

При проверке работы следует учитывать, что всегда существует вероятность нестандартного решения задания учеником. Поэтому следует полагаться на логику решения ученика, его рассуждения и выводы, а также на их аргументированность!
Любое нестандартное решение должно быть засчитано и оценено!
ОТВЕТЫ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ ДЛЯ 10 КЛАССА (2025/2026 УЧЕБНЫЙ ГОД)
Всего 100 баллов

Задача 1

Всё гениальное просто

Бариевую пудру массой 27.4 г. Высыпали в химический стакан, наполненный раствором соляной кислоты.

1. В чём различие соляной кислоты и хлороводорода?
2. Запишите уравнение протекающей химической реакции и определите объём выделившегося газа (н.у.)

После окончания реакции в стакан добавили избыток раствора серной кислоты, в ходе чего наблюдалось выпадение осадка.

3. Запишите уравнение протекающей химической реакции и вычислите массу выпавшего осадка.

Задача 1. Решение

1. Хлороводород — газ, представляющий собой чистый HCl. Соляная кислота — раствор хлороводорода в воде. **(2 балла)**
2. $\text{Ba} + 2\text{HCl} = \text{BaCl}_2 + \text{H}_2$ **(4 балла)**

Для начала рассчитаем моль Ba, вступающего в реакцию:

$$n(\text{Ba}) = 27.4/137 = 0.2 \text{ моль}$$

Исходя из стехиометрии реакции число моль выделившегося водорода совпадает с числом моль прореагировавшего бария

$$n(\text{H}_2) = n(\text{Ba}) = 0.2 \text{ моль}$$

Молярный объём идеального газа при н.у. составляет приблизительно 22.4 л, таким образом выделилось $0.2 \cdot 22.4 = 4.48$ л газа. **(6 баллов)**

3. Добавление серной кислоты привело к образованию BaSO₄
 $\text{BaCl}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{BaSO}_4 + 2\text{HCl}$ **(4 балла)**

Масса осадка составила:

$$m(\text{BaSO}_4) = 233 \cdot 0.2 = 46.6 \text{ г} \text{ (4 балла)}$$

Итого: 20 баллов

Задача 2

Электронная химия

В 1 кг металла **X** содержится электронов $2,88 \cdot 10^{26}$ электронов. При добавлении 1,5 г вещества **A** к 500 граммам воды выделяется газ **A**. После полного растворения из полученного раствора отобрали аликвоту в 50 мл ($\rho \approx 1$ г/мл), к которой далее добавляли 2,82% раствор нитрата серебра до прекращения выпадения осадка **B**. Полученный осадок отделили и далее растворили в 25% нашатырном спирте. При этом в ходе реакции образовалось вещество **C**.

1. Запишите все уравнения реакций происходящих в описанных процессах
2. Определите вещества **X**, **A**, **B**, **C**. Для соединения **C** изобразите строение катиона.
3. Определите массовую долю азота и электронов в растворе образовавшемся после удаление осадка вещества **B**, если известно, что электрон в 1836 раз легче протона
4. Какое тривиальное название носит раствор вещества **C**?

Задача 2. Решение

Для определения металла **X** необходимо перебрать значение молекулярной массы металла в зависимости от числа электронов. Пусть $M_X = x$, тогда

$$n_X = \frac{m}{M_X} = \frac{1000}{x} \text{ моль}$$

Но, количество вещества можно также выразить из числа электронов, пусть n – число электронов в 1 молекуле металла, тогда

$$n_X = \frac{N_e}{N_A \cdot n} = \frac{2,88 \cdot 10^{26}}{n \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} \approx \frac{478,405}{n} \text{ моль}$$

$$x = \frac{1000}{478,405} \cdot n = 2,09 \cdot n$$

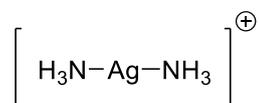
При $n=11$, $x=22,99$ что соответствует натрию (**X-Na**)

1. Уравнения протекающих реакций

- 1) $2\text{Na} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaOH} + \text{H}_2$
- 2) $2\text{AgNO}_3 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Ag}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{NaNO}_3$
- 3) $\text{Ag}_2\text{O} + 4\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$

2. **X** – Na, **A** – H_2 , **B** – Ag_2O , **C** – $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$

Катион **C** представляет собой комплексную частицу, имеющую линейное строение



3. Количество NaOH и масса полученного раствора

$$n_{\text{NaOH}} = n_{\text{Na}} = \frac{m_{\text{Na}}}{M_{\text{Na}}} = \frac{1,5}{23} \approx 0,065 \text{ моль}$$

$$m_{\text{p-ра}} = m_{\text{Na}} + m_{\text{H}_2\text{O}} - m_{\text{H}_2} = 1.5 + 500 - \frac{n_{\text{Na}}}{2} \cdot M_{\text{H}_2} = 501.5 - 0.065 = 501.435$$

