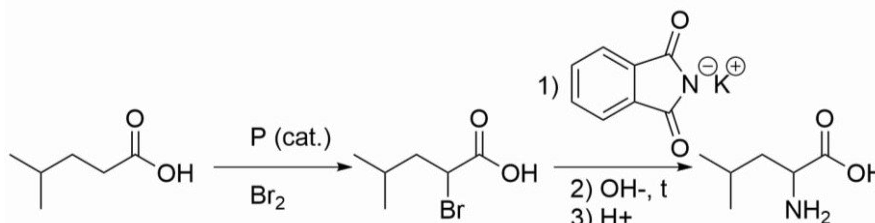
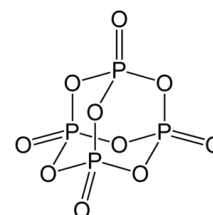
**Задание 1. (автор Н.В. Рубан).**

- 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.

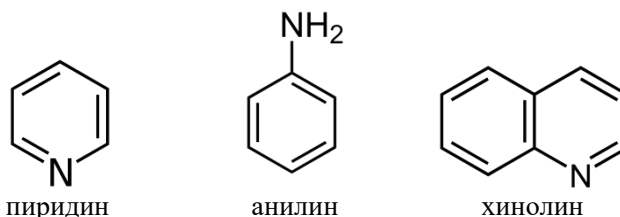
10. В XVIII веке было замечено, что люди, которые пострадали от менее вирулентной коровьей оспы, оказывались невосприимчивыми к натуральной оспе. 14 мая 1796 года Эдвард Дженнер проверил свою гипотезу, привив Джеймса Фиппса, восьмилетнего сына своего садовника. По тем временам это был революционный эксперимент: 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 $C_{H^+ (1 ступени)} = C_{HSO_4^-} = 1,088$ 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 $C_{насыщ. p-ра} = \frac{75,4 \times 1350}{132 \times 175,4} = 4,396$ 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, $\mathbf{X} = \mathbf{Mn}$.

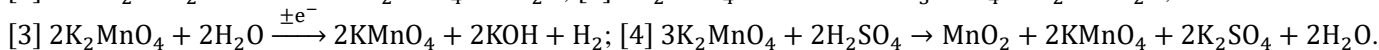
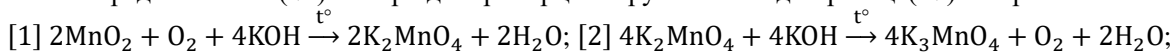
Определение элемента **Y**. По условию задачи, **Y₁** является металлом, который сгорает в кислороде с образованием оксида **Y₄** с известной массовой долей кислорода. Рассчитаем молярную массу элемента **Y**.

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

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.

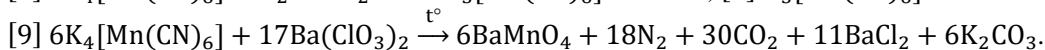
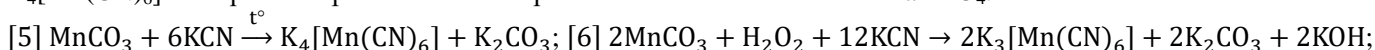


Исходя из массовой доли кислорода, можно вычислить формулу **X₅**:

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

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: $328 = 39x + 26y + 55$.

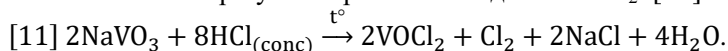
Единственным целым решением является набор $x = 3$, $y = 6$. Значит **X₇ = K₃[Mn(CN)₆]**.

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**.

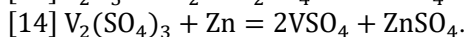
$$n(\text{NOCl}) = n(\text{NO}) = \frac{pV}{RT} = \frac{10^5 \cdot 0,26 \cdot 10^{-3}}{8,314 \cdot 298} = 0,0105 \text{ моль}, n(\text{K}_3[\text{Mn}(\text{CN})_6])_{\text{прореаг}} = \frac{4 \cdot 0,86}{328} = 0,0105 \text{ моль}.$$

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

молярная масса остатка равняется молярной массе кислорода. Следовательно, $Y_5 = VOSO_4$.

