоят из двух тяжелых и двух легких субъединиц, а их общая масса составляет 150 кДа: $150 = 2 \cdot x + 2 \cdot 2 \cdot x = 6 \cdot x \Rightarrow x = 25$ кДа – масса легкой цепи. Масса тяжелой цепи $25 \cdot 2 = 50$ кДа.
- Leu** – лейцин, 2-амино-4-метилпентановая кислота.



- В состав мРНК входят аденозинмонофосфат (АМФ), гуанозинмонофосфат (ГМФ), цитидинмонофосфат (СМФ), и уридинмонофосфат (УМФ).
- В состав нуклеотидов входят кислотные остатки фосфорной кислоты. Тогда вещество **X** – H_3PO_4 (ортофосфорная кислота), **Z** – P (фосфор), **Y** – P_4O_{10} (здесь можно P_2O_5 , оксид фосфора(V)).

Уравнения реакций: **1:** $4\text{P} + 10\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{600-900^\circ\text{C, cat}} \text{P}_4\text{O}_{10} + 10\text{H}_2$; **2:** $\text{P}_4\text{O}_{10} + 6\text{H}_2\text{O} = 4\text{H}_3\text{PO}_4$.
Структурная формула P_4O_{10} приведена на рис. справа (структура P_2O_5 не засчитывается).



- Сахара состоят из атомов С, Н и О. Обозначим количество атомов кислорода в составе дезоксирибозы за x , тогда количество атомов кислорода в рибозе составляет $x+1$. Составим уравнения для массовых долей кислорода в каждом из сахаров:

$$w(\text{O})_{\text{дезоксирибоза}} = 0,477 = \frac{16 \cdot x}{16 \cdot x + m}; \quad w(\text{O})_{\text{рибоза}} = 0,533 = \frac{16 \cdot (x + 1)}{16 \cdot (x + 1) + m}$$

где m – суммарная масса атомов С и Н в сахарах.

Выразим m через x , воспользовавшись уравнением для дезоксирибозы;

$$16x = 0,477 \cdot (16x + m) \Rightarrow m = 17,54x$$

и подставим в уравнение для выражения массовой доли кислорода в рибозе:

$$w(\text{O})_{\text{рибоза}} = 0,53 = \frac{16 \cdot (x + 1)}{16 \cdot (x + 1) + 17,54x} \Rightarrow 1,87x = 7,472 \Rightarrow x = 3,99 \sim 4$$

Вычислим суммарную массу атомов С и Н в рибозе и дезоксирибозе: $m = 17,54 \cdot x = 70$ г/моль.

Единственная комбинация атомов С и Н, соответствующая правилам органической химии и обладающая суммарной атомной массой 70 г/моль, это C_5H_{10} . Таким образом, формула дезоксирибозы – $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_4$, формула рибозы – $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$.

- Вычислим среднее значение ИС для вакцины «Спутник V»: $x_{\text{среднее}} = (80 + 66 + 73)/3 = 219/3 = 73$.

Вычислим квадраты отклонений для каждого из участников вакцинации:

Алиса: $(80 - 73)^2 = 49$, София: $(66 - 73)^2 = 49$, Роберт: $(73 - 73)^2 = 0$.

$$\sigma^2 = (49 + 49 + 0)/3 = 32,66 \Rightarrow \sigma_{\text{спутник V}} = 5,7.$$

Аналогично для вакцины «Pfizer-BioNTech COVID-19»: $x_{\text{среднее}} = (80 + 79 + 55)/3 = 216/3 = 72$.

Джереми: $(55 - 72)^2 = 289$, Кэрлайн: $(79 - 72)^2 = 49$, Лэнс: $(82 - 72)^2 = 100$.

$$\sigma^2 = (289 + 49 + 100)/3 = 146 \Rightarrow \sigma_{\text{pfizer}} = 12,1.$$

- Уравнение прямой: $y = k \cdot x + b$. По точке с концентрацией IgG = 0 определяем свободный член $b = 0,15$.

По координатам каждой из оставшихся точек вычисляем коэффициент $k = (y - b)/x$:

y	11,15	52,65	106,15
x	100	500	1000
k	0,11	0,105	0,106

Среднее значение $k_{\text{cp}} = (0,11 + 0,105 + 0,106)/3 = 0,107$.

Тогда в разбавленном образце плазмы крови Роберта содержится:

$x = (y - b)/k_{\text{cp}} = (73 - 0,15)/0,107 = 680,8$ нг/мл \Rightarrow с учетом разбавления общее содержание антител IgG к SARS-Cov-2 в плазме крови Роберта составляет $680,8 \cdot 50 = 34040$ нг/мл = 0,0340 мг/мл.

9. По условию, молекулярная масса антител IgG составляет ~ 150 кДа, т.е. около 150000 а.е.м. Значения концентраций в мг/мл и в г/л совпадают. Поделив содержание антител IgG к SARS-Cov-2 в плазме крови Роберта в г/л на молярную массу, получим молярную концентрацию $C = 0,034/150000 = 2,27 \cdot 10^{-7}$ моль/л.

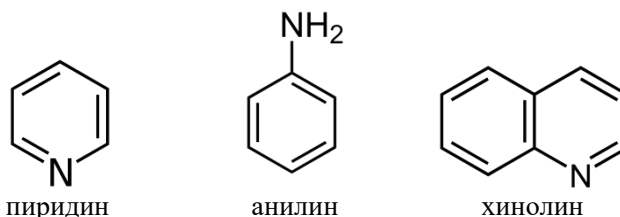
10. В XVIII веке было замечено, что люди, которые пострадали от менее вирулентной коровьей оспы, оказывались невосприимчивыми к натуральной оспе. 14 мая 1796 года Эдвард Дженнер проверил свою гипотезу, привив Джеймса Фиппса, восьмилетнего сына своего садовника. По тем временам это был революционный эксперимент: он привил коровью оспу мальчику и доказал, что тот стал невосприимчивым к натуральной оспе — последующие попытки (более двадцати) заразить мальчика человеческой оспой были безуспешными. Он соскрёб гной с пузырьков оспы на руках Сары Нельмес, доярки, которая заразилась коровьей оспой от коровы по имени Блоссом, и втёр его в две царапины на руке здорового ребёнка. Шкура той коровы теперь висит на стене медицинской школы Святого Георгия в Лондоне. Фиппс был 17-м случаем, описанным в первой статье Дженнера о вакцинации. Дженнер не мог поставить этот эксперимент на себе, так как знал, что сам он давно невосприимчив к натуральной оспе.

Система оценивания:

1. Аминокислоты 1 б.	1 б.
2. Расчёт средних масс субъединиц IgG по 1 б.	1*2 = 2 б.
3. Структурные формулы веществ A и Leu по 1 б., два названия Leu по 1 б.	1*2+1*2 = 4 б.
4. Расшифровка названий мономеров по 1 б.	1*4 = 4 б.
5. Формулы веществ X, Y и Z по 1 б., уравнения реакций по 1 б. Структурная формула P_4O_{10} 1 б. (структура P_2O_5 0 б.)	1*3+1*2+1 = 6 б.
6. Расчет брутто-формул рибозы и дезоксирибозы по 2 б.	2*2 = 4 б.
7. Расчёт средних значений по 1 б., среднеквадратичного отклонения по 3 б.	1*2+3*2 = 8 б.
8. Вычисление коэффициента b 1 б., вычисление коэффициента k в каждой точке по 0,5 б., k_{cp} 0,5 б., расчет концентрации антител с использованием b и k_{cp} 3 б. (расчет без учета b минус (-) 1 б., по одному k без усреднения -1 б., ошибка в размерностях -1 б., расчет по точке с графика не более 0,5 б.)	1+0,5*4+3 = 6 б.
9. Расчет молярной концентрации антител (моль/л) 2 б.	2 б.
10. Происхождение названия 1 б.	1 б.
Всего:	38 баллов.

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

1. Несложно заметить, что только одно вещество из таблицы (X) является газом при комнатной температуре. Следовательно, X – аммиак. Чтобы оказаться в пиролизной воде, вещество должно хорошо в этой воде растворяться, иначе оно попадет в смолу. Таким образом, пиридин – это C_5H_5N . Формула родоначальника класса ароматических аминов (они же анилины) точно не C_9H_7N , следовательно, Y – анилин, C_6H_5N – хинолин. Структурные формулы:



2. Молярная концентрация $C_M = \omega_i \cdot \rho / M_i = 0,1 \cdot 1066 / 98 = 1,088$ моль/л.

По первой ступени серная кислота диссоциирует как сильный электролит: $H_2SO_4 \rightarrow H^+ + HSO_4^-$, $\alpha = 1$.

Поэтому $C_{H^+(1 \text{ ступени})} = C_{HSO_4^-} = 1,088$ моль/л.

По второй ступени серная кислота электролит средней силы: $HSO_4^- \leftrightarrow H^+ + SO_4^{2-}$. $K_{a2} = \frac{[H^+][SO_4^{2-}]}{[HSO_4^-]} = 10^{-1,9} = 0,0126$.

Пусть x – концентрация в растворе ионов $[SO_4^{2-}]$. Тогда $0,0126 = \frac{(1,088+x)x}{1,088-x}$, откуда $x = 0,0122$ моль/л = $[SO_4^{2-}]$.

$[HSO_4^-] = 1,088 - 0,0122 = 1,0758$ моль/л, $[H^+] = 1,088 + 0,0122 = 1,1002$ моль/л, $pH = -\lg 1,1002 = -0,04$.

$\alpha(HSO_4^-) = \frac{[HSO_4^-]}{C(H_2SO_4)} = \frac{1,0758}{1,088} = 0,989$; $\alpha(SO_4^{2-}) = 1 - 0,989 = 0,011$. Уравнения реакций:

$NH_3 + H_2SO_4 = NH_4HSO_4$ – гидросульфат аммония; $C_5H_5N + H_2SO_4 = (C_5H_5NH)HSO_4$ – гидросульфат пиридиния.

3. Молярная концентрация насыщенного раствора сульфата аммония равна $C_{\text{насыщ. р-ра}} = \frac{75,4 \times 1350}{132 \times 175,4} = 4,396$ моль/л.

4. Описанный метод титрования называется кислотно – основное титрование или ацидометрия. Окраска анализируемого раствора в точке эквивалентности переходит из оранжевой в соломенно-жёлтую (жёлтую). Этот раствор нельзя титровать щёлочью в присутствии индикатора фенолфталеина, так как фенолфталеин меняет окраску в щелочной среде, а в этих условиях будет частично оттитровываться и катион аммония.

5. Суммарная концентрация титруемых ионов (H^+ и HSO_4^-) в аликвоте равна $[H^+] + [HSO_4^-] = 0,1 \cdot 5,5 / 10 = 0,055$ моль/л. По сути, мы титруем содержащуюся в этом растворе избыточную серную кислоту, которая не прореагировала с основаниями. Титруются по 2 моля протонов на каждый моль кислоты, независимо от того, в какой форме они находятся в конечном растворе – катионов гидроксония или гидросульфат-ионов. Следовательно, суммарная

концентрация избыточной кислоты в растворе составляет $0,5 \cdot 0,055 = 0,0275$ моль/л. Тогда суммарная концентрация серосодержащих ионов (HSO_4^- и SO_4^{2-}), поступивших в раствор из кислоты, равна $[\text{HSO}_4^-] + [\text{SO}_4^{2-}]_{\text{к-ты}} = 0,0275$ моль/л.

Обозначим за $x = [\text{H}^+]$. Тогда $[\text{HSO}_4^-] = 0,055 - x$. $[\text{SO}_4^{2-}]_{\text{к-ты}} = 0,0275 - [\text{HSO}_4^-] = 0,0275 - 0,055 + x = x - 0,0275$.

Общее количество сульфат-ионов в растворе составит $[\text{SO}_4^{2-}] = 0,1 \cdot 4,396 + [\text{SO}_4^{2-}]_{\text{к-ты}} = 0,4396 + x - 0,0275 = 0,4121 + x$.

Для этого раствора имеем $K_{a2} = \frac{[\text{H}^+][\text{SO}_4^{2-}]}{[\text{HSO}_4^-]} = 0,0126 = \frac{(0,4121+x)x}{0,055-x}$, откуда $x = 1,63 \cdot 10^{-3}$ моль/л.

$[\text{HSO}_4^-] = 0,055 - 1,63 \cdot 10^{-3} = 0,05337$ моль/л, $[\text{SO}_4^{2-}] = 0,4121 + 1,63 \cdot 10^{-3} = 0,41373$ моль/л. $\text{pH} = -\lg 1,63 \cdot 10^{-3} = 2,79$.

$\alpha(\text{HSO}_4^-) = \frac{[\text{HSO}_4^-]}{[\text{HSO}_4^-] + [\text{SO}_4^{2-}]} = \frac{0,05337}{0,41373 + 0,05337} = 0,114$; $\alpha(\text{SO}_4^{2-}) = 1 - 0,114 = 0,886$.

Интересно, что концентрация гидросульфат-ионов в этом растворе оказалась больше, чем концентрация избыточной кислоты, а концентрация сульфат-ионов – меньше, чем концентрация сульфата аммония. Т. е. часть протонов, полученных при диссоциации серной кислоты по 1-й ступени, оказалась израсходована на протонирование сульфат-ионов.

Применяя ту же логику, вычислим требуемые значения для исходного маточного раствора. Суммарная концентрация избыточной серной кислоты, как и суммарная концентрация ионов H^+ и HSO_4^- , в этом растворе будут в 10 раз больше.

Обозначим за $x = [\text{H}^+]$. Тогда $[\text{HSO}_4^-] = 0,55 - x$. $[\text{SO}_4^{2-}]_{\text{к-ты}} = 0,275 - [\text{HSO}_4^-] = 0,275 - 0,55 + x = x - 0,275$.

Общее количество сульфат-ионов в растворе составит $[\text{SO}_4^{2-}] = 4,396 + [\text{SO}_4^{2-}]_{\text{к-ты}} = 4,396 + x - 0,275 = 4,121 + x$.