Количество NaOH в аликвоте и масса полученного раствора после прибавления раствора нитрата серебра

$$n_{\text{NaOH(ал)}} = n_{\text{NaOH}} \cdot \frac{m_{\text{ал}}}{m_{\text{p-ра}}} = 0.065 \cdot \frac{50}{501.435} \approx 0.00648 \text{ моль}$$

$$m_{\text{p-ра(ал)}} = m_{\text{NaOH(ал)}} + m_{\text{AgNO}_3} - m_{\text{Ag}_2\text{O}} = 50 + \frac{n_{\text{NaOH(ал)}} \cdot M_{\text{AgNO}_3}}{\omega_{\text{AgNO}_3}} - \frac{n_{\text{NaOH(ал)}}}{2} \cdot M_{\text{Ag}_2\text{O}}$$

$$m_{\text{p-ра(ал)}} = 50 + \frac{0.00648 \cdot 170}{0.0282} - \frac{0.00648}{2} \cdot 232 \approx 88.312 \text{ г}$$

Массовая доля азота в растворе равна

$$\omega_N = \frac{n_{\text{NaOH(ал)}} \cdot M_N}{m_{\text{p-ра}}} = \frac{0.00648 \cdot 14}{88.312} = 1.02 \cdot 10^{-3} = 0.102\%$$

В полученном после удаления осадка растворе содержится только вода и нитрат натрия, значит

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = m_{\text{p-ра}} - m_{\text{NaNO}_3} = 88.312 - 0.00648 \cdot 85 \approx 87.761 \text{ г}$$

$$n_e = n_{e(\text{H}_2\text{O})} + n_{e(\text{NaNO}_3)} = 10 \cdot n_{\text{H}_2\text{O}} + 42 \cdot n_{\text{NaNO}_3}$$

$$n_e = 10 \cdot \frac{87.761}{18} + 42 \cdot 0.00648 \approx 49.0283 \text{ моль}$$

$$m_e = \frac{n_e}{1836} = \frac{49.0283}{1836} \approx 0.027 \text{ г}$$

$$\omega_e = \frac{m_{\{e\}}}{m_{\{p-ра\}}} = \frac{0.027}{88.312} \approx 3.05 \cdot 10^{-4} = 0.0305 \%$$

4. Тривиальное название раствора вещества С – реактив Толленса

Система оценивания:

Уравнение реакций – по 1 баллу	3 балла
Определение веществ А – С, X – по 2 балла	7 баллов
Строение катиона вещества С – 1 балл	
Определение массовой доли азота – 4 балла	9 баллов
Определение массовой доли электронов – 5 баллов	
Тривиальное название – 1 балл	1 балл
Итого: 20 баллов	

Задача 3

Press °F

А в попугаях-то я гораздо длиннее!

«38 попугаев»

В 1960 году на XI Генеральной конференции по мерам и весам была принята международная система единиц (СИ). Она была создана для обеспечения единства и сопоставимости измерений во всех сферах деятельности: от научных исследований до промышленного производства и торговли. Однако даже сегодня некоторые страны не перешли к системе СИ. Самая распространённая из альтернативных систем - американская система измерений. Она до сих пор является общепринятой в США, Мьянме, и Либерии.

Так, к примеру для измерения температуры в американской системе используются не общепринятые градусы Цельсия или Кельвина, а градусы Фаренгейта (°F). Известно, что при атмосферном давлении лёд тает при температуре 32 °F, а вода закипает при температуре 212 °F.

1. Запишите *линейное* уравнение, связывающие градусы Цельсия и Фаренгейта, если известно.
2. Определите при какой температуре градусы Цельсия и Фаренгейта совпадут. Какая температура в градусах Фаренгейта соответствует абсолютному нулю.

Одной из общепринятых единиц объёма в американской системе единиц является галлон. Американский галлон закону равен ровно 231 кубическому дюйму (1 дюйм \approx 2,54 см). В качестве единицы для измерения давления используется Psi (*pound-force per square inch*). Так, среднее атмосферное давление численно равно 14.7 Psi.

Для нагревания галлона воды житель штата Айдахо Джон Колбен использовал газовую горелку, подключённую к 10 галлоновому баллону (давление в баллоне - 43.5 Psi) газовой смеси бутана и пропана, имеющей плотность по аргону 1.25. Начальная температура галлона воды и баллона газа составляла 70 °F.