Для удобства формулы зашифрованных соединений сведены в таблицу:

Шифр	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
Формула	MnO_2	K_2MnO_4	K_3MnO_4	$KMnO_4$	$MnCO_3$	$K_4[Mn(CN)_6]$
Шифр	X_7	X_8	X_9	Y_1	Y_2	Y_3
Формула	$K_3[Mn(CN)_6]$	$BaMnO_4$	$K_2[Mn(CN)_6]$	V	$NaVO_3$	$VOCl_2$
Шифр	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	-	-
Формула	V_2O_5	$VOSO_4$	$V_2(SO_4)_3$	VSO_4	-	-

4. Возможный ряд соединений представлен в таблице:

Цвет	Красный	Оранжевый	Желтый	Зеленый	Голубой	Синий	Фиолетовый
Соединение	$K_3[Mn(CN)_6]$	V_2O_5	$K_2[Mn(CN)_6]$	K_2MnO_4 $VOCl_2$ $VOSO_4^*$	K_3MnO_4	$BaMnO_4$ $VOSO_4 \cdot 3H_2O^*$	$KMnO_4$ $K_4[Mn(CN)_6]$

* Безводный $VOSO_4$ зеленого цвета, а его тригидрат $VOSO_4 \cdot 3H_2O$ – синий. Отнесение $VOSO_4$ к синим веществам является ошибкой.

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:

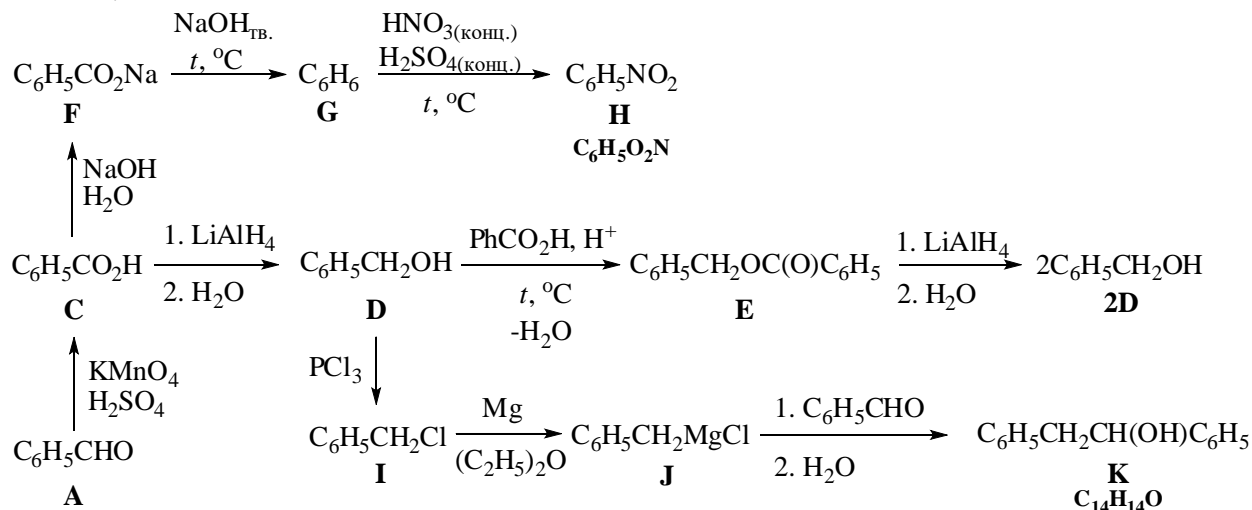
1. Правильный подбор одного раствора к каждому цвету по 0,5 б.	$0,5 * 7 = 3,5$ б.
2. Символы элементов X и Y – по 2 б., формулы веществ $X_1 - X_9$, $Y_1 - Y_7$ по 1 б.	$2 * 2 + 1 * 16 = 20$ б.
3. Уравнения реакций по 1 б.	$1 * 14 = 14$ б.
4. Правильный подбор одного вещества к каждому цвету по 0,5 б. (неправильный -0,5 б., но в сумме не меньше нуля баллов за пункт)	$0,5 * 7 = 3,5$ б.
5. Связь с радугой 1 б.	1 б.
Всего:	42 балла.

Задание 4. (авторы И.В. Кочетыгов, В.Н. Конев).

1. Углерод, выделенный Майклом Фарадеем из светильного газа, – бензол. Его циклическую структурную формулу, имеющую вид правильного шестиугольника, в 1865 г предложил немецкий химик Фридрих Август Кекуле.