Для этого раствора имеем $K_{a2} = \frac{[\text{H}^+][\text{SO}_4^{2-}]}{[\text{HSO}_4^-]} = 0,0126 = \frac{(4,121+x)x}{0,55-x}$, откуда $x = 1,68 \cdot 10^{-3}$ моль/л.

$[\text{HSO}_4^-] = 0,55 - 1,68 \cdot 10^{-3} = 0,548$ моль/л, $[\text{SO}_4^{2-}] = 4,121 + 1,68 \cdot 10^{-3} = 4,123$ моль/л. $\text{pH} = -\lg 1,68 \cdot 10^{-3} = 2,77$.

$\alpha(\text{HSO}_4^-) = \frac{[\text{HSO}_4^-]}{[\text{HSO}_4^-] + [\text{SO}_4^{2-}]} = \frac{0,548}{4,121 + 0,548} = 0,117$; $\alpha(\text{SO}_4^{2-}) = 1 - 0,117 = 0,883$.

Получается, что при такой высокой концентрации сульфат-ионов наш маточный раствор является буферным раствором для системы $\text{HSO}_4^- \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$, и его pH практически не изменился при разбавлении раствора в 10 раз. Заметим, что как в 1-м, так и во 2-м случаях можно было производить расчеты по приближенным формулам или уравнению Гендерсона, ответы были бы очень близки к тем, что мы получили в своих расчетах.

6. Определим pH раствора, в котором молекулярная форма пиридина имеет долю 0,99.

$K(\text{C}_5\text{H}_5\text{NH}^+) = \frac{[\text{C}_5\text{H}_5\text{N}] \cdot [\text{H}^+]}{[\text{C}_5\text{H}_5\text{NH}^+]} = 10^{-5,2} = 6,31 \cdot 10^{-6}$. $\alpha(\text{C}_5\text{H}_5\text{N}) = \frac{K(\text{C}_5\text{H}_5\text{NH}^+)}{[\text{H}^+] + K(\text{C}_5\text{H}_5\text{NH}^+)}$,

$0,99 = \frac{6,31 \cdot 10^{-6}}{[\text{H}^+] + 6,31 \cdot 10^{-6}}$, $[\text{H}^+] = 6,374 \cdot 10^{-8}$ моль/л. $\text{pH} = -\lg(6,374 \cdot 10^{-8}) = 7,2$.

Определим концентрацию NH_3 в нейтрализаторе.

$K(\text{NH}_4^+) = \frac{[\text{NH}_3] \cdot [\text{H}^+]}{[\text{NH}_4^+]} = 10^{-9,25} = 5,62 \cdot 10^{-10}$. $[\text{NH}_4^+] = 2C_{\text{насыщ. р-ра}} = 2 \cdot 4,396 = 8,792$ моль/л,

$[\text{NH}_3] = \frac{5,62 \cdot 10^{-10} \cdot 8,792}{6,374 \cdot 10^{-8}} = 0,0775$ моль/л.

7. Судя по описанию и свойствам, газом **Z** является углекислый газ. Уравнения реакций:

$2\text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 - \text{A}$; $\text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{NH}_4\text{HCO}_3 - \text{B}$; $2\text{NH}_3 + \text{CO}_2 = \text{NH}_2\text{COONH}_4 - \text{B}$ - карбамат аммония.

8. $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_3\text{HSO}_4$ – гидросульфат анилина либо $2\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 = (\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_3)_2\text{SO}_4$ – сульфат анилина; $\text{C}_9\text{H}_7\text{N} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{C}_9\text{H}_7\text{NHHSO}_4$ – гидросульфат хинолина либо $2\text{C}_9\text{H}_7\text{N} + \text{H}_2\text{SO}_4 = (\text{C}_9\text{H}_7\text{NH})_2\text{SO}_4$ – сульфат хинолина.

Система оценивания:

1. Соответствия по 1 б., структурные формулы по 1 б.	$1 \cdot 4 + 1 \cdot 3 = 7$ б.
2. Концентрация, доли форм и pH по 2 б., уравнения реакций по 1 б., названия по 1 б.	$2 \cdot 4 + 1 \cdot 4 = 12$ б.
3. Концентрация сульфата аммония 2 б.	2 б.
4. Название метода, переход окраски по 1 б., объяснение про фенолфталеин 1 б.	$1 \cdot 3 = 3$ б.
5. Доли форм и pH для каждого из растворов по 2 б.	$2 \cdot 3 \cdot 2 = 12$ б.
6. Концентрация аммиака и pH по 2 б.	$2 \cdot 2 = 4$ б.
7. Формулы A-B по 1 б., уравнения реакций по 1 б., название соли B 1 б.	$1 \cdot 3 + 1 \cdot 3 + 1 = 7$ б.
8. Уравнения реакций по 1 б., названия по 1 б.	$1 \cdot 2 + 1 \cdot 2 = 4$ б.
Всего:	51 балл.

Задание 3. (автор А.С. Романов).

1. Одним из возможных решений является ряд:

Цвет	Красный	Оранжевый	Желтый	Зеленый	Голубой	Синий	Фиолетовый
Соединение	CoSO_4	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	K_2CrO_4	$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$	CrCl_2^*	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2^*$	TiCl_3

* Отличие синего цвета от голубого довольно субъективно, поэтому за правильный ответ принимаются все вещества, водные растворы которых обладают цветом от синего до голубого.

2. Начнем решение с расчета молярных масс элементов **X** и **Y**.

Определение элемента **X**. В условии задачи указано, что вещество **X₁** является бинарным и содержит кислород, то есть скорее всего является оксидом. Поэтому для расчета используем **X₁**, представив его формулу как **X₂O_n**.

$$\omega(\mathbf{X}) = \frac{2M(\mathbf{X})}{16n+2M(\mathbf{X})} = 0,6322, M(\mathbf{X}) = 13,75n, \text{ где } n - \text{ степень окисления элемента } \mathbf{X}.$$

Единственное разумное решение получаем при $n = 4$, $M(\mathbf{X}) = 55$ г/моль, $\mathbf{X} = \mathbf{Mn}$.

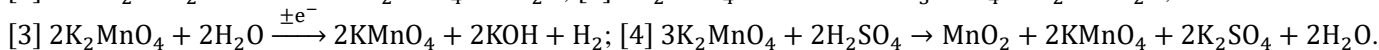
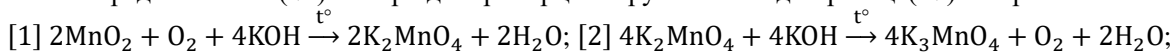
Определение элемента **Y**. По условию задачи, **Y₁** является металлом, который сгорает в кислороде с образованием оксида **Y₄** с известной массовой долей кислорода. Рассчитаем молярную массу элемента **Y**.

$$\omega(\mathbf{Y}) = \frac{2M(\mathbf{Y})}{16m+2M(\mathbf{Y})} = 1 - \omega(\mathbf{O}) = 0,5604, M(\mathbf{Y}) = 10,2m, \text{ где } m - \text{ степень окисления элемента } \mathbf{Y}.$$

Единственным разумным решением является $m = 5$, $M(\mathbf{Y}) = 51$ г/моль, $\mathbf{Y} = \mathbf{V}$.

3. Пирролюзит (минерал **MnO₂**) окисляется кислородом в щелочном расплаве с образованием манганата(VI) калия – **K₂MnO₄**. При нагревании расплава **KOH** с **K₂MnO₄** без доступа кислорода постепенно образуется гипоманганат калия голубого цвета – **K₃MnO₄**.

Электролиз щелочного раствора **K₂MnO₄** – основной способ промышленного получения перманганата калия. В кислой среде манганат(VI) быстро диспропорционирует на оксид марганца(IV) и перманганат-ион.

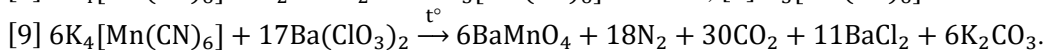
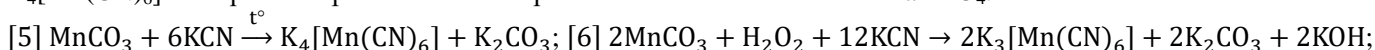


Исходя из массовой доли кислорода, можно вычислить формулу **X₅**:

$$\omega(\mathbf{O}) = \frac{16n}{M(\mathbf{X}_5)} = 0,4174, M(\mathbf{X}_5) = 38,33n \text{ г/моль}. \text{ При } n = 3, \text{ получаем целую } M(\mathbf{X}_5) = 115 \text{ г/моль}.$$

При вычитании молярной массы одного атома марганца и трех атомов кислорода получаем, что молярная масса остатка равняется 12 г/моль. Тогда **X₅ = MnCO₃** (родохрозит).

При кипячении карбоната марганца(II) с цианидом калия образуется гексацианоманганат(II) калия, который окисляется на влажном воздухе до гексацианоманганата(III) калия. При действии сильного окислителя (**NOCl**) в неводном растворителе (**DMF**) на красный **K₃[Mn(CN)₆]** можно получить желтый **K₂[Mn(CN)₆]**. При сплавлении **K₄[Mn(CN)₆]** с хлоратом бария возможно образование синего пигмента – **BaMnO₄**:



На состав комплексов **X₇**, **X₉** можно выйти при помощи данных о выходах и массах.

Расчет состава **X₇**. Предположим, что в состав **X₇** входит только один атом марганца, тогда с учетом выхода получим его молярную массу:

$$0,6 \cdot n(\text{MnCO}_3) = n(\mathbf{X}_7) = \frac{0,6 \cdot 2,34}{M(\text{MnCO}_3)} = \frac{4}{M(\mathbf{X}_7)}, M(\mathbf{X}_7) = 328 \text{ г/моль}.$$

Представив формулу **X₇** как **K_x[Mn(CN)_y]**, закончим расчет состава этого комплекса: $328 = 39x + 26y + 55$.

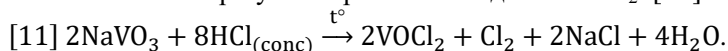
Единственным целым решением является набор $x = 3$, $y = 6$. Значит **X₇ = K₃[Mn(CN)₆]**.

Расчет состава **X₉**. Бесцветным бинарным газом, который выделяется в ходе описанной реакции, может быть только **NO**. При этом количество вещества этого газа скорее всего равняется количеству вещества, прореагировавшего **NOCl**. Тогда с учетом выхода рассчитаем стехиометрическое соотношение, в котором реагируют **K₃[Mn(CN)₆]** и **NOCl**.

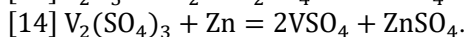
$$n(\text{NOCl}) = n(\text{NO}) = \frac{pV}{RT} = \frac{10^5 \cdot 0,26 \cdot 10^{-3}}{8,314 \cdot 298} = 0,0105 \text{ моль}, n(\text{K}_3[\text{Mn}(\text{CN})_6])_{\text{прореаг}} = \frac{4 \cdot 0,86}{328} = 0,0105 \text{ моль}.$$

Поскольку вещества **K₃[Mn(CN)₆]** и **NOCl** реагируют в соотношении 1:1, а **NOCl** является одноэлектронным окислителем, то нетрудно понять, что **X₉ = K₂[Mn(CN)₆]**. При этом состав **X₉** можно подтвердить аналогично предыдущему пункту: $M(\mathbf{X}_9) = \frac{3 \cdot M(\text{K}_3[\text{Mn}(\text{CN})_6])}{4 \cdot 0,86} \approx 289 \text{ г/моль}$.

В первом пункте мы рассчитали, что **Y = V** и получили, что **Y₁ = V(простое в-во)**. Подвергая металлический ванадий окислительной щелочной плавке, можно получить ванадат(V) натрия, который при кипячении с концентрированной соляной кислотой образует хлористый ванадил – **VOCl₂**. [10] $2\text{V} + 5\text{NaNO}_3 + 2\text{NaOH} \xrightarrow{t^\circ} 2\text{NaVO}_3 + 5\text{NaNO}_2 + \text{H}_2\text{O};$



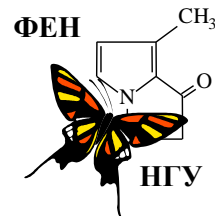
В п. 1 было получено, что в **Y₄** ванадий проявляет высшую с.о., которая равна +5, значит **Y₄ = V₂O₅**. Сернистый газ восстанавливает **V₂O₅** в кислой среде до сульфата ванадила, который при помощи гидразина можно восстановить до **V₂(SO₄)₃**. При взаимодействии **V⁺³** с атомарным водородом (который образуется при взаимодействии цинка с серной кислотой) можно получить раствор, содержащий **V⁺²**, акваионы ионы которого придают раствору бледно-фиолетовый цвет:



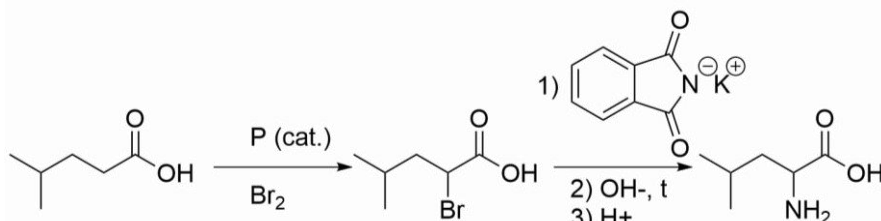
Состав **Y₅** можно подтвердить расчетом:

$$\omega(\mathbf{Y}) = \frac{n \cdot M(\mathbf{Y})}{M(\mathbf{Y}_5)} = 1 - \omega(\mathbf{O}) = 0,5092, M(\mathbf{Y}) = M(\mathbf{V}) = 51 \text{ г/моль}, M(\mathbf{Y}_5) = 163n.$$

Предполагая наличие сульфат-иона в составе **Y₅** и количество атомов ванадия равным единице, находим, что

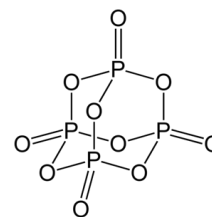
**Задание 1. (автор Н.В. Рубан).**

- Первичная структура белка формируется из аминокислот.
- Обозначим массу легкой субъединицы за x . Тогда масса тяжелой субъединицы составит $2 \cdot x$. Антитела IgG состоят из двух тяжелых и двух легких субъединиц, а их общая масса составляет 150 кДа: $150 = 2 \cdot x + 2 \cdot 2 \cdot x = 6 \cdot x \Rightarrow x = 25$ кДа – масса легкой цепи. Масса тяжелой цепи $25 \cdot 2 = 50$ кДа.
- Leu** – лейцин, 2-амино-4-метилпентановая кислота.