3. Запишите уравнения реакций сгорания для газовой смеси.
4. Определите теплоту сгорания газовой смеси, если известно, что средняя энергия связей С-С и С-Н равна 351 кДж/моль и 410 кДж/моль соответственно, стандартные энтальпии образования жидкой воды и углекислого газа -286 кДж/моль и -394 кДж/моль, а энтальпия испарения воды 2257 кДж/кг.
5. Определите сможет ли Джон вскипятить воду. Если ответ положительный, определите конечное давление газа в баллоне, если ответ отрицательный определите до какой максимальной температуры в °F удастся нагреть воду, если известно, что удельная теплоёмкость жидкой воды 4200 Дж/(кг·К)

Задача 3. Решение

1. Линейное уравнение зависимости температуры в °C от температуры в °F можно выразить в виде:

$$^{\circ}\text{C} = a^{\circ}\text{F} + b$$

Далее решение задачи сводится к решению системы линейных уравнений с двумя неизвестными

$$\begin{cases} 0 = a \cdot 32 + b, \\ 100 = a \cdot 212 + b \end{cases}$$

Можно решить задачу иначе представив зависимость в виде

$$^{\circ}\text{C} = a(^{\circ}\text{F} - b)$$

Данное уравнение также является линейным. Выразим из него b

$$0 = a(32 - b) \rightarrow b = 32$$

После выразим a

$$100 - 0 = a(212 - b) - a(32 - b)$$

$$a = \frac{100 - 0}{212 - b - 32 + b} = \frac{100}{180} = \frac{5}{9}$$

В результате полученное уравнение зависимости имеет следующий вид:

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32)$$

2. Для нахождения температуры, при которой °C и °F необходимо решить уравнение

$$x = \frac{5}{9}(x - 32)$$

$$\frac{4}{9}x = -\frac{160}{9}$$

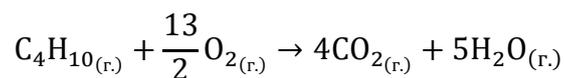
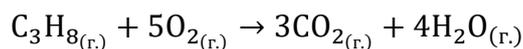
$$x = -40$$

Температуру абсолютного нуля в °F выразим через температуру абсолютного нуля в °C, которая численно равна $-273,15^{\circ}\text{C}$

$$-273,15 = \frac{5}{9}(T - 32)$$

$$T = -459.67^{\circ}\text{F}$$

3. Уравнения сгорания для компонентов газовой



4. Стандартная энтальпия образования пропана и бутана по закону Гесса может быть выражена через значения энергий связи и стандартную энтальпию атомизации углерода

$$\Delta_f H_{\text{C}_3\text{H}_8(\text{г.})}^0 = 4 \cdot E_{\text{H-H}} + 3 \cdot \Delta_{\text{атом}} H_{\text{C}}^0 - 2 \cdot E_{\text{C-C}} - 8 \cdot E_{\text{C-H}}$$

$$\Delta_f H_{\text{C}_3\text{H}_8(\text{г.})}^0 = 4 \cdot 435 + 3 \cdot 717 - 351 \cdot 2 - 410 \cdot 8 = -91 \text{ КДж/моль}$$

$$\Delta_f H_{\text{C}_4\text{H}_{10}}^0 = 5 \cdot E_{\text{H-H}} + 4 \cdot \Delta_{\text{атом}} H_{\text{C}}^0 - 3 \cdot E_{\text{C-C}} - 10 \cdot E_{\text{C-H}}$$

$$\Delta_f H_{\text{C}_4\text{H}_{10(\text{г.})}}^0 = 5 \cdot 435 + 4 \cdot 717 - 351 \cdot 3 - 410 \cdot 10 = -110 \text{ КДж/моль}$$

5. Стандартная энтальпия сгорания бутана и пропана могут быть выражены через стандартные энтальпии образования углекислого газа, воды и стандартные энтальпии сгорания одного из газов

$$\Delta_c H_{\text{C}_4\text{H}_{10(\text{г.})}}^0 = 4 \cdot \Delta_f H_{\text{CO}_2(\text{г.})}^0 + 5 \cdot \Delta_f H_{\text{H}_2\text{O}(\text{г.})}^0 - \Delta_f H_{\text{C}_4\text{H}_{10(\text{г.})}}^0$$

$$\Delta_f H_{\text{H}_2\text{O}(\text{г.})}^0 = \Delta_f H_{\text{H}_2\text{O}(\text{ж.})}^0 + \Delta_{\text{исп}} H_{\text{H}_2\text{O}} = -286 + \frac{2257}{(1000 \div 18)} = -245.374 \text{ КДж/моль}$$

$$\Delta_c H_{\text{C}_4\text{H}_{10(\text{г.})}}^0 = 5 \cdot (-245,374) + 4 \cdot (-394) - (-110) = -2692.735 \text{ КДж/моль}$$

$$\Delta_c H_{\text{C}_3\text{H}_8(\text{г.})}^0 = 3 \cdot \Delta_f H_{\text{CO}_2(\text{г.})}^0 + 4 \cdot \Delta_f H_{\text{H}_2\text{O}(\text{г.})}^0 - \Delta_f H_{\text{C}_3\text{H}_8(\text{г.})}^0$$

$$\Delta_c H_{\text{C}_3\text{H}_8(\text{г.})}^0 = 4 \cdot (-245.374) + 3 \cdot (-394) - (-91) = -2072.388 \text{ КДж/моль}$$