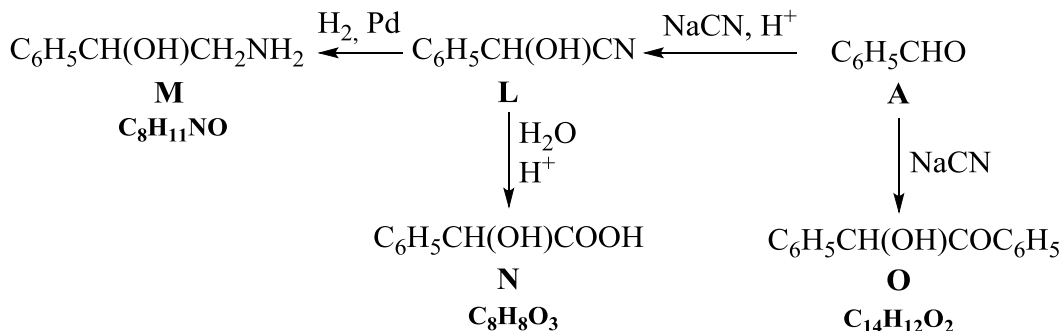
2. Описание физических и токсических свойств вещества **В** однозначно указывает на циановодород: $H-C \equiv N$ (еще есть подсказка про циангидрины и содержание углерода) Сложением молекулярных формул глюкозы (2 раза), бензальдегида и циановодорода получается $C_{20}H_{31}O_{13}N$, при этом $w(C) = 48,7\%$. Однако необходимо учесть, что эти продукты образуются при гидролизе, т.е. в реакции с водой. Если из полученной формулы вычесть 1 молекулу воды, получим $C_{20}H_{29}O_{12}N$, при этом $w(C) = 50,5\%$, если 2, то $C_{20}H_{27}O_{11}N$, при этом $w(C) = 52,5\%$, как и указано в условии задачи. Таким образом, амигдалин имеет молекулярную формулу $C_{20}H_{27}O_{11}N$.

3-4. Веществом **А** является бензальдегид, на это указывает молекулярная формула и запах миндаля. При окислении бензальдегида **А** кислородом воздуха или подкисленным раствором перманганата калия образуется бензойная кислота **С**. При обработке водным раствором гидроксида натрия бензойной кислоты **С** образуется бензоат натрия **Е**, который широко используется в качестве консерванта. Сплавление бензоата натрия **Е** с твердой щелочью приводит к декарбоксилации с получением бензола **Г**. При нитровании бензола нитрующей смесью получается нитробензол **Н**.



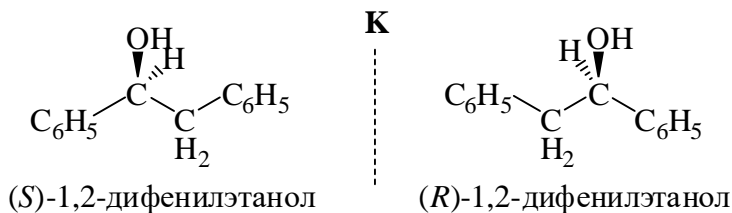
При восстановлении бензойной кислоты **С** таким сильным восстановителем, как алюмогидрид лития, получается бензиловый спирт **Д**. Кислотно-катализируемое взаимодействие бензойной кислоты **С** и бензилового спирта **Д**

является реакцией этерификации, продуктом которой является сложный эфир – бензилбензоат **Е**. Восстановлением бензилбензоата **Е** действием алюмогидрида лития можно получить 2 моля бензилового спирта **Д**. Альдегиды, не содержащие атомов водорода у атома углерода, соседнего с карбонильной группой, вступают в бензоиновую конденсацию, катализируемую цианид-анионом. При этом из бензальдегида получается бензоин **О**.



Циангидрин **Л** образуется в результате присоединения циановодорода к альдегидной группе бензальдегида **А**. Циангидрины являются предшественниками важных классов соединений – α -гидроксилов и β -аминоспиртов. Так при кислотном гидролизе нитрильной группы соединения **Л** образуется миндальная кислота **Н**, а восстановление **Л** водородом на палладиевом катализаторе приводит к получению 2-амино-1-фенилэтанола **М**.

5. Из соединений **А-О** асимметрический атом углерода содержат вещества **К-О**. Пары энантиомеров соединения **К** выглядят следующим образом.



Система оценивания:

1. Фамилия ученого 1 б.	1 б.
2. Молекулярная формула амигдалина 1 б.	1 б.
3. Структурные формулы веществ А-О по 1 б.	1*15 = 15 б
4. Названия веществ А-Н по 1 б.	1*8 = 8 б
5. Хиральные соединения К-О по 1 б. (неверное соединение – штраф -1 б., но в целом за этот вопрос не меньше нуля баллов), формулы и названия энантиомеров по 1 б	1*5+1*2*2 = 9 б
Всего:	34 балла.