- В состав нуклеотидов входят кислотные остатки фосфорной кислоты. Тогда вещество **X** – H_3PO_4 (ортофосфорная кислота), **Z** – P (фосфор), **Y** – P_4O_{10} (здесь можно P_2O_5 , оксид фосфора(V)).

Уравнения реакций: **1:** $4\text{P} + 10\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{600-900^\circ\text{C, cat}} \text{P}_4\text{O}_{10} + 10\text{H}_2$; **2:** $\text{P}_4\text{O}_{10} + 6\text{H}_2\text{O} = 4\text{H}_3\text{PO}_4$. Структурная формула P_4O_{10} приведена на рис. справа (структура P_2O_5 не засчитывается).



- $\Delta E_2 = \Delta E_{\text{сумм.}} - \Delta E_1 = -46,5 + 30,5 = -16$ кДж/моль.
- Количество моль АТФ составляет: $n = 40 \cdot 1000 / 507 = 78,9$ моль. $E = \Delta E_{\text{сумм.}} \cdot 78,9 = 3668$ кДж $\Rightarrow 1 = 3668 / 850 = 4,3$ км.
- Сахара состоят из атомов С, Н и О. Обозначим количество атомов кислорода в составе дезоксирибозы за x , тогда количество атомов кислорода в рибозе составляет $x+1$. Составим уравнения для массовых долей кислорода в каждом из сахаров:

$$w(\text{O})_{\text{дезоксирибоза}} = 0,477 = \frac{16 \cdot x}{16 \cdot x + m}; \quad w(\text{O})_{\text{рибоза}} = 0,533 = \frac{16 \cdot (x + 1)}{16 \cdot (x + 1) + m}$$

где m – суммарная масса атомов С и Н в сахарах.

Выразим m через x , воспользовавшись уравнением для дезоксирибозы;

$$16x = 0,477 \cdot (16x + m) \Rightarrow m = 17,54x$$

и подставим в уравнение для выражения массовой доли кислорода в рибозе:

$$w(\text{O})_{\text{рибоза}} = 0,53 = \frac{16 \cdot (x + 1)}{16 \cdot (x + 1) + 17,54x} \Rightarrow 1,87x = 7,472 \Rightarrow x = 3,99 \sim 4$$

Вычислим суммарную массу атомов С и Н в рибозе и дезоксирибозе: $m = 17,54 \cdot x = 70$ г/моль.

Единственная комбинация атомов С и Н, соответствующая правилам органической химии и обладающая суммарной атомной массой 70 г/моль, это C_5H_{10} . Таким образом, формула дезоксирибозы – $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_4$, формула рибозы – $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$.

- Уравнение прямой: $y = k \cdot x + b$. По точке с концентрацией IgG = 0 определяем свободный член $b = 0,15$.

По координатам каждой из оставшихся точек вычисляем коэффициент $k = (y-b)/x$:

y	11,15	52,65	106,15
x	100	500	1000
k	0,11	0,105	0,106

Среднее значение $k_{\text{ср}} = (0,11 + 0,105 + 0,106) / 3 = 0,107$.

Тогда в разбавленном образце плазмы крови Роберта содержится:

$x = (y-b) / k_{\text{ср}} = (73-0,15) / 0,107 = 680,8$ нг/мл \Rightarrow с учетом разбавления общее содержание антител IgG к SARS-Cov-2 в плазме крови Роберта составляет $680,8 \cdot 50 = 34040$ нг/мл = 0,0340 мг/мл.

Проведем аналогичные расчеты для других привакцинированных пациентов и получим, что в крови Алисы содержится 0,0373 мг/мл, в крови Софии – 0,0307 мг/мл, в крови Джереми – 0,0256 мг/мл, в крови Кэролайн – 0,0368 мг/мл, в крови Лэнса – 0,0382 мг/мл IgG к SARS-Cov-2.

- По условию, молекулярная масса антител IgG составляет ~ 150 кДа, т.е. около 150000 а.е.м. Значения концентраций в мг/мл и в г/л совпадают. Поделив содержание антител IgG к SARS-Cov-2 в плазме крови Роберта в г/л на молярную массу, получим молярную концентрацию $C = 0,034 / 150000 = 2,27 \cdot 10^{-7}$ моль/л.

10. В XVIII веке было замечено, что люди, которые пострадали от менее вирулентной коровьей оспы, оказывались невосприимчивыми к натуральной оспе. 14 мая 1796 года Эдвард Дженнер проверил свою гипотезу, привив

Джеймса Фиппса, восьмилетнего сына своего садовника. По тем временам это был революционный эксперимент: он привил коровью оспу мальчику и доказал, что тот стал невосприимчивым к натуральной оспе — последующие попытки (более двадцати) заразить мальчика человеческой оспой были безуспешными. Он соскрёб гной с пузырьков оспы на руках Сары Нельмес, доярки, которая заразилась коровьей оспой от коровы по имени Блоссом, и втёр его в две царапины на руке здорового ребёнка. Шкура той коровы теперь висит на стене медицинской школы Святого Георгия в Лондоне. Фиппс был 17-м случаем, описанным в первой статье Дженнера о вакцинации. Дженнер не мог поставить этот эксперимент на себе, так как знал, что сам он давно невосприимчив к натуральной оспе.

Система оценивания:

1. Аминокислоты 1 б.	1 б.
2. Расчёт средних масс субъединиц IgG по 1 б.	1*2 = 2 б.
3. Структурные формулы веществ A и Leu по 1 б., два названия Leu по 1 б.	1*2+1*2 = 4 б.
4. Формулы веществ X, Y и Z по 1 б., уравнения реакций по 1 б. Структурная формула P ₄ O ₁₀ 1 б. (структура P ₂ O ₅ 0 б.)	1*3+1*2+1 = 6 б.
5. Расчет ΔE ₂ 2 б.	2 б.
6. Расчет расстояния, которое можно преодолеть 3 б.	3 б.
7. Расчет брутто-формул рибозы и дезоксирибозы по 2 б.	2*2 = 4 б.
8. Вычисление коэффициента b 1 б., вычисление коэффициента k в каждой точке по 0,5 б., k _{ср} 0,5 б., расчет концентрации антител с использованием b и k _{ср} по 1,5 б. каждый (расчет без учета b минус (-) 0,5 б. каждый, по одному k без усреднения -0,5 б. каждый, ошибка в размерностях -0,5 б., расчет по точке с графика не более 0,5 б. каждый)	1+0,5*4+1,5*6 = 12 б.
9. Расчет молярной концентрации антител (моль/л) 2 б.	2 б.
10. Происхождение названия 1 б.	1 б.
Всего:	37 баллов.

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

1. $m(p-ра\ 75) = 1000 \times 1,67 \times 1000 = 1,67 \times 10^6$ г, $m(i,75) = 1,67 \times 10^6 \times 0,75 = 1,2525 \times 10^6$ г,
 $m(i,96) = m(i,75) = 1,2525 \times 10^6$ г, $m(p-ра96) = 1,2525 \times 10^6 / 0,96 = 1,30469 \times 10^6$ г.
 $V(96) = 1,30469 \times 10^6 / 1,836 = 0,7106 \times 10^6$ мл или $0,7106$ м³.
 $m(H_2O) = 1,67 \times 10^6 - 1,30469 \times 10^6 = 0,36531 \times 10^6$ г, $V(H_2O) = 0,36531 \times 10^6 / 1 = 0,36531 \times 10^6$ мл.

Нужно вливать концентрированную серную кислоту в воду, но никак не наоборот.

2. Пусть объём разбавленной кислоты равен V_y мл.

$$m(p-раY) = V_y \times \rho_y, \quad m(i,Y) = V_y \times \rho_y \times Y \times 10^{-2}.$$

$$m(i,X) = m(i,Y) = V_y \times \rho_y \times Y \times 10^{-2}, \quad m(p-раX) = V_y \times \rho_y \times Y / X. \quad V(X) = V_y \times \rho_y \times Y / (X \times \rho_x).$$

$$m(H_2O) = V_y \times \rho_y - V_y \times \rho_y \times Y / X, \quad V(H_2O) = V_y \times \rho_y - V_y \times \rho_y \times Y / (X \times 1), \quad V(X) / V(H_2O) = Y / (\rho_x \times (X - Y)).$$

3. Проверим выведенную формулу по данным пункта 1.

$$V(96) / V(H_2O) = 75 / (1,836 \times (96 - 75)) = 1,945 = 0,7106 \times 10^6 / 0,36531 \times 10^6.$$

а) Для приготовления 10% раствора: $V(75) / V(H_2O) = 10 / (1,67 \times (75 - 10)) = 0,092$.

Для приготовления 6% раствора: $V(75) / V(H_2O) = 6 / (1,67 \times (75 - 6)) = 0,052$.

4. Молярная концентрация $C_M = \omega_1 \cdot \rho / M_i = 0,1 \cdot 1066 / 98 = 1,088$ моль/л.

По первой ступени серная кислота диссоциирует как сильный электролит: $H_2SO_4 \rightarrow H^+ + HSO_4^-$, $\alpha = 1$.

Поэтому $C_{H^+(1\ ступени)} = C_{HSO_4^-} = 1,088$ моль/л.

По второй ступени серная кислота электролит средней силы: $HSO_4^- \leftrightarrow H^+ + SO_4^{2-}$. $K_{a2} = \frac{[H^+][SO_4^{2-}]}{[HSO_4^-]} = 10^{-1,9} = 0,0126$.

Пусть x – концентрация в растворе ионов $[SO_4^{2-}]$. Тогда $0,0126 = \frac{(1,088+x)x}{1,088-x}$, откуда $x = 0,0122$ моль/л = $[SO_4^{2-}]$.

$[HSO_4^-] = 1,088 - 0,0122 = 1,0758$ моль/л, $[H^+] = 1,088 + 0,0122 = 1,1002$ моль/л, $pH = -\lg 1,1002 = -0,04$.

$\alpha(HSO_4^-) = \frac{[HSO_4^-]}{C(H_2SO_4)} = \frac{1,0758}{1,088} = 0,989$; $\alpha(SO_4^{2-}) = 1 - 0,989 = 0,011$. Уравнения реакций:

$NH_3 + H_2SO_4 = NH_4HSO_4$ – гидросульфат аммония; $C_5H_5N + H_2SO_4 = (C_5H_5NH)HSO_4$ – гидросульфат пиридиния.

5. Молярная концентрация насыщенного раствора сульфата аммония равна $C_{насыщ. p-ра} = \frac{75,4 \times 1350}{132 \times 175,4} = 4,396$ моль/л.

6. Описанный метод титрования называется кислотно – основное титрование или ацидометрия. Окраска анализируемого раствора в точке эквивалентности переходит из оранжевой в соломенно-жёлтую (жёлтую). Этот раствор нельзя титровать щёлочью в присутствии индикатора фенолфталеина, так как фенолфталеин меняет окраску в щелочной среде, а в этих условиях будет частично оттитровываться и катион аммония.

7. Суммарная концентрация титруемых ионов (H^+ и HSO_4^-) в аликвоте равна $[H^+] + [HSO_4^-] = 0,1 \times 5,5 / 10 = 0,055$ моль/л. По сути, мы титруем содержащуюся в этом растворе избыточную серную кислоту, которая не прореагировала с основаниями. Титруются по 2 моля протонов на каждый моль кислоты, независимо от того, в какой форме они находятся в конечном растворе – катионов гидроксония или гидросульфат-ионов. Следовательно, суммарная концентрация избыточной кислоты в растворе составляет $0,5 \times 0,055 = 0,0275$ моль/л. Тогда суммарная концентрация серосодержащих ионов (HSO_4^- и SO_4^{2-}), поступивших в раствор из кислоты, равна $[HSO_4^-] + [SO_4^{2-}]_{к-ты} = 0,0275$ моль/л.

Обозначим за $x = [H^+]$. Тогда $[HSO_4^-] = 0,055 \cdot x$. $[SO_4^{2-}]_{к-ты} = 0,0275 - [HSO_4^-] = 0,0275 - 0,055x = x - 0,0275$.

Общее количество сульфат-ионов в растворе составит $[SO_4^{2-}] = 0,1 \cdot 4,396 + [SO_4^{2-}]_{к-ты} = 0,4396 + x - 0,0275 = 0,4121 + x$.

Для этого раствора имеем $K_{a2} = \frac{[H^+][SO_4^{2-}]}{[HSO_4^-]} = 0,0126 = \frac{(0,4121+x)x}{0,055-x}$, откуда $x = 1,63 \cdot 10^{-3}$ моль/л.

$[HSO_4^-] = 0,055 \cdot 1,63 \cdot 10^{-3} = 0,05337$ моль/л, $[SO_4^{2-}] = 0,4121 + 1,63 \cdot 10^{-3} = 0,41373$ моль/л. $pH = -\lg 1,63 \cdot 10^{-3} = 2,79$.

Интересно, что концентрация гидросульфат-ионов в этом растворе оказалась больше, чем концентрация избыточной кислоты, а концентрация сульфат-ионов – меньше, чем концентрация сульфата аммония. Т. е. часть протонов, полученных при диссоциации серной кислоты по 1-й ступени, оказалась израсходована на протонирование сульфат-ионов.