Для определения теплоты сгорания смеси необходимо выразить её состав. Известно, что плотность смеси газов по аргону 1.25. Это означает, что средняя молярная масса смеси - $1.25 \cdot M_{\{\text{Ar}\}} = 1.25 \cdot 40 = 50 \text{ г/моль}$. Пусть молярная доля пропана – x , тогда

$$44 \cdot x + 58 \cdot (1 - x) = 50$$

$$x \approx 0.5714$$

Тогда для смеси

$$Q_{\text{смеси}} = -\Delta_c H_{\text{смеси}}^0 = -\left(x \cdot \Delta_c H_{\text{C}_3\text{H}_8(\text{г.})}^0 + (1 - x) \cdot \Delta_c H_{\text{C}_4\text{H}_{10(\text{г.})}}^0\right)$$

$$Q_{\text{смеси}} = 2072.388 \cdot 0.5714 + 2692.735 \cdot (1 - 0.5714) \approx 2338.4 \text{ КДж/моль}$$

6. Для определения количества вещества в баллоне необходимо пересчитать давление и объём в единицы системы СИ и воспользоваться уравнением Менделеева-Клапейрона

$$V = 10 \cdot (2.54 \cdot 10^{-2})^3 \cdot 231 = 3.7854 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$$

$$P = \frac{43.5}{14.7} \cdot 101325 = 299839 \text{ Па}$$

$$T = 70^{\circ}\text{F} \rightarrow T = 273.15 + \frac{5}{9}(70 - 32) \approx 294.26 \text{ K}$$

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{3.7854 \cdot 10^{-2} \cdot 299839}{294.26 \cdot 8.314} = 4.639 \text{ моль}$$

Из этого, максимальное количество теплоты, которое можно получить при сжигании смеси

$$Q_{\text{max}} = Q_{\text{смеси}} \cdot n = 4.639 \cdot 2338.4 \approx 10847.84 \text{ КДж}$$

Для определения теплоёмкости воды, исходя из того, что её плотность $\rho \approx 1 \text{ кг/л}$ и объём воды 1 галлон

$$V = (2.54 \cdot 10^{-2})^3 \cdot 231 = 3.7854 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 3.7854 \text{ л}$$

$$m = \rho \cdot V = 3.7854 \text{ кг}$$

$$C = C_{\text{уд.}} \cdot m = 3.7854 \cdot 4200 = 15898.68 \text{ Дж/К} = 15.89868 \text{ КДж/К}$$

Температура кипения воды – 100°C , значит $\Delta T = 100 - \frac{5}{9}(70 - 32) \approx 78.89 \text{ K}$

Тогда, максимальное изменение температуры жидкости

$$\Delta T_{\text{max}} = \frac{Q_{\text{max}}}{C} = \frac{10847.84}{15.89868} = 682.3 > 78.89 \rightarrow \text{Джон сможет вскипятить воду}$$

$$Q = C \cdot \Delta T = 15.89868 \cdot 78.89 = 1254.247 \text{ КДж}$$

$$n_{\text{потр}} = \frac{Q}{Q_{\text{смеси}}} = \frac{1254.247}{2338.4} \approx 0.536 \text{ моль}$$

$$P = \frac{(n - n_{\text{потр}})RT}{V} = \frac{(4.639 - 0.536) \cdot 8.314 \cdot 294.26}{3.7854 \cdot 10^{-2}} = 2665147 \text{ Па}$$

Система оценивания:

Составление линейного уравнения связи $^{\circ}\text{C}$ и $^{\circ}\text{F}$ - 2 балла	2 балла
Значения температур – по 1 баллу	2 балла
Уравнение реакций – по 1 баллу	2 балла
Определение значения энтальпии образования – по 2 балла	4 балла
Определение теплоты сгорания смеси – 3 балла	3 балла
Оценка возможности доведения воды до кипения – 4 балла	7 баллов
Расчёт конечного давления в баллоне – 3 балла	
Итого: 20 баллов	

Задача 4

Химия в отражении

– Ну как можно поверить в невозможное?