Применяя ту же логику, вычислим требуемые значения для исходного маточного раствора. Суммарная концентрация избыточной серной кислоты, как и суммарная концентрация ионов H^+ и HSO_4^- , в этом растворе будут в 10 раз больше.

Обозначим за $x = [H^+]$. Тогда $[HSO_4^-] = 0,55 \cdot x$. $[SO_4^{2-}]_{к-ты} = 0,275 - [HSO_4^-] = 0,275 - 0,55x = x - 0,275$.

Общее количество сульфат-ионов в растворе составит $[SO_4^{2-}] = 4,396 + [SO_4^{2-}]_{к-ты} = 4,396 + x - 0,275 = 4,121 + x$.

Для этого раствора имеем $K_{a2} = \frac{[H^+][SO_4^{2-}]}{[HSO_4^-]} = 0,0126 = \frac{(4,121+x)x}{0,55-x}$, откуда $x = 1,68 \cdot 10^{-3}$ моль/л.

$[HSO_4^-] = 0,55 \cdot 1,68 \cdot 10^{-3} = 0,548$ моль/л, $[SO_4^{2-}] = 4,121 + 1,68 \cdot 10^{-3} = 4,123$ моль/л. $pH = -\lg 1,68 \cdot 10^{-3} = 2,77$.

Получается, что при такой высокой концентрации сульфат-ионов наш маточный раствор является буферным раствором для системы $HSO_4^- \leftrightarrow H^+ + SO_4^{2-}$, и его pH практически не изменился при разбавлении раствора в 10 раз. Заметим, что как в 1-м, так и во 2-м случаях можно было производить расчеты по приближенным формулам или уравнению Гендерсона, ответы были бы очень близки к тем, что мы получили в своих расчетах.

8. Определим pH раствора, в котором молекулярная форма пиридина имеет долю 0,99.

$$K(C_5H_5NH^+) = \frac{[C_5H_5N] \cdot [H^+]}{[C_5H_5NH^+]} = 10^{-5,2} = 6,31 \cdot 10^{-6}. \alpha(C_5H_5N) = \frac{K(C_5H_5NH^+)}{[H^+] + K(C_5H_5NH^+)}$$

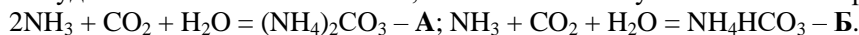
$$0,99 = \frac{6,31 \cdot 10^{-6}}{[H^+] + 6,31 \cdot 10^{-6}}, [H^+] = 6,374 \cdot 10^{-8} \text{ моль/л. } pH = -\lg(6,374 \cdot 10^{-8}) = 7,2.$$

Определим концентрацию NH_3 в нейтрализаторе.

$$K(NH_4^+) = \frac{[NH_3] \cdot [H^+]}{[NH_4^+]} = 10^{-9,25} = 5,62 \cdot 10^{-10}. [NH_4^+] = 2C_{\text{насыщ. р-ра}} = 2 \cdot 4,396 = 8,792 \text{ моль/л,}$$

$$[NH_3] = \frac{5,62 \cdot 10^{-10} \cdot 8,792}{6,374 \cdot 10^{-8}} = 0,0775 \text{ моль/л.}$$

9. Судя по описанию и свойствам, газом **Z** является углекислый газ. Уравнения реакций:



Система оценивания:

1. Объемы кислоты и воды по 2 б., порядок смешивания 1 б.	2*2+1 = 5 б.
2. Вывод формулы 3 б.	3 б.
3. Проверка формулы 1 б., соотношения по 1 б.	1+1*2 = 3 б.
4. Концентрация, доли форм и pH по 2 б., уравнения реакций по 1 б., названия по 1 б.	2*4+1*4 = 12 б.
5. Концентрация сульфата аммония 2 б.	2 б.
6. Название метода, переход окраски по 1 б., объяснение про фенолфталеин 1 б.	1*3 = 3 б.
7. Верный расчет pH для каждого из растворов по 3 б. (достаточно ответов 2,8)	3*2 = 6 б.
8. Концентрация аммиака и pH по 2 б.	2*2 = 4 б.
9. Формулы А-Б по 1 б., уравнения реакций по 1 б.	1*2+1*2 = 4 б.
Всего:	42 балла.

Задание 3. (автор А.С. Романов).

1. Одним из возможных решений является ряд:

Цвет	Красный	Оранжевый	Желтый	Зеленый	Голубой	Синий	Фиолетовый
Соединение	CoSO ₄	K ₂ Cr ₂ O ₇	K ₂ CrO ₄	Ni(NO ₃) ₂	CrCl ₂ *	Cu(NO ₃) ₂ *	TiCl ₃

* Отличие синего цвета от голубого довольно субъективно, поэтому за правильный ответ принимаются все вещества, водные растворы которых обладают цветом от синего до голубого.

2. Начнем решение с расчета молярных масс элементов **X** и **Y**.

Определение элемента **X**. В условии задачи указано, что вещество **X**₁ является бинарным и содержит кислород, то есть скорее всего является оксидом. Поэтому для расчета используем **X**₁, представив его формулу как **X**₂O_n.

$$\omega(X) = \frac{2M(X)}{16n+2M(X)} = 0,6322, M(X) = 13,75n, \text{ где } n - \text{ степень окисления элемента } X.$$

Единственное разумное решение получаем при $n = 4$, $M(X) = 55$ г/моль, **X = Mn**.

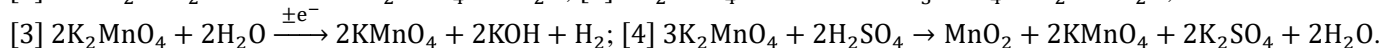
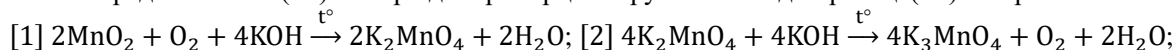
Определение элемента **Y**. По условию задачи, **Y**₁ является металлом, который сгорает в кислороде с образованием оксида **Y**₄ с известной массовой долей кислорода. Рассчитаем молярную массу элемента **Y**.

$$\omega(Y) = \frac{2M(Y)}{16m+2M(Y)} = 1 - \omega(O) = 0,5604, M(Y) = 10,2m, \text{ где } m - \text{ степень окисления элемента } Y.$$

Единственным разумным решением является $m = 5$, $M(\mathbf{Y}) = 51$ г/моль, $\mathbf{Y} = \mathbf{V}$.

3. Пирролюзит (минерал MnO_2) окисляется кислородом в щелочном расплаве с образованием манганата(VI) калия – K_2MnO_4 . При нагревании расплава KOH с K_2MnO_4 без доступа кислорода постепенно образуется гипоманганат калия голубого цвета – K_3MnO_4 .

Электролиз щелочного раствора K_2MnO_4 – основной способ промышленного получения перманганата калия. В кислой среде манганат(VI) быстро диспропорционирует на оксид марганца(IV) и перманганат-ион.

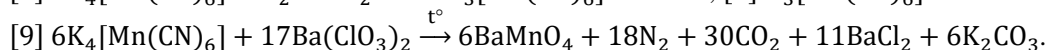
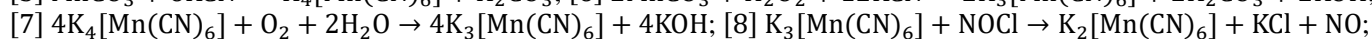
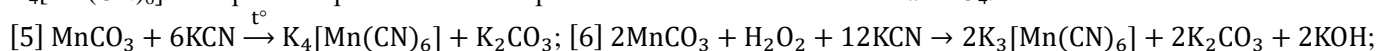


Исходя из массовой доли кислорода, можно вычислить формулу \mathbf{X}_5 :

$$\omega(\text{O}) = \frac{16n}{M(\mathbf{X}_5)} = 0,4174, M(\mathbf{X}_5) = 38,33n \text{ г/моль}. \text{ При } n = 3, \text{ получаем целую } M(\mathbf{X}_5) = 115 \text{ г/моль}.$$

При вычитании молярной массы одного атома марганца и трех атомов кислорода получаем, что молярная масса остатка равняется 12 г/моль. Тогда $\mathbf{X}_5 = \text{MnCO}_3$ (родохрозит).

При кипячении карбоната марганца(II) с цианидом калия образуется гексацианоманганат(II) калия, который окисляется на влажном воздухе до гексацианоманганата(III) калия. При действии сильного окислителя (NOCl) в неводном растворителе (DMF) на красный $\text{K}_3[\text{Mn}(\text{CN})_6]$ можно получить желтый $\text{K}_2[\text{Mn}(\text{CN})_6]$. При сплавлении $\text{K}_4[\text{Mn}(\text{CN})_6]$ с хлоратом бария возможно образование синего пигмента – BaMnO_4 :



На состав комплексов \mathbf{X}_7 , \mathbf{X}_9 можно выйти при помощи данных о выходах и массах.

Расчет состава \mathbf{X}_7 . Предположим, что в состав \mathbf{X}_7 входит только один атом марганца, тогда с учетом выхода получим его молярную массу:

$$0,6 \cdot n(\text{MnCO}_3) = n(\mathbf{X}_7) = \frac{0,6 \cdot 2,34}{M(\text{MnCO}_3)} = \frac{4}{M(\mathbf{X}_7)}, M(\mathbf{X}_7) = 328 \text{ г/моль}.$$

Представив формулу \mathbf{X}_7 как $\text{K}_x[\text{Mn}(\text{CN})_y]$, закончим расчет состава этого комплекса: $328 = 39x + 26y + 55$.

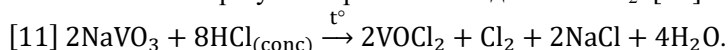
Единственным целым решением является набор $x = 3$, $y = 6$. Значит $\mathbf{X}_7 = \text{K}_3[\text{Mn}(\text{CN})_6]$.

Расчет состава \mathbf{X}_9 . Бесцветным бинарным газом, который выделяется в ходе описанной реакции, может быть только NO . При этом количество вещества этого газа скорее всего равняется количеству вещества, прореагировавшего NOCl . Тогда с учетом выхода рассчитаем стехиометрическое соотношение, в котором реагируют $\text{K}_3[\text{Mn}(\text{CN})_6]$ и NOCl .

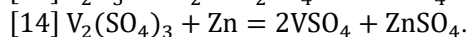
$$n(\text{NOCl}) = n(\text{NO}) = \frac{pV}{RT} = \frac{10^5 \cdot 0,26 \cdot 10^{-3}}{8,314 \cdot 298} = 0,0105 \text{ моль}, n(\text{K}_3[\text{Mn}(\text{CN})_6])_{\text{прореаг}} = \frac{4 \cdot 0,86}{328} = 0,0105 \text{ моль}.$$

Поскольку вещества $\text{K}_3[\text{Mn}(\text{CN})_6]$ и NOCl реагируют в соотношении 1:1, а NOCl является одноэлектронным окислителем, то нетрудно понять, что $\mathbf{X}_9 = \text{K}_2[\text{Mn}(\text{CN})_6]$. При этом состав \mathbf{X}_9 можно подтвердить аналогично предыдущему пункту: $M(\mathbf{X}_9) = \frac{3 \cdot M(\text{K}_3[\text{Mn}(\text{CN})_6])}{4 \cdot 0,86} \approx 289 \text{ г/моль}$.

В первом пункте мы рассчитали, что $\mathbf{Y} = \mathbf{V}$ и получили, что $\mathbf{Y}_1 = \mathbf{V}$ (простое в-во). Подвергая металлический ванадий окислительной щелочной плавке, можно получить ванадат(V) натрия, который при кипячении с концентрированной соляной кислотой образует хлористый ванадил – VOCl_2 . [10] $2\text{V} + 5\text{NaNO}_3 + 2\text{NaOH} \xrightarrow{t^\circ} 2\text{NaVO}_3 + 5\text{NaNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$;



В п. 1 было получено, что в \mathbf{Y}_4 ванадий проявляет высшую с.о., которая равна +5, значит $\mathbf{Y}_4 = \text{V}_2\text{O}_5$. Сернистый газ восстанавливает V_2O_5 в кислой среде до сульфата ванадила, который при помощи гидразина можно восстановить до $\text{V}_2(\text{SO}_4)_3$. При взаимодействии V^{+3} с атомарным водородом (который образуется при взаимодействии цинка с серной кислотой) можно получить раствор, содержащий V^{+2} , акваионы ионы которого придают раствору бледно-фиолетовый цвет:



Состав \mathbf{Y}_5 можно подтвердить расчетом:

$$\omega(\mathbf{Y}) = \frac{n \cdot M(\mathbf{Y})}{M(\mathbf{Y}_5)} = 1 - \omega(\text{O}) = 0,5092, M(\mathbf{Y}) = M(\text{V}) = 51 \text{ г/моль}, M(\mathbf{Y}_5) = 163n.$$

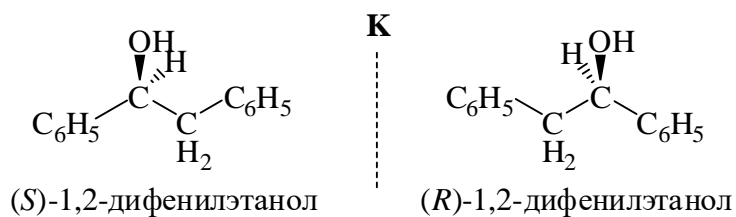
Предполагая наличие сульфат-иона в составе \mathbf{Y}_5 и количество атомов ванадия равным единице, находим, что молярная масса остатка равняется молярной массе кислорода. Следовательно, $\mathbf{Y}_5 = \text{VOSO}_4$.

Для удобства формулы зашифрованных соединений сведены в таблицу:

Шифр	\mathbf{X}_1	\mathbf{X}_2	\mathbf{X}_3	\mathbf{X}_4	\mathbf{X}_5	\mathbf{X}_6
Формула	MnO_2	K_2MnO_4	K_3MnO_4	KMnO_4	MnCO_3	$\text{K}_4[\text{Mn}(\text{CN})_6]$
Шифр	\mathbf{X}_7	\mathbf{X}_8	\mathbf{X}_9	\mathbf{Y}_1	\mathbf{Y}_2	\mathbf{Y}_3
Формула	$\text{K}_3[\text{Mn}(\text{CN})_6]$	BaMnO_4	$\text{K}_2[\text{Mn}(\text{CN})_6]$	V	NaVO_3	VOCl_2
Шифр	\mathbf{Y}_4	\mathbf{Y}_5	\mathbf{Y}_6	\mathbf{Y}_7	-	-
Формула	V_2O_5	VOSO_4	$\text{V}_2(\text{SO}_4)_3$	VSO_4	-	-

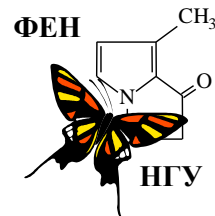
группе бензальдегида **A**. Циангидрины являются предшественниками важных классов соединений – α-гидроокислот и β-аминоспиртов. Так при кислотном гидролизе нитрильной группы соединения **L** образуется миндальная кислота **N**, а восстановление **L** водородом на палладиевом катализаторе приводит к получению 2-амино-1-фенилэтанола **M**.

4. Из соединений **A-O** асимметрический атом углерода содержат вещества **K-O**. Пары энантиомеров соединения **K** выглядят следующим образом.



Система оценивания:

1. Фамилия ученого 1 б.	1 б.
2. Структурные формулы веществ A-O по 1 б.	1*15 = 15 б
3. Названия веществ A-H по 1 б.	1*8 = 8 б
4. Хиральные соединения K-O по 1 б. (неверное соединение – штраф -1 б., но в целом за этот вопрос не меньше нуля баллов), формулы энантиомеров по 1 б	1*5+1*2 = 7 б
Всего:	31 балл.

**Задание 1. (автор Н.В. Рубан).**

1. Обозначим массу легкой субъединицы за x . Тогда масса тяжелой субъединицы составит $2*x$. Антитела IgG состоят из двух тяжелых и двух легких субъединиц, а их общая масса составляет 150 кДа: $150 = 2*x + 2*2*x = 6*x \Rightarrow x = 25$ кДа – масса легкой цепи. Масса тяжелой цепи $25*2 = 50$ кДа.

2. Пусть масса лейцина составляет 100 г, тогда масса углерода в его составе – 54,9 г. Количество моль $n(C) = 54,9/12 = 4,575$ моль. Аналогично вычислим количество моль H, O и N: $n(H) = 9,91/1 = 9,91$ моль; $n(O) = 24,3/16 = 1,519$ моль; $n(N) = 0,764$ моль.

Количество атомов $N = N_A * n \Rightarrow$ соотношение атомов в молекуле равно соотношению их молей. Вычислим соотношение молей C:H:O:N, поделив на $n(N)$:

$n(C)/n(N) = 6$; $n(H)/n(N) = 13$; $n(O)/n(N) = 2 \Rightarrow$ брутто формула лейцина: $C_6H_{13}NO_2$.

3. Наиболее известная трехосновная неорганическая кислота, соединения которой могут входить в состав живых организмов – фосфорная. Если предположить, что вещество **W** является бинарным и в его состав входят только фосфор и водород, то массовая доля фосфора составит 91,2. Тогда молекулярная масса вещества **W** составит $M(W) = 31/0,912 = 34 \Rightarrow$ вещество **W** – PH_3 (фосфин).

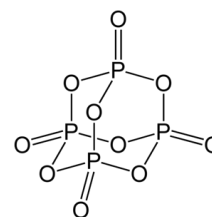
Аналогично вычислим массу вещества **U**: $M(U) = 31/0,2255 = 137,5 \Rightarrow$ вещество **U** – PCl_3 .

Тогда вещество **X** – H_3PO_4 (ортофосфорная кислота), **Z** – P (фосфор), **Y** – P_4O_{10} (здесь можно P_2O_5 , оксид фосфора(V)).

Уравнения реакций: **1**: $4P + 5O_2 = P_4O_{10}$; **2**: $P_4O_{10} + 6H_2O = 4H_3PO_4$; **3**: $4P + 6HCl = 2PH_3 + 2PCl_3$;

4: $PH_3 + 8HNO_3 = H_3PO_4 + 8NO_2 + 4H_2O$.

Структурная формула P_4O_{10} приведена на рис. справа (структура P_2O_5 засчитывается за половину).



4. $\Delta E_2 = \Delta E_{\text{сумм.}} - \Delta E_1 = -46,5 + 30,5 = -16$ кДж/моль.

5. Количество моль АТФ составляет: $n = 40*1000/507 = 78,9$ моль. $E = \Delta E_{\text{сумм.}} * 78,9 = 3668$ кДж $\Rightarrow 1 = 3668/850 = 4,3$ км.

6. Сахара состоят из атомов C, H и O. Обозначим количество атомов кислорода в составе дезоксирибозы за x , тогда количество атомов кислорода в рибозе составляет $x+1$. Составим уравнения для массовых долей кислорода в каждом из сахаров:

$$w(O)_{\text{дезоксирибоза}} = 0,477 = \frac{16 * x}{16 * x + m}; \quad w(O)_{\text{рибоза}} = 0,533 = \frac{16 * (x + 1)}{16 * (x + 1) + m}$$

где m – суммарная масса атомов C и H в сахарах.

Выразим m через x , воспользовавшись уравнением для дезоксирибозы;

$$16x = 0,477*(16x + m) \Rightarrow m = 17,54x$$

и подставим в уравнение для выражения массовой доли кислорода в рибозе:

$$w(O)_{\text{рибоза}} = 0,53 = \frac{16 * (x + 1)}{16 * (x + 1) + 17,54x} \Rightarrow 1,87x = 7,472 \Rightarrow x = 3,99 \sim 4$$

Вычислим суммарную массу атомов C и H в рибозе и дезоксирибозе: $m = 17,54*x = 70$ г/моль.

Единственная комбинация атомов C и H, удовлетворяющая соотношению 1:2 и обладающая суммарной атомной массой 70 г/моль, это C_5H_{10} . Таким образом, формула дезоксирибозы – $C_5H_{10}O_4$, формула рибозы – $C_5H_{10}O_5$.

7. Уравнение прямой: $y = k*x + b$. По точке с концентрацией IgG = 0 определяем свободный член $b = 0,15$.

По координатам каждой из оставшихся точек вычисляем коэффициент $k = (y-b)/x$:

y	11,15	52,65	106,15
x	100	500	1000
k	0,11	0,105	0,106

Среднее значение $k_{\text{ср}} = (0,11 + 0,105 + 0,106)/3 = 0,107$.

Тогда в разбавленном образце плазмы крови Роберта содержится:

$x = (y-b)/k_{\text{ср}} = (73-0,15)/0,107 = 680,8$ нг/мл \Rightarrow с учетом разбавления общее содержание антител IgG к SARS-Cov-2 в плазме крови Роберта составляет $680,8*50 = 34040$ нг/мл = 0,0340 мг/мл.

Проведем аналогичные расчеты для других провакцинированных пациентов и получим, что в крови Алисы содержится 0,0373 мг/мл, в крови Софии – 0,0307 мг/мл, в крови Джереми – 0,0256 мг/мл, в крови Кэролайн – 0,0368 мг/мл, в крови Лэнса – 0,0382 мг/мл IgG к SARS-Cov-2.

8. Концентрация антител IgG в крови Роберта составляет 0,0340 мг/мл. 1 л = 1000 мл \Rightarrow Общая масса антител в его крови $m(\text{IgG}) = 5000*0,0340 = 170$ мг.

9. $V = \Delta C / \Delta t \Rightarrow V_1 (\text{Вася}) = (0,04 - 0,0395) / 31 = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ г}/(\text{л} \cdot \text{день})$. $V_2 (\text{Вася}) = (0,0395 - 0,038) / 31 = 4,8 \cdot 10^{-5} \text{ г}/(\text{л} \cdot \text{день})$.
 $V_{\text{ср}} (\text{Вася}) = (0,04 - 0,038) / 62 = 3,2 \cdot 10^{-5} \text{ г}/(\text{л} \cdot \text{день})$.

$V_1 (\text{Леша}) = (0,033 - 0,0318) / 31 = 3,9 \cdot 10^{-5} \text{ г}/(\text{л} \cdot \text{день})$. $V_2 (\text{Леша}) = (0,0318 - 0,031) / 31 = 2,6 \cdot 10^{-5} \text{ г}/(\text{л} \cdot \text{день})$.

$V_{\text{ср}} (\text{Леша}) = (0,033 - 0,031) / 62 = 3,2 \cdot 10^{-5} \text{ г}/(\text{л} \cdot \text{день})$.

10. По условию, молекулярная масса антител IgG составляет $\sim 150 \text{ кДа}$, т.е. около 150000 а.е.м. Значения концентраций в мг/мл и в г/л совпадают. Поделив содержание антител IgG к SARS-Cov-2 в плазме крови Леша в г/л на молярную массу, получим молярную концентрацию $C = 0,033 / 150000 = 2,2 \cdot 10^{-7} \text{ моль}/\text{л}$.

11. В XVIII веке было замечено, что люди, которые пострадали от менее вирулентной коровьей оспы, оказывались невосприимчивыми к натуральной оспе. 14 мая 1796 года Эдвард Дженнер проверил свою гипотезу, привив Джеймса Фиппса, восьмилетнего сына своего садовника. По тем временам это был революционный эксперимент: он привил коровью оспу мальчику и доказал, что тот стал невосприимчивым к натуральной оспе — последующие попытки (более двадцати) заразить мальчика человеческой оспой были безуспешными. Он соскрёб гной с пузырьков оспы на руках Сары Нельмес, доярки, которая заразилась коровьей оспой от коровы по имени Блоссом, и втёр его в две царапины на руке здорового ребёнка. Шкура той коровы теперь висит на стене медицинской школы Святого Георгия в Лондоне. Фиппс был 17-м случаем, описанным в первой статье Дженнера о вакцинации. Дженнер не мог поставить этот эксперимент на себе, так как знал, что сам он давно невосприимчив к натуральной оспе.

Система оценивания:

1. Расчёт средних масс субъединиц IgG по 1 б.	1*2 = 2 б.
2. Расчет брутто-формулы лейцина 2 б.	2 б.
3. Формулы веществ X, Y, W и Z по 1 б., уравнения реакций по 1 б. Структурная формула P_4O_{10} 1 б. (структура P_2O_5 0,5 б.)	1*4+1*4+1 = 9 б.
4. Расчет ΔE_2 2 б.	2 б.
5. Расчет расстояния, которое можно преодолеть 3 б.	3 б.
6. Расчет брутто-формул рибозы и дезоксирибозы по 2 б. Формула рибозы CH_2O 0 б.	2*2 = 4 б.
7. Вычисление коэффициента b 1 б., вычисление коэффициента k в каждой точке по 0,5 б., $k_{\text{ср}}$ 0,5 б., расчет концентрации антител с использованием b и $k_{\text{ср}}$ по 1,5 б. каждый (расчет без учета b минус (-) 0,5 б. каждый, по одному k без усреднения -0,5 б. каждый, ошибка в размерностях -0,5 б., расчет по точке с графика не более 0,5 б. каждый)	1+0,5*4+1,5*6 = 12 б.
8. Расчет общей массы IgG 2 б.	2 б.
9. Расчет скоростей по 0,5 б. за каждую	0,5*3*2 = 3 б.
10. Расчет молярной концентрации антител (моль/л) 2 б.	2 б.
11. Происхождение названия 1 б.	1 б.
Всего:	42 балла.

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

1. $m(\text{p-ра } 75) = 1000 \times 1,67 \times 1000 = 1,67 \times 10^6 \text{ г}$, $m(i, 75) = 1,67 \times 10^6 \times 0,75 = 1,2525 \times 10^6 \text{ г}$,

$m(i, 96) = m(i, 75) = 1,2525 \times 10^6 \text{ г}$, $m(\text{p-ра } 96) = 1,2525 \times 10^6 / 0,96 = 1,30469 \times 10^6 \text{ г}$.

$V(96) = 1,30469 \times 10^6 / 1,836 = 0,7106 \times 10^6 \text{ мл}$ или $0,7106 \text{ м}^3$.

$m(\text{H}_2\text{O}) = 1,67 \times 10^6 - 1,30469 \times 10^6 = 0,36531 \times 10^6 \text{ г}$, $V(\text{H}_2\text{O}) = 0,36531 \times 10^6 / 1 = 0,36531 \times 10^6 \text{ мл}$.

Нужно вливать концентрированную серную кислоту в воду, но никак не наоборот.

2. Пусть объём разбавленной кислоты равен $V_y \text{ мл}$.

$m(\text{p-ра } Y) = V_y \times \rho_y$, $m(i, Y) = V_y \times \rho_y \times Y \times 10^{-2}$.

$m(i, X) = m(i, Y) = V_y \times \rho_y \times Y \times 10^{-2}$, $m(\text{p-ра } X) = V_y \times \rho_y \times Y / X$. $V(X) = V_y \times \rho_y \times Y / (X \times \rho_x)$.

$m(\text{H}_2\text{O}) = V_y \times \rho_y - V_y \times \rho_y \times Y / X$, $V(\text{H}_2\text{O}) = V_y \times \rho_y - V_y \times \rho_y \times Y / (X \times 1)$, $V(X) / V(\text{H}_2\text{O}) = Y / (\rho_x \times (X - Y))$.

3. Проверим выведенную формулу по данным пункта 1.

$V(96) / V(\text{H}_2\text{O}) = 75 / (1,836 \times (96 - 75)) = 1,945 = 0,7106 \times 10^6 / 0,36531 \times 10^6$.

а) Для приготовления 10% раствора: $V(75) / V(\text{H}_2\text{O}) = 10 / (1,67 \times (75 - 10)) = 0,092$.