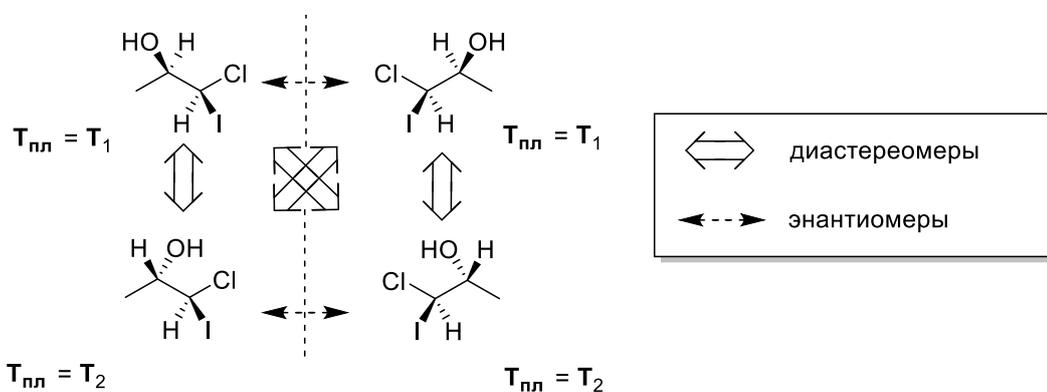
– Постепенно

Изомерия - одно из основных понятий химии, введённое ещё в начале 19 века Берцеллиусом, а обоснованное в конце – Бутлеровым. Изомеры подразделяются на структурные и оптические (соединения с одинаковой брутто-формулой и последовательностью связей). Самым классическим, хотя и не совсем корректным примером являются левая и правая кисти рук, строение которых одинаково в плане последовательного соединения ладони и пальцев, тем не менее совместить их путём вращения и параллельного переноса невозможно. Тот же эффект можно наблюдать и на органических молекулах, к примеру – бром-иод-фтор-хлорметане. Если изобразить пространственную структуру данного соединения и отразить её в зеркале, то вы получите очень похожее соединение, обладающее идентичными физическими свойствами, однако не совмещающееся с молекулой до отражения. Такие соединения называют хиральными, а пару изомеров, полученную в результате отражения – энантиомерами. Углерод, являющийся причиной хиральности, называют хиральным центром.

1. Почему на ваш взгляд кисти человека не являются корректным примером пары энантиомеров?
2. Являются ли хиральными молекулы: CH_4 , CHCl_3 , CH_2Cl_2 , CH_2BrI , 2-хлорбутан?

При наличии в молекуле более одного хирального центра, возможно образование пространственных изомеров не являющихся энантиомерами – такие соединения называют

Рис. 1. Пример оптических изомеров для 1-хлор-1-иод-пропан-2-ола



диастереомерами. Последние, в отличие от энантиомеров, обладают различными физическими свойствами. Причём с увеличением количества хиральных центров будет расти и число пространственных изомеров. К примеру, в молекуле 2-иод-3-хлорбутана таких центров 2 и число возможных изомеров уже 4 (Рис.1).

3. Определите число возможных пространственных изомеров 1-хлорацетона, пентозы (учитывайте только ациклические структуры) и винной кислоты (Рис.2).

Подсказка: не всегда при наличии хиральных центров молекула будет хиральной, самый достоверный способ – отразить в зеркале и попытаться совместить полученную структуру с исходной (отнеситесь внимательно к изомерам винной кислоты)



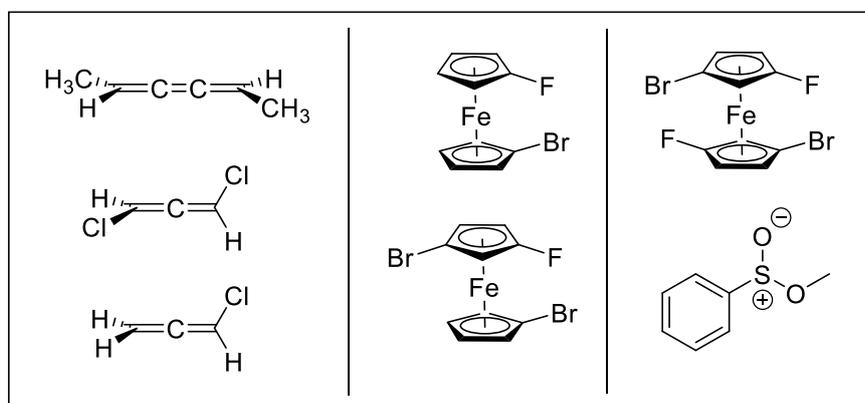
Рис. 2. Структуры соединений, указанных в вопросе 3

В ходе радикального хлорирования циклопентана образовалась смесь изомеров с формулой $C_5H_8Cl_2$.

4. Изобразите все возможные структуры изомеров (с учётом пространственной изомерии), а также укажите изомеры, которые являются энантиомерами друг по отношению к другу.

Нужно помнить, что хиральное вещество по определению – соединение, не совпадающее со своим зеркальным отображением, а центральная хиральность лишь частный (хотя и самый распространённый) случай. Существуют молекулы, не имеющие хирального центра и всё же являющиеся хиральными.

5. Укажите, какие из приведённых ниже веществ хиральны.



Задача 4. Решение

1. Любое указание на то, что у каждой кисти есть конкретные особенности – будь то отпечатки пальцев, родимые пятна и т.п. (1 балл)
2. Если участник знаком с хиральными соединениями, то знает, что для центральной хиральности необходимо, чтобы на интересующем нас центре находилось как минимум 4 разных заместителя. Если же участник никогда не работал с хиральными соединениями, то он может просто пойти по определению: отразить молекулу через зеркальную плоскость и

попытаться совместить с исходной версией. Таким образом из приведённого списка хирален только 2-хлорбутан. Остальные совпадают со своим отражением.