Для приготовления 6% раствора: $V(75) / V(\text{H}_2\text{O}) = 6 / (1,67 \times (75 - 6)) = 0,052$.

4. Молярная концентрация $C_M = \omega_i \cdot \rho / M_i = 0,1 \cdot 1066 / 98 = 1,088 \text{ моль}/\text{л}$.

5. Уравнение реакции: $2\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. $n_{\text{газа}} = \frac{110000 \times 10}{8,314 \times 333} = 397,318 \text{ моль}$. Рассчитаем начальные количества поглощаемых газов: $n_{\text{ам.}} = 397,318 \times 0,01 = 3,973 \text{ моль}$, $n_{\text{воды.}} = 397,318 \times 0,02 = 7,946 \text{ моль}$.

Рассчитаем поглощённые количества аммиака и воды:

$\Delta n_{\text{ам.}} = 3,873 \times 0,9 = 3,576 \text{ моль}$, $\Delta n_{\text{воды.}} = 7,946 \times 0,7 = 5,562 \text{ моль}$.

Рассчитаем количество прореагировавшей серной кислоты: $\Delta n_{\text{кислоты}} = 3,576 / 2 = 1,788 \text{ моль}$.

Пусть масса концентрированной кислоты x г. Тогда $m_{\text{кислоты}} = 0,75x \text{ г}$, а масса воды в ней: $m_j = 0,25x \text{ г}$.

Примем массу маточного раствора за y г. $m_{\text{кислоты мат.}} = 0,06y \text{ (г)}$.

Масса воды и соли (m_z) в маточном растворе составит: $m_z = 0,94y \text{ (г)}$.

Примем массу соли в маточном растворе за z (г), а массу воды за w (г), тогда $0,94y = z + w$.

$$S_{\text{соли}} = \frac{m(\text{соли}) \times 100}{m(\text{H}_2\text{O})}, 75,4 = \frac{z \times 100}{w}.$$

Решим систему:

$$w = 0,536y,$$

$$z = 0,404y.$$

Составим баланс по воде маточного раствора: $m(\text{H}_2\text{O}_{\text{мат.}}) = m(\text{H}_2\text{O}_{\text{кислоты 75\%}}) + \Delta m(\text{H}_2\text{O}_{\text{газа}})$,
 $0,536y = 0,25x + 5,562 \times 18$, $0,536y = 0,25x + 100,116$.

Составим баланс по серной кислоте: $m_{\text{кислоты}} = \Delta m_{\text{кислоты}} + m_{\text{кислоты мат.}}$, $0,75x = 1,788 \times 98 + 0,06y$.

Решим систему уравнений:

$$0,536y = 0,25x + 100,116$$

$$0,75x = 175,224 + 0,06y.$$

$$x = 258,209 \text{ г. } y = 307,217 \text{ г.}$$

Найдём объём 75% кислоты: $V(75\% \text{ кислоты}) = 258,209/1,67 = 154,616 \text{ мл.}$

Найдём массу выпавших кристаллов соли, составив баланс соли:

$$\Delta n((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = n((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \text{ мат.}) + n_{\text{крис.}}, \Delta n((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = \Delta n_{\text{кислоты}} = 1,788 \text{ моль,}$$

$$n((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \text{ мат.}) = 0,404 \times 307,217/132 = 0,940 \text{ моль,}$$

$$n_{\text{крис.}} = 1,788 - 0,94 = 0,848 \text{ моль, } m_{\text{крис.}} = 0,848 \times 132 = 111,90 \text{ г.}$$

6. Уравнения реакций: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = \text{NH}_4\text{HSO}_4 + \text{NH}_3$, $\text{NH}_4\text{HSO}_4 + \text{NH}_3 = (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$,



Поскольку что сульфат аммония сокристаллизуется с сульфатами металлов в мольном отношении 1:1, общая формула шенитов будет $(\text{NH}_4)_2\text{M}(\text{SO}_4)_2 \cdot w_1\text{H}_2\text{O}$, а квасцов $(\text{NH}_4)_2\text{M}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot w_2\text{H}_2\text{O}$. Вычислим w_1 и w_2 .

По условию, в шенитах $\text{H}/\text{O} = 10/7 = (8+2w_1)/(8+w_1)$, откуда $w_1 = 6$. Общая формула шенитов $(\text{NH}_4)_2\text{M}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.
 В квасцах $\text{H}/\text{O} = 7/5 = (8+2w_2)/(16+w_2)$, откуда $w_2 = 24$. Общая формула квасцов $(\text{NH}_4)_2\text{M}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ или, если сократить индексы в два раза, $(\text{NH}_4)\text{M}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$.

7. Уравнения реакций: 1) $4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 \xrightarrow{\text{kt, t}} 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$, 2) $4\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 = 2\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$,

3) $\text{NH}_3 + \text{HCl} = \text{NH}_4\text{Cl}$, 4) $4\text{NH}_3 + 3\text{SO}_2 = 2\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + 3\text{S}$, 5) $2\text{NH}_3 + 3\text{CuO} = 3\text{Cu} + 3\text{H}_2\text{O} + \text{N}_2$.

8. Уравнения реакций: 6) $\text{NH}_3 + \text{HClO}_3 = \text{NH}_4\text{ClO}_3$, 7) $3\text{NH}_3 + 3\text{H}_2\text{O} + \text{GaCl}_3 = \text{Ga}(\text{OH})_3 + 3\text{NH}_4\text{Cl}$,

8) $2\text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{CuSO}_4 \text{ изб.} = (\text{CuOH})_2\text{SO}_4 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 9) $2\text{NH}_3 + 2\text{KMnO}_4 = 2\text{MnO}_2 + \text{N}_2 + 2\text{KOH} + 2\text{H}_2\text{O}$.

Система оценивания:

1. Объемы кислоты и воды по 2 б., порядок смешивания 1 б.	2*2+1 = 5 б.
2. Вывод формулы 3 б.	3 б.
3. Проверка формулы 1 б., соотношения по 1 б.	1+1*2 = 3 б.
4. Концентрация кислоты 2 б.	2 б.
5. Уравнение реакции 1 б., объем кислоты 10 б. ($n_{\text{газа}}$ 1 б., $\Delta n_{\text{ам}}$ 1 б., $\Delta n_{\text{воды}}$ 1 б., $\Delta n_{\text{кислоты}}$ 1 б., $\Delta m(\text{H}_2\text{O}_{\text{газа}})$ 1 б., $V(75\% \text{ кислоты})$ 5 б.), масса сульфата аммония 5 б. ($\Delta n((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$ или $\Delta m((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$ 1 б., $n((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \text{ мат.})$ или $m((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \text{ мат.})$ 2 б., $m_{\text{крис.}}$ 2 б.)	1+10+5 = 16 б.
6. Уравнения реакций по 1 б., общие формулы по 2 б.	1*3+2*2 = 7 б.
7-8. Уравнения реакций по 1 б.	1*9 = 9 б.
Всего:	45 баллов.

Задание 3. (автор А.С. Романов).

1. Одним из возможных решений является ряд:

Цвет	Красный	Оранжевый	Желтый	Зеленый	Голубой	Синий	Фиолетовый
Соединение	CoSO_4	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	K_2CrO_4	$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$	CrCl_2^*	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2^*$	TiCl_3

* Отличие синего цвета от голубого довольно субъективно, поэтому за правильный ответ принимаются все вещества, водные растворы которых обладают цветом от синего до голубого.

2. Начнем решение с расчета молярных масс элементов X и Y.

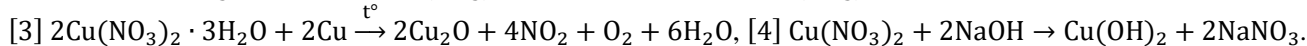
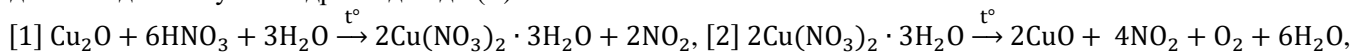
Определение элемента X. В условии задачи указано, что вещества X_1 , X_3 являются бинарными, содержат кислород и являются одними из основных компонентов оксидных минералов. Значит вещества X_1 , X_3 являются оксидами, поэтому для расчета будем представлять их формулы как X_2O_n . Воспользуемся массовой долей кислорода в X_1 : $\omega(\text{X}) = \frac{2M(\text{X})}{16n+2M(\text{X})} = 1 - 0,1111 = 0,8889$. $M(\text{X}) = 64n$, где n – степень окисления элемента X.

Единственное разумное решение получаем при: $n = 1$, $M(\text{X}) = 64 \text{ г/моль}$, $\text{X} = \text{Cu}$.

Определение элемента Y: По условию задачи, Y_1 является металлом, который сгорает в хлоре с образованием хлорида Y_4 с известной прибавкой к массе. Рассчитаем молярную массу элемента Y, представив формулу Y_4 как YCl_n : $M(\text{Y}) = \frac{35,5n}{1,902} \Rightarrow M(\text{Y}) = 18,66n$. $M(\text{Y}) = 18,66n$, где n – степень окисления элемента Y. Единственным подходящим решением является: $n = 3$, $M(\text{Y}) = 56 \text{ г/моль}$, $\text{Y} = \text{Fe}$.

3. Куприт (минерал Cu_2O) окисляется азотной кислотой с образованием ярко-синего раствора нитрата меди (II), который при упаривании раствора выпадает в виде тригидрата. При нагревании твердого тригидрата нитрата меди (II) происходит разложение с образованием черного CuO (осн. комп. минерала тенорита), который при сплавлении с металлической медью образует кирпично-красный Cu_2O . При действии натриевой щелочи на нитрат меди (II) в

осадок выпадает голубой гидроксид меди (II):



При помощи массовой доли кислорода можно получить формулу X_2 :

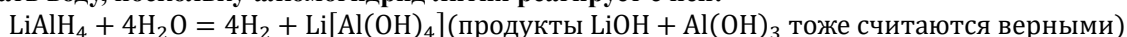
$$\omega(\text{O}) = \frac{16n}{M(\text{X}_2)} = 0,5950. M(\text{X}_2) = 26,89n \text{ г/моль.}$$

При $n = 9$, получаем целую $M(\text{X}_2) = 242 \text{ г/моль}$. При вычитании молярной массы девяти атомов кислорода, атома меди и двух атомов азота получаем, что молярная масса остатка равняется 6 г/моль , что соответствует шести атомам водорода. Тогда $\text{X}_2 = \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

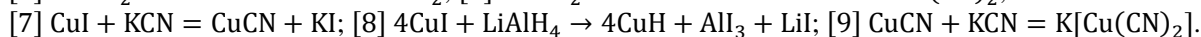
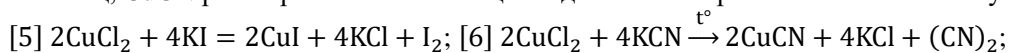
Поскольку X_6 является продуктом реакции X_4 с соляной кислотой, то оно содержит хлорид меди (II) и скорее всего является кристаллогидратом, так как имеет в своем составе кислород. Рассчитаем формулу вещества X_6 :

$$\omega(\text{O}) = \frac{16n}{135+18n} = 0,1871 \Rightarrow n = 2. \text{X}_6 = \text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}.$$

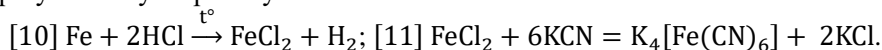
Ион меди $2+$ является слабым окислителем в водном растворе и окисляет иодид-ион до молекулярного иода, а при нагревании с раствором цианида калия окисляет и его до ядовитого газа дициана. Движущей силой этих реакций является образование нерастворимых CuI и CuCN соответственно. CuCN менее растворим, чем CuI , поэтому протекает реакция ионного обмена. Из иодида меди (I) может быть получен гидрид меди (I) при действии на него избытком пиридин-эфирного раствора алюмогидрида лития. **В качестве растворителя нельзя использовать воду, поскольку алюмогидрид лития реагирует с ней:**



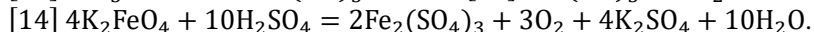
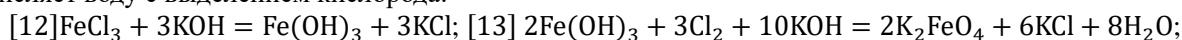
Наконец, CuCN растворяется в избытке цианида калия с образованием соответствующей комплексной соли:



В первом пункте мы рассчитали, что $\text{Y} = \text{Fe}$ и получили, что $\text{Y}_1 = \text{Fe}$ (простое в-во). Растворяя железо в соляной кислоте, можно получить хлорид железа (II), который при взаимодействии с избытком раствора цианида калия образует желтую кровяную соль:



В п. 2 было получено, что в Y_4 железо принимает с.о. равную $+3$, значит $\text{Y}_4 = \text{FeCl}_3$. Химическая реакция между FeCl_3 и KOH приводит к образованию оранжевого (ржавого) осадка $\text{Fe}(\text{OH})_3$, который постепенно реагируя с хлором и калиевой щелочью постепенно растворяется с образованием K_2FeO_4 , который в кислой среде быстро окисляет воду с выделением кислорода:



$$\text{Состав } \text{Y}_7 \text{ можно подтвердить расчетом: } \omega(\text{O}) = \frac{n \cdot M(\text{O})}{M(\text{Y}_7)} = 0,4800. M(\text{Y}_7) = 33,33n.$$

Предполагая наличие сульфат-иона в составе Y_7 , находим, что при наличии трех сульфат-ионов молярная масса $\text{Y}_7 = 400 \text{ г/моль}$. Следовательно, $\text{Y}_7 = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$.

Для удобства, формулы зашифрованных соединений сведены в таблицу:

Шифр	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
Формула	Cu_2O	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	CuO	$\text{Cu}(\text{OH})_2$	Cu	$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Шифр	X_7	X_8	X_9	X_{10}	Y_1	Y_2
Формула	CuI	CuCN	CuH	$\text{K}[\text{Cu}(\text{CN})_2]$	Fe	FeCl_2
Шифр	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	-
Формула	$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	FeCl_3	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	K_2FeO_4	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	-

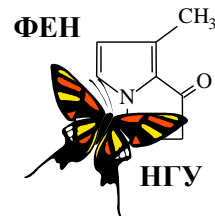
4. Возможный ряд соединений представлен в таблице:

Цвет	Красный	Оранжевый	Желтый	Зеленый	Голубой	Синий	Фиолетовый
Соединение	Cu_2O CuH	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{Cu}(\text{OH})_2$	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	K_2FeO_4

5. Слово Rain в переводе на русский язык означает дождь. Явление радуги как раз можно наблюдать до или после дождя. Еще один вариант связи: «Rain» - это часть английского слова «Rainbow», которое и обозначает радугу.

Система оценивания:

1. Правильный подбор одного раствора к каждому цвету по 1 б.	1*7 = 7 б.
2. Символы элементов X и Y – по 2 б., формулы веществ $\text{X}_1 - \text{X}_{10}$, $\text{Y}_1 - \text{Y}_7$ по 1 б.	2*2 + 1*17 = 21 б.
3. Уравнения реакций по 1 б., алюмогидрид реагирует с водой 1 б., это уравнение 1 б.	1*14 + 1 + 1 = 16 б.
4. Правильный подбор одного вещества к каждому цвету по 1 б. (неправильный -0,5 б., но в сумме не меньше нуля баллов за пункт)	1*7 = 7 б.
5. Связь с радугой 1 б.	1 б.
Всего:	52 балла.

**Задание 1. (автор Н.В. Рубан).**

1. Обозначим массу легкой субъединицы за x . Тогда масса тяжелой субъединицы составит $2 \cdot x$. Антитела IgG состоят из двух тяжелых и двух легких субъединиц, а их общая масса составляет 150 кДа: $150 = 2 \cdot x + 2 \cdot 2 \cdot x = 6 \cdot x \Rightarrow x = 25$ кДа – масса легкой цепи. Масса тяжелой цепи $25 \cdot 2 = 50$ кДа.

2. Пусть масса лейцина составляет 100 г, тогда масса углерода в его составе – 54,9 г. Количество моль $n(C) = 54,9/12 = 4,575$ моль. Аналогично вычислим количество моль H, O и N: $n(H) = 9,91/1 = 9,91$ моль; $n(O) = 24,3/16 = 1,519$ моль; $n(N) = 0,764$ моль.

Количество атомов $N = N_A \cdot n \Rightarrow$ соотношение атомов в молекуле равно соотношению их молей. Вычислим соотношение молей C:H:O:N, поделив на $n(N)$:

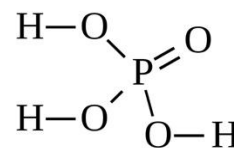
$n(C)/n(N) = 6$; $n(H)/n(N) = 13$; $n(O)/n(N) = 2 \Rightarrow$ брутто формула лейцина: $C_6H_{13}NO_2$.

3. Наиболее известная трехосновная неорганическая кислота, соединения которой могут входить в состав живых организмов – фосфорная. Поскольку кислота 3-х основная $n(H) = 3 \Rightarrow M(X) = 3/0,0306 = 98$ г/моль $\Rightarrow X = H_3PO_4$. Тогда вещество **Z** – фосфор P, **Y** – оксид фосфора(V) P_2O_5 , **Q** – пентахлорид фосфора PCl_5 , **X** – ортофосфорная кислота H_3PO_4 .

Уравнения реакций: **1:** $4P + 5O_2 = P_4O_{10}$ (или $2 P_2O_5$); **2:** $P_4O_{10} + 6H_2O = 4H_3PO_4$,

3: $2P + 5Cl_2 = 2PCl_5$, **4:** $PCl_5 + 4H_2O = H_3PO_4 + 5HCl$.

Структурная формула H_3PO_4 приведена на рис. справа.



4. $\Delta E_2 = \Delta E_{\text{сумм.}} - \Delta E_1 = -46,5 + 30,5 = -16$ кДж/моль.

5. Количество моль АТФ составляет: $n = 40 \cdot 1000/507 = 78,9$ моль. $E = \Delta E_{\text{сумм.}} \cdot 78,9 = 3668$ кДж $\Rightarrow l = 3668/850 = 4,3$ км.

6. Сахара состоят из атомов C, H и O. Обозначим количество атомов кислорода в составе дезоксирибозы за x , тогда количество атомов кислорода в рибозе составляет $x+1$. Составим уравнения для массовых долей кислорода в каждом из сахаров:

$$w(O)_{\text{дезоксирибоза}} = 0,477 = \frac{16 \cdot x}{16 \cdot x + m}; \quad w(O)_{\text{рибоза}} = 0,533 = \frac{16 \cdot (x + 1)}{16 \cdot (x + 1) + m}$$

где m – суммарная масса атомов C и H в сахарах.

Выразим m через x , воспользовавшись уравнением для дезоксирибозы;

$$16x = 0,477 \cdot (16x + m) \Rightarrow m = 17,54x$$

и подставим в уравнение для выражения массовой доли кислорода в рибозе:

$$w(O)_{\text{рибоза}} = 0,53 = \frac{16 \cdot (x + 1)}{16 \cdot (x + 1) + 17,54x} \Rightarrow 1,87x = 7,472 \Rightarrow x = 3,99 \sim 4$$

Вычислим суммарную массу атомов C и H в рибозе и дезоксирибозе: $m = 17,54 \cdot x = 70$ г/моль.

Единственная комбинация атомов C и H, удовлетворяющая соотношению 1:2 и обладающая суммарной атомной массой 70 г/моль, это C_5H_{10} . Таким образом, формула дезоксирибозы – $C_5H_{10}O_4$, формула рибозы – $C_5H_{10}O_5$.

7. Уравнение прямой: $y = k \cdot x + b$. По точке с концентрацией IgG = 0 определяем свободный член $b = 0,15$.

По координатам каждой из оставшихся точек вычисляем коэффициент $k = (y-b)/x$:

y	11,15	52,65	106,15
x	100	500	1000
k	0,11	0,105	0,106

Среднее значение $k_{\text{ср}} = (0,11 + 0,105 + 0,106)/3 = 0,107$.

Тогда в разбавленном образце плазмы крови Роберта содержится:

$x = (y-b)/k_{\text{ср}} = (73-0,15)/0,107 = 680,8$ нг/мл \Rightarrow с учетом разбавления общее содержание антител IgG к SARS-Cov-2 в плазме крови Роберта составляет $680,8 \cdot 50 = 34040$ нг/мл = 0,0340 мг/мл.

Проведем аналогичные расчеты для других привакцинированных пациентов и получим, что в крови Алисы содержится 0,0373 мг/мл, в крови Софии – 0,0307 мг/мл, в крови Джереми – 0,0256 мг/мл, в крови Кэролайн – 0,0368 мг/мл, в крови Лэнса – 0,0382 мг/мл IgG к SARS-Cov-2.

8. Концентрация антител IgG в крови Роберта составляет 0,0340 мг/мл. 1 л = 1000 мл \Rightarrow Общая масса антител в его крови $m(\text{IgG}) = 5000 \cdot 0,0340 = 170$ мг.

9. $V = \Delta C/\Delta t \Rightarrow V_1(\text{Вася}) = (0,04 - 0,0395)/31 = 1,6 \cdot 10^{-5}$ г/(л*день). $V_2(\text{Вася}) = (0,0395 - 0,038)/31 = 4,8 \cdot 10^{-5}$ г/(л*день). $V_{\text{ср}}(\text{Вася}) = (0,04 - 0,038)/62 = 3,2 \cdot 10^{-5}$ г/(л*день).

$V_1(\text{Леша}) = (0,033 - 0,0318)/31 = 3,9 \cdot 10^{-5}$ г/(л*день). $V_2(\text{Леша}) = (0,0318 - 0,031)/31 = 2,6 \cdot 10^{-5}$ г/(л*день).

$V_{\text{ср}}(\text{Леша}) = (0,033 - 0,031)/62 = 3,2 \cdot 10^{-5}$ г/(л*день).

10. По условию, молекулярная масса антител IgG составляет ~ 150 кДа, т.е. около 150000 а.е.м. Значения концентраций в мг/мл и в г/л совпадают. Поделив содержание антител IgG к SARS-Cov-2 в плазме крови Леши в г/л на молярную массу, получим молярную концентрацию $C = 0,033/150000 = 2,2 \cdot 10^{-7}$ моль/л.

11. В XVIII веке было замечено, что люди, которые пострадали от менее вирулентной коровьей оспы, оказывались невосприимчивыми к натуральной оспе. 14 мая 1796 года Эдвард Дженнер проверил свою гипотезу, привив Джеймса Фиппса, восьмилетнего сына своего садовника. По тем временам это был революционный эксперимент: он привил коровью оспу мальчику и доказал, что тот стал невосприимчивым к натуральной оспе — последующие попытки (более двадцати) заразить мальчика человеческой оспой были безуспешными. Он соскрёб гной с пузырьков оспы на руках Сары Нельмес, доярки, которая заразилась коровьей оспой от коровы по имени Блоссом, и втёр его в две царапины на руке здорового ребёнка. Шкура той коровы теперь висит на стене медицинской школы Святого Георгия в Лондоне. Фиппс был 17-м случаем, описанным в первой статье Дженнера о вакцинации. Дженнер не мог поставить этот эксперимент на себе, так как знал, что сам он давно невосприимчив к натуральной оспе.

Система оценивания:

1. Расчёт средних масс субъединиц IgG по 1 б.	1*2 = 2 б.
2. Расчет брутто-формулы лейцина 2 б.	2 б.
3. Формулы веществ X, Y, Q и Z по 1 б., уравнения реакций по 1 б. Структурная формула H ₃ PO ₄ 1 б.	1*4+1*4+1 = 9 б.
4. Расчет ΔE ₂ 2 б.	2 б.
5. Расчет расстояния, которое можно преодолеть 3 б.	3 б.
6. Расчет брутто-формул рибозы и дезоксирибозы по 2 б. Формула рибозы CH ₂ O 0 б.	2*2 = 4 б.
7. Вычисление коэффициента b 1 б., вычисление коэффициента k в каждой точке по 0,5 б., k _{ср} 0,5 б., расчет концентрации антител с использованием b и k _{ср} по 1,5 б. каждый (расчет без учета b минус (-) 0,5 б. каждый; по одному k без усреднения -0,5 б. каждый; ошибка в размерностях -0,5 б., расчет по точке с графика не более 0,5 б. каждый).	1+0,5*4+1,5*6 = 12 б.
8. Расчет общей массы IgG 2 б.	2 б.
9. Расчет скоростей по 0,5 б. за каждую	0,5*3*2 = 3 б.
10. Расчет молярной концентрации антител (моль/л) 2 б.	2 б.
11. Происхождение названия 1 б.	1 б.
Всего:	42 балла.

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

1. $m(p-ра\ 75) = 1000 \times 1,67 \times 1000 = 1,67 \times 10^6$ г, $m(i,75) = 1,67 \times 10^6 \times 0,75 = 1,2525 \times 10^6$ г,
 $m(i,96) = m(i,75) = 1,2525 \times 10^6$ г, $m(p-ра96) = 1,2525 \times 10^6 / 0,96 = 1,30469 \times 10^6$ г.
 $V(96) = 1,30469 \times 10^6 / 1,836 = 0,7106 \times 10^6$ мл или $0,7106$ м³.
 $m(H_2O) = 1,67 \times 10^6 - 1,30469 \times 10^6 = 0,36531 \times 10^6$ г, $V(H_2O) = 0,36531 \times 10^6 / 1 = 0,36531 \times 10^6$ мл.
 Нужно вливать концентрированную серную кислоту в воду, но никак не наоборот.

2. Пусть объём разбавленной кислоты равен V_y мл.
 $m(p-раY) = V_y \times \rho_y$, $m(i,Y) = V_y \times \rho_y \times Y \times 10^{-2}$.
 $m(i,X) = m(i,Y) = V_y \times \rho_y \times Y \times 10^{-2}$, $m(p-раX) = V_y \times \rho_y \times Y / X$. $V(X) = V_y \times \rho_y \times Y / (X \times \rho_x)$.
 $m(H_2O) = V_y \times \rho_y - V_y \times \rho_y \times Y / X$, $V(H_2O) = V_y \times \rho_y - V_y \times \rho_y \times Y / (X \times 1)$, $V(X) / V(H_2O) = Y / (\rho_x \times (X - Y))$.

3. Проверим выведенную формулу по данным пункта 1.
 $V(96) / V(H_2O) = 75 / (1,836 \times (96 - 75)) = 1,945 = 0,7106 \times 10^6 / 0,36531 \times 10^6$.
 а) Для приготовления 10% раствора: $V(75) / V(H_2O) = 10 / (1,67 \times (75 - 10)) = 0,092$.
 Для приготовления 6% раствора: $V(75) / V(H_2O) = 6 / (1,67 \times (75 - 6)) = 0,052$.

4. Молярная концентрация $C_M = \omega_i \cdot \rho / M_i = 0,1 \cdot 1066 / 98 = 1,088$ моль/л.