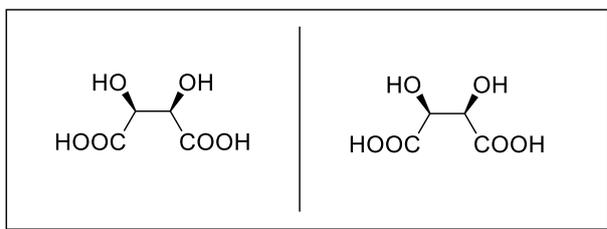
По **0.5 балла** за каждое правильное соотнесение (**Суммарно 2.5 балла за пункт**)

3. Молекула хлорацетона ахиральна, таким образом у него может существовать только 1 пространственный изомер.

В случае пентозы – в молекуле находится три хиральных центра, тогда возможных комбинаций конфигураций этих центров всего $2 \cdot 2 \cdot 2 = 8$ и у молекулы может быть 8 оптических изомеров.

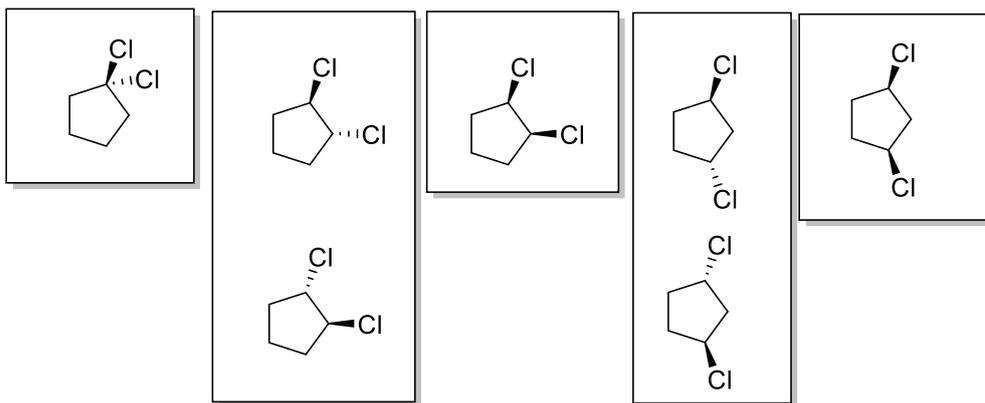
В случае с винной кислотой всё немного менее тривиально: в молекуле присутствует 2 центра, таким образом максимальное число оптических изомеров – 4, однако в силу симметрии молекулы два из них (приведены на рисунке ниже), несмотря на наличие хиральных центров в молекуле, совпадают (такие соединения называются мезоформами).

Таким образом, суммарное количество пространственных изомеров равно 3.



За каждый верный ответ по **2 балла**. (**Суммарно 6 баллов за пункт**)

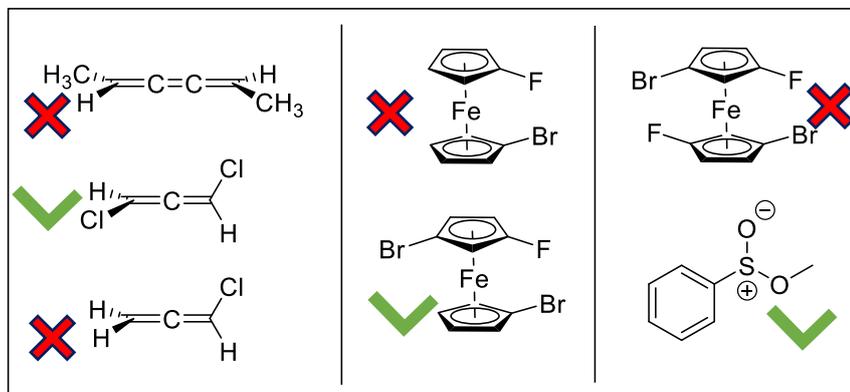
4. Всего может получиться 7 изомеров. Они изображены на рисунке, причём энантиомеры находятся в одном прямоугольнике.



По **0.5 балла** за каждый изомер (**Суммарно 3.5 балла**) и по **0.5 балла** за указание пар энантиомеров (**Суммарно 1 балл**). Итого за пункт **4.5 балла**.

5. Хиральные соединения обозначены на схеме галочкой, ахиральные — крестиком. В данном случае необходимо было действовать по определению: отражать соединение и пытаться совместить с исходной молекулой. Также стоит отметить, что у серы есть НЭП, которая выводит окружение серы из плоскости, делая последнюю хиральным центром. (По 1 баллу за каждый верный ответ, максимум за пункт — 7 баллов)

Итого: 20 баллов



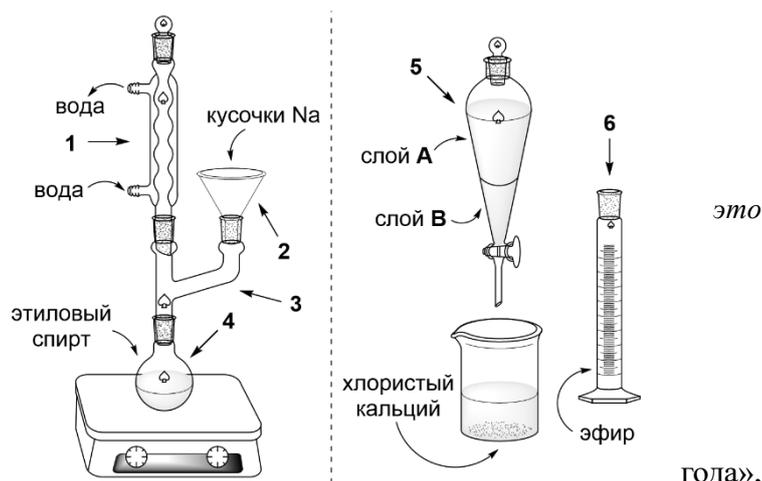
Задача 5. Мысленный эксперимент

«Когда теория совпадает с экспериментом,
уже не открытие, а закрытие»

Пётр Леонидович Капица

Найдя солнечным утром в
пылящемся углу кабинета химии
«Практикум по органической химии 1956

юный химик Иннокентий захотел во что бы то ни стало повторить один из описанных там синтезов (методику см. ниже) и получить у себя **фенилэтиловый эфир (фенетол)**.



В *круглодонной колбе* ёмкостью 100 мл, снабжённой *рогатым форитосом* и *обратным холодильником*, растворяют 2.3 г **натрия** в 30 мл **этилового спирта**. Натрий вносят небольшими кусочками через *стеклянную воронку*, чтобы не допустить ◀◀◀.

По охлаждению раствора к нему прибавляют 9.4 г **фенола** и 20 г **иодистого этила** и смесь нагревают на *водяной бане* до тех пор, пока спиртовой раствор не перестанет показывать щелочную реакцию по ●●● бумажке. Затем колбу соединяют с *нисходящим холодильником*, отгоняют максимально полно спирт и прибавляют к остатку небольшое количество воды для растворения образовавшегося при реакции осадка 🎵🎵🎵. **Фенетол** извлекают 50 мл диэтилового эфира, отмеренного *мерным цилиндром*: эфирный раствор отделяют при помощи *делительной воронки*, взбалтывают с разбавленным раствором **едкого натра** для ◻◻◻ и сушат над безводным **хлористым**

кальцием. Отгоняют диэтиловый эфир, заменяют обычный холодильник небольшим воздушным и при 167–172°C перегоняют фенол.

Выход целевого продукта около 9 г (% от теоретического). Фенетол – бесцветная жидкость с характерным запахом; $T_{\text{кип.}} = 169^\circ\text{C}$.

.....
**Не пугайтесь, все символы на листе бумаги действительно пропечатались как надо – исходная книга довольно старая и часть информации уже безвозвратно утеряна.*

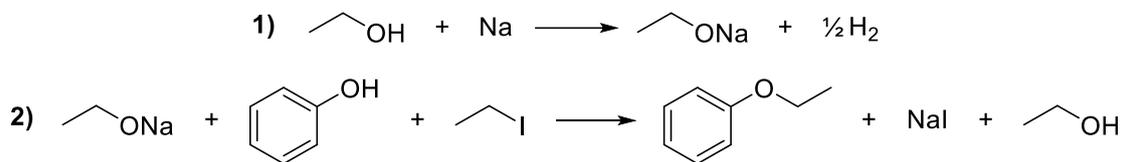
Вопросы:

1. Напишите уравнения **двух** ключевых происходящих реакций.
2. Рассчитайте выход фенола в процентах от теоретического количества.
3. Данный способ получения простых эфиров открыт в 50-х гг. XIII века и ныне известен как реакция Вильямсона. А по какому механизму она протекает?
4. На рисунке справа приведены изображения установок отдельных этапов синтеза. Соотнесите пронумерованные части конструкций с их названиями из текста.
5. Предположите, в каком слое (**A** или **B**) находится органическая фаза с диэтиловым эфиром ($\rho = 0.714$ г/мл), а в каком – водная фаза?
6. Воссоздайте методику в первоизданном виде: замените символы \square ♪ \bullet \square \blacktriangleleft отдельными словами, словосочетаниями или химическими формулами (помните, что количество символов никак не связано с длиной замены!).
7. В качестве осушающих реагентов в органическом синтезе часто используют безводные соли щелочных и щёлочноземельных металлов, такие как CaCl_2 , Na_2SO_4 , MgSO_4 . Расположите данные реагенты в порядке увеличения водоёмкости (*подсказка*: напишите их уравнения взаимодействия с водой).
8. Перегонка – метод разделения жидких смесей с целью получения чистых веществ в индивидуальном виде, основанный на различиях в температурах кипения компонентов. Установите соответствие между веществами (*индивидуально чистые*), необходимыми для синтеза Иннокентия, и их температурами кипения при атмосферном давлении.

Фенетол	Фенол	169°C	1935°C
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	$\text{C}_2\text{H}_5\text{I}$	72°C	78°C
$(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$	H_2O	35°C	100°C
Na	CaCl_2	180°C	883°C

Задача 5. Решение

1. Ниже записаны уравнения протекающих реакций (допустимо писать как в развёрнутой, так и в сокращённой структурной форме, здесь приведено в скелетной).