5. Уравнение реакции: $2NH_3 + H_2SO_4 = (NH_4)_2SO_4$.
 $n_{газа} = 10000 / 25,17 = 397,3$ моль. Рассчитаем начальные количества поглощаемых газов:
 $n_{ам.} = 397,3 \times 0,01 = 3,973$ моль, $n_{воды.} = 397,3 \times 0,02 = 7,946$ моль.
 Рассчитаем поглощённые количества аммиака и воды:
 $\Delta n_{ам} = 3,873 \times 0,9 = 3,576$ моль, $\Delta n_{воды} = 7,946 \times 0,7 = 5,562$ моль.
 Рассчитаем количество прореагировавшей серной кислоты: $\Delta n_{кислоты} = 3,576 / 2 = 1,788$ моль.
 Масса кислоты составит: $m_{кислоты} = 98 \times 1,788 = 175,210$ (г), $m_{75\%р-ра} = 175,210 / 0,75 = 233,612$ (г).
 Масса воды составит: $m(H_2O_{кислоты\ 75\%}) = 233,612 \times 0,25 = 58,403$ г.
 Найдём объём 75% кислоты: $V(75\% \text{ кислоты}) = 233,612 / 1,67 = 139,90$ мл.
 Составим баланс по воде маточного раствора:
 $m(H_2O_{мат.}) = m(H_2O_{кислоты\ 75\%}) + \Delta m(H_2O_{газа})$, $m(H_2O_{мат.}) = 58,403 + 5,562 \times 18 = 158,519$ г.
 $m((NH_4)_2SO_4 \text{ мат.}) = 0,754 \times 158,519 = 119,523$ г, $m_{мат.} = 158,519 + 119,523 = 278,042$ г.
 Найдём массу выпавших кристаллов соли, составив баланс соли:

$\Delta n((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = n((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \text{ мат.}) + n_{\text{крис.}}$, $\Delta n((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = \Delta n_{\text{кислоты}} = 1,788$ моль,
 $n((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \text{ мат.}) = 119,523 / 132 = 0,906$ моль, $n_{\text{крис.}} = 1,788 - 0,906 = 0,883$ моль, $m_{\text{крис.}} = 0,883 \times 132 = 116,488$ г.

6. Уравнения реакций: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = \text{NH}_4\text{HSO}_4 + \text{NH}_3$, $\text{NH}_4\text{HSO}_4 + \text{NH}_3 = (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$,
 $3\text{NH}_4\text{HSO}_4 = 6\text{H}_2\text{O} + 3\text{SO}_2 + \text{N}_2 + \text{NH}_3$ или $3\text{NH}_4\text{HSO}_4 = \text{H}_2\text{O} + \text{SO}_3 + \text{NH}_3$.

Поскольку сульфат аммония сокристаллизуется с сульфатами металлов в мольном отношении 1:1, общая формула шёнитов будет $(\text{NH}_4)_2\text{M}(\text{SO}_4)_2 \cdot w_1\text{H}_2\text{O}$, а квасцов $(\text{NH}_4)_2\text{M}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot w_2\text{H}_2\text{O}$. Вычислим w_1 и w_2 .

По условию, в шёнитах $\text{H}/\text{O} = 10/7 = (8+2w_1)/(8+w_1)$, откуда $w_1 = 6$. Общая формула шёнитов $(\text{NH}_4)_2\text{M}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.
 В квасцах $\text{H}/\text{O} = 7/5 = (8+2w_2)/(16+w_2)$, откуда $w_2 = 24$. Общая формула квасцов $(\text{NH}_4)_2\text{M}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ или, если сократить индексы в два раза, $(\text{NH}_4)\text{M}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$.

7. Уравнения реакций: 1) $4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 \xrightarrow{\text{kt, t}} 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$, 2) $4\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 = 2\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$,
 3) $\text{NH}_3 + \text{HCl} = \text{NH}_4\text{Cl}$, 4) $4\text{NH}_3 + 3\text{SO}_2 = 2\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + 3\text{S}$, 5) $2\text{NH}_3 + 3\text{CuO} = 3\text{Cu} + 3\text{H}_2\text{O} + \text{N}_2$.

8. Уравнения реакций: 6) $\text{NH}_3 + \text{HClO}_3 = \text{NH}_4\text{ClO}_3$, 7) $3\text{NH}_3 + 3\text{H}_2\text{O} + \text{AlCl}_3 = \text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{NH}_4\text{Cl}$,
 8) $2\text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{CuSO}_4 \text{ изб.} = (\text{CuOH})_2\text{SO}_4 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 9) $2\text{NH}_3 + 2\text{KMnO}_4 = 2\text{MnO}_2 + \text{N}_2 + 2\text{KOH} + 2\text{H}_2\text{O}$.

Система оценивания:

1. Объемы кислоты и воды по 2 б., порядок смешивания 1 б.	2*2+1 = 5 б.
2. Вывод формулы 3 б.	3 б.
3. Проверка формулы 1 б., соотношения по 1 б.	1+1*2 = 3 б.
4. Концентрация кислоты 2 б.	2 б.
5. Уравнение реакции 1 б., объем кислоты 10 б. ($n_{\text{газа}}$ 1 б., $\Delta n_{\text{ам}}$ 2 б., $\Delta n_{\text{воды}}$ 2 б., $\Delta n_{\text{кислоты}}$ 2 б., $m_{\text{кислоты}}$ 1 б., $m_{75\% \text{ р-ра}}$ 1 б., $V(75\% \text{ кислоты})$ 1 б., масса сульфата аммония 5 б. ($m((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \text{ мат.})$ 2 б., $m_{\text{крис.}}$ 3 б.)	1+10+5 = 16 б.
6. Уравнения реакций по 1 б., общие формулы по 2 б.	1*3+2*2 = 7 б.
7-8. Уравнения реакций по 1 б.	1*9 = 9 б.
Всего:	45 баллов.

Задание 3. (автор А.С. Романов).

1. Одним из возможных решений является ряд:

Цвет	Красный	Оранжевый	Желтый	Зеленый	Голубой	Синий	Фиолетовый
Соединение	CoSO_4	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	K_2CrO_4	$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$	CrCl_2^*	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2^*$	TiCl_3

* Отличие синего цвета от голубого довольно субъективно, поэтому за правильный ответ принимаются все вещества, водные растворы которых обладают цветом от синего до голубого.

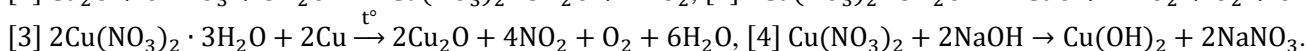
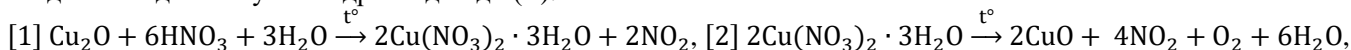
2. Начнем решение с расчета молярных масс элементов **X** и **Y**.

Определение элемента **X**. В условии задачи указано, что вещества **X**₁, **X**₃ являются бинарными, содержат кислород и являются одними из основных компонентов оксидных минералов. Значит вещества **X**₁, **X**₃ являются оксидами, поэтому для расчета будем представлять их формулы как **X**₂O_n. Воспользуемся массовой долей кислорода в **X**₁: $\omega(\text{X}) = \frac{2M(\text{X})}{16n+2M(\text{X})} = 1 - 0,1111 = 0,8889$. $M(\text{X}) = 64n$, где n – степень окисления элемента **X**.

Единственное разумное решение получаем при: $n = 1$, $M(\text{X}) = 64$ г/моль, **X = Cu**.

Определение элемента **Y**: По условию задачи, **Y**₁ является металлом, который сгорает в хлоре с образованием хлорида **Y**₄ с известной прибавкой к массе. Рассчитаем молярную массу элемента **Y**, представив формулу **Y**₄ как **YCl**_n: $M(\text{Y}) = \frac{35,5n}{1,902} \Rightarrow M(\text{Y}) = 18,66n$. $M(\text{Y}) = 18,66n$, где n – степень окисления элемента **Y**. Единственным подходящим решением является: $n = 3$, $M(\text{Y}) = 56$ г/моль, **Y = Fe**.

3. Куприт (минерал **Cu**₂O) окисляется азотной кислотой с образованием ярко-синего раствора нитрата меди (II), который при упаривании раствора выпадает в виде тригидрата. При нагревании твердого тригидрата нитрата меди (II) происходит разложение с образованием черного **CuO** (осн. комп. минерала тенорита), который при сплавлении с металлической медью образует кирпично-красный **Cu**₂O. При действии натриевой щелочи на нитрат меди (II) в осадок выпадает голубой гидроксид меди (II).



При помощи массовой доли кислорода можно получить формулу **X**₂:

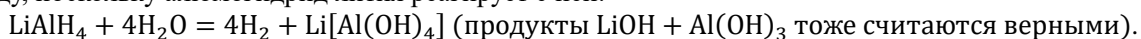
$$\omega(\text{O}) = \frac{16n}{M(\text{X}_2)} = 0,5950. M(\text{X}_2) = 26,89n \text{ г/моль.}$$

При $n = 9$, получаем целую $M(\text{X}_2) = 242$ г/моль. При вычитании молярной массы девяти атомов кислорода, атома меди и двух атомов азота получаем, что молярная масса остатка равняется 6 г/моль, что соответствует шести атомам водорода. Тогда **X**₂ = **Cu(NO₃)₂·3H₂O**.

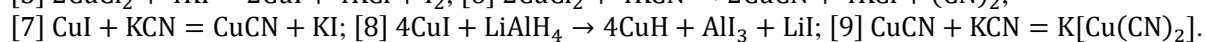
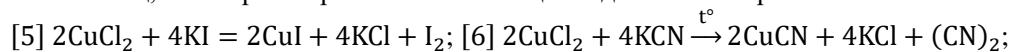
Поскольку **X**₆ является продуктом реакции **X**₄ с соляной кислотой, то оно содержит хлорид меди (II) и скорее всего является кристаллогидратом, так как имеет в своем составе кислород. Рассчитаем формулу вещества **X**₆:

$$\omega(\text{O}) = \frac{16n}{135+18n} = 0,1871 \Rightarrow n = 2. \text{X}_6 = \text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}.$$

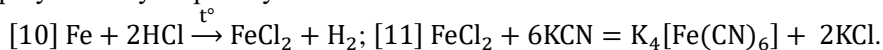
Ион меди 2+ является слабым окислителем в водном растворе и окисляет иодид-ион до молекулярного иода, а при нагревании с раствором цианида калия окисляет и его до ядовитого газа дициана. Движущей силой этих реакций является образование нерастворимых CuI и CuCN соответственно. CuCN менее растворим, чем CuI, поэтому протекает реакция ионного обмена. Из иодида меди(I) может быть получен гидрид меди(I) при действии на него избытком пиридин-эфирного раствора алюмогидрида лития. В качестве растворителя нельзя использовать воду, поскольку алюмогидрид лития реагирует с ней:



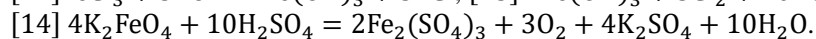
Наконец, CuCN растворяется в избытке цианида калия с образованием соответствующей комплексной соли:



В первом пункте мы рассчитали, что $\mathbf{Y} = \mathbf{Fe}$ и получили, что $\mathbf{Y}_1 = \mathbf{Fe}$ (простое в-во). Растворяя железо в соляной кислоте, можно получить хлорид железа(II), который при взаимодействии с избытком раствора цианида калия образует желтую кровавую соль:



В п. 2 было получено, что в \mathbf{Y}_4 железо принимает с.о. равную +3, значит $\mathbf{Y}_4 = \mathbf{FeCl}_3$. Химическая реакция между FeCl_3 и KOH приводит к образованию оранжевого (ржавого) осадка $\text{Fe}(\text{OH})_3$, который, реагируя с хлором и калиевой щелочью, постепенно растворяется с образованием K_2FeO_4 , который в кислой среде окисляет воду с выделением кислорода:



Состав \mathbf{Y}_7 можно подтвердить расчетом: $\omega(\text{O}) = \frac{n \cdot M(\text{O})}{M(\mathbf{Y}_7)} = 0,4800$. $M(\mathbf{Y}_7) = 33,33n$.

Предполагая наличие сульфат-иона в составе \mathbf{Y}_7 , находим, что при наличии трех сульфат-ионов молярная масса $\mathbf{Y}_7 = 400$ г/моль. Следовательно, $\mathbf{Y}_7 = \mathbf{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$.

Для удобства формулы зашифрованных соединений сведены в таблицу:

Шифр	\mathbf{X}_1	\mathbf{X}_2	\mathbf{X}_3	\mathbf{X}_4	\mathbf{X}_5	\mathbf{X}_6
Формула	Cu_2O	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	CuO	$\text{Cu}(\text{OH})_2$	Cu	$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Шифр	\mathbf{X}_7	\mathbf{X}_8	\mathbf{X}_9	\mathbf{X}_{10}	\mathbf{Y}_1	\mathbf{Y}_2
Формула	CuI	CuCN	CuH	$\text{K}[\text{Cu}(\text{CN})_2]$	Fe	FeCl_2
Шифр	\mathbf{Y}_3	\mathbf{Y}_4	\mathbf{Y}_5	\mathbf{Y}_6	\mathbf{Y}_7	-
Формула	$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	FeCl_3	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	K_2FeO_4	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	-

4. Возможный ряд соединений представлен в таблице:

Цвет	Красный	Оранжевый	Желтый	Зеленый	Голубой	Синий	Фиолетовый
Соединение	Cu_2O CuH	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{Cu}(\text{OH})_2$	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	K_2FeO_4

5. Слово Rain в переводе на русский язык означает дождь. Явление радуги как раз можно наблюдать до или после дождя. Еще один вариант связи: «Rain» - это часть английского слова «Rainbow», которое и обозначает радугу.

Система оценивания:

1. Правильный подбор одного раствора к каждому цвету по 1 б.	$1 \cdot 7 = 7$ б.
2. Символы элементов X и Y – по 2 б., формулы веществ $\mathbf{X}_1 - \mathbf{X}_{10}$, $\mathbf{Y}_1 - \mathbf{Y}_7$ по 1 б.	$2 \cdot 2 + 1 \cdot 17 = 21$ б.
3. Уравнения реакций по 1 б.	$1 \cdot 14 = 14$ б.
4. Правильный подбор одного вещества к каждому цвету по 1 б. (неправильный -0,5 б., но в сумме не меньше нуля баллов за пункт)	$1 \cdot 7 = 7$ б.
5. Связь с радугой 1 б.	1 б.
Всего:	50 баллов.