2. Рассчитаем количества вещества всех участников реакции, чтобы понять какие вещества находятся в избытке, а какие в недостатке.

$$n(\text{Na}) = \frac{m(\text{Na})}{M(\text{Na})} = \frac{2.3}{23} = 0.1 \text{ моль}; \quad n(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH})}{M(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH})} = \frac{9.4}{94} = 0.1 \text{ моль}$$

$$n(\text{C}_2\text{H}_5\text{I}) = \frac{m(\text{C}_2\text{H}_5\text{I})}{M(\text{C}_2\text{H}_5\text{I})} = \frac{20}{156} = 0.13 \text{ моль}$$

Формально, для точного определения $n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})$ необходимо знать плотность этилового спирта, однако из методики проведения синтеза ясно, что этанол взят в значительном избытке по сравнению с любым реагентом, являясь ещё и растворителем (на одной из стадий его избыток вообще отгоняется).

Таким образом, максимально фенола можно получить:

$$m_{\text{теор}}(\text{C}_6\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5) = M(\text{C}_6\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5) \cdot n(\text{C}_6\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5) = 122 \cdot 0.1 = 12.2 \text{ г.}$$

а значит выход реакции у юного химика Иннокентия составил:

$$\eta(\text{C}_6\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5) = \frac{m_{\text{прак}}(\text{C}_6\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5)}{m_{\text{теор}}(\text{C}_6\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5)} = \frac{9}{12.2} = 0.74 \text{ или } 74\%$$

3. Синтез простых эфиров по Вильямсону относится к **бимолекулярному нуклеофильному замещению S_N2**.

4. Верное соотнесение: **1** – обратный холодильник, **2** – стеклянная воронка, **3** – рогатый форитос, **4** – круглодонная колба, **5** – делительная воронка, **6** – мерный цилиндр.

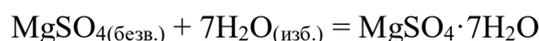
5. Согласно классическим физическим представлениям, более тяжёлая жидкость находится ниже (ближе ко дну), чем более лёгкая. Поскольку масса напрямую коррелирует с плотностью, то заключаем, что **слой А** будет содержать **органическую (эфирную) фазу** с $\rho = 0.714$ г/мл, а **слой В** – **неорганическую (водную) фазу** с $\rho = 1.0$ г/мл.

6. По искомой методике из «Практикума по органической химии» 1956 г. Н. Д. Пряшникова.

Символ	Текст
◀	закипания раствора
•	индикаторной/лакмусовой
♪	иодистого натрия/NaI
▣	для удаления в водную фазу непрореагировавшего фенола

□	жидкость
---	----------

7. При решении данного пункта считаем, что водоёмкость напрямую коррелирует с количеством адсорбированной воды на 1 моль вещества. Поэтому в соответствии с подсказкой напишем уравнения предельной химической гидратации солей.



Значит, водоёмкость увеличивается в ряду: CaCl_2 , MgSO_4 , Na_2SO_4 .

*Однако добавим, что в реальности осушающие свойства зависят ещё от ряда факторов, которые поныне не удалось связать в единую теорию, поэтому до сих пор выбор водоотнимающего реагента – чисто эмпирическая задача органического синтеза.

8. Решение данного пункта базируется не только на химической интуиции и знании истинных температур кипения, но и некоторых нетрудных корреляциях и внимательном прочтении методики приведённого синтеза:

- температура кипения молекулы растёт с увеличением количества водородных связей;
- в пределах одного класса органических соединений большую температуру кипения имеет соединение с большей молекулярной массой;
- соединение с ионной связью кипит выше, чем с металлической, которое в свою очередь выше, чем с ковалентной.

В соответствии с этим ниже приведён правильный ответ имеет.

Вещество	Температура кипения
$(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$	35°C
$\text{C}_2\text{H}_5\text{I}$	72°C
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	78°C
H_2O	100°C
Фенетол	169°C
Фенол	180°C
Na	883°C
CaCl_2	1935°C

Система оценивания:

1.	Уравнение протекающих реакций (при отсутствии коэффициентов – 2 балла)	2 балла
2.	Правильный расчёт выхода фенетола	2 балла
3.	Верное название механизма (только слово «замещение» – 0.5 балла)	1 балл
4.	Правильное соотнесение химического оборудования – по 0.5 балла	3 балла

5.	Указание содержимого слоёв A и B – за каждое по 0.5 балла	1 балл
6.	Корректная замена символов на слова (в том числе любая подходящая по смыслу, но отличная от авторской) – по 1 баллу	5 баллов
7.	Верный ряд водоёмкости солей (при отсутствии уравнений гидратации – 1 балл)	2 балла
8.	Правильное сопоставление температур кипения – по 0.5 балла	4 балла
	ИТОГО:	20 баллов