

**БОЛЬШАЯ
ОЛИМПИАДА
Росхим**

ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ

Фамилия

Имя

Отчество (при наличии)

Класс

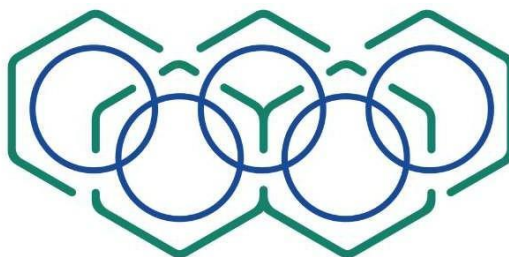
**Сокращенное
наименование
образовательной
организации**

ID

**Общее число
страниц в работе**

Оценка за выполнение работы, баллов		Штрафные баллы (при наличии)	
Итого за экспериментальный тур, баллов		Член жюри: _____ (_____) подпись Фамилия И.О.	
Итого за теоретический тур (после апелляции), баллов		Итоговый результат заключительного этапа, баллов	

С выставленными баллами согласен (согласна): _____ (_____)
подпись Фамилия И.О.



Большая олимпиада Росхим по химии и химической технологии

Задание экспериментального тура заключительного этапа 2025-2026 учебный год 10 класс

Дальнегорский горно-обогатительный комбинат (Приморский край, г. Дальнегорск) — единственный в России производитель борной кислоты, применяющейся в изготовлении огнеупорных материалов, стекла, в металлургии и медицине. Предприятие реализует полный технологический цикл производства, который включает добычу, обогащение и химическую переработку сырья. Сырьем является датолитовая руда Дальнегорского борного месторождения, где сосредоточено около 3 % мировых запасов бора.



Сегодня вам предстоит выступить в роли химика-технолога и смоделировать производственный процесс синтеза борной кислоты из минерального сырья, а затем провести её анализ.

Часть 1: Синтез борной кислоты

- 1. В качестве модельного сырья вы будете использовать кристаллогидрат тетрабората натрия $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, образующий минерал с кристаллами моноклинной сингонии. Установите его состав, если он содержит 71,3 % масс. кислорода. Как называется этот минерал?**

Взвесьте 2 г исходного тетрабората натрия. Отмерьте с помощью мерного цилиндра 10 мл горячей дистиллированной воды со стола общего пользования и добавьте ее к навеске, перемешивайте смесь стеклянной палочкой до завершения растворения. К полученному горячему раствору осторожно при перемешивании добавьте 7 мл 45 % серной кислоты, имеющей плотность 1,35 г/мл.

Полученный раствор медленно охладите сначала в кристаллизаторе со льдом, выпавший осадок борной кислоты отфильтруйте, собрав установку для фильтрования, используя воронку. После завершения фильтрации промойте осадок: налейте на фильтр с осадком около ~3 мл этанола и дождитесь его стекания. Продукт просушите между листами фильтровальной бумаги.

2. Приведите уравнение реакции синтеза.

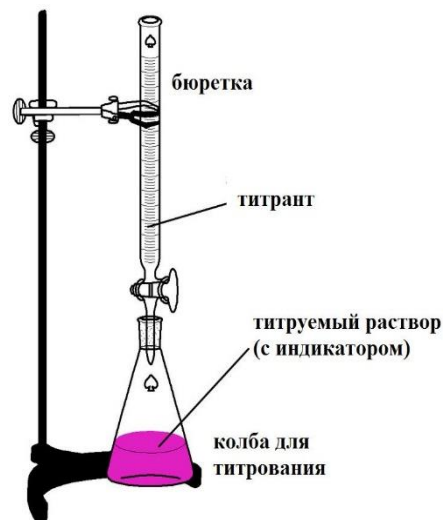
3. Рассчитайте максимальную массу борной кислоты, которая теоретически образуется по описанной методике.

4. Рассчитайте потери на растворение, если известно, что растворимость борной кислоты в воде составляет 2,52 г на 100 г воды при 0 °С.

Часть 2: Анализ борной кислоты

Титрование – это метод количественного анализа, основанный на измерении объёма раствора реактива точно известной концентрации, расходуемого для полного протекания реакции с определяемым веществом неизвестной концентрации.

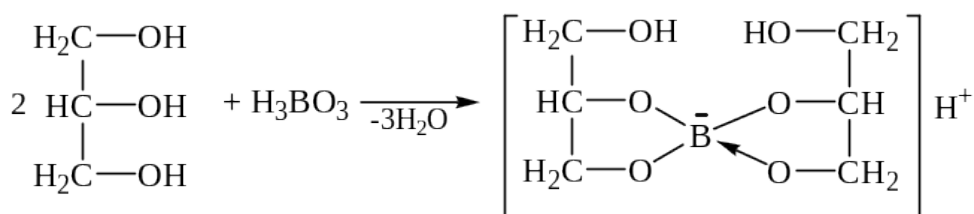
Для анализа в колбу для титрования отбирают аликвоту (пробу) анализируемого раствора, при необходимости добавляют индикатор. Бюретку заполняют раствором титранта (вещества с точно известной концентрацией), устанавливают нулевое деление. Титрование проводят, медленно приливая титрант из бюретки при постоянном перемешивании. При полном прохождении реакции изменяется окраска раствора, что свидетельствует о достижении конечной точки титрования. После этого фиксируют объём затраченного титранта, и рассчитывают концентрацию определяемого вещества, используя уравнение реакции.



5. Рассчитайте молярную концентрацию раствора гидроксида натрия, моль/л, если известно, что на титрование его аликвоты объемом 25,00 мл затрачено 11,3 мл соляной кислоты с концентрацией 0,0960 моль/л.

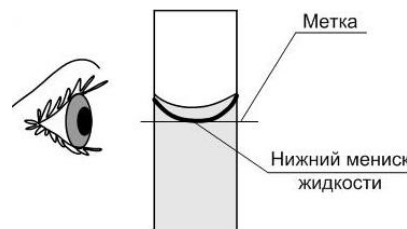
6. Борная кислота в водных растворах слишком слабая, чтобы осуществить прямое титрование щелочью. Что такое сила кислоты? Чем отличаются сильные и слабые кислоты?

Несмотря на то, что борная кислота слабая, при добавлении в анализируемый раствор глицерина образуется более сильная комплексная кислота, концентрацию которой уже можно определить прямым титрованием стандартным раствором щелочи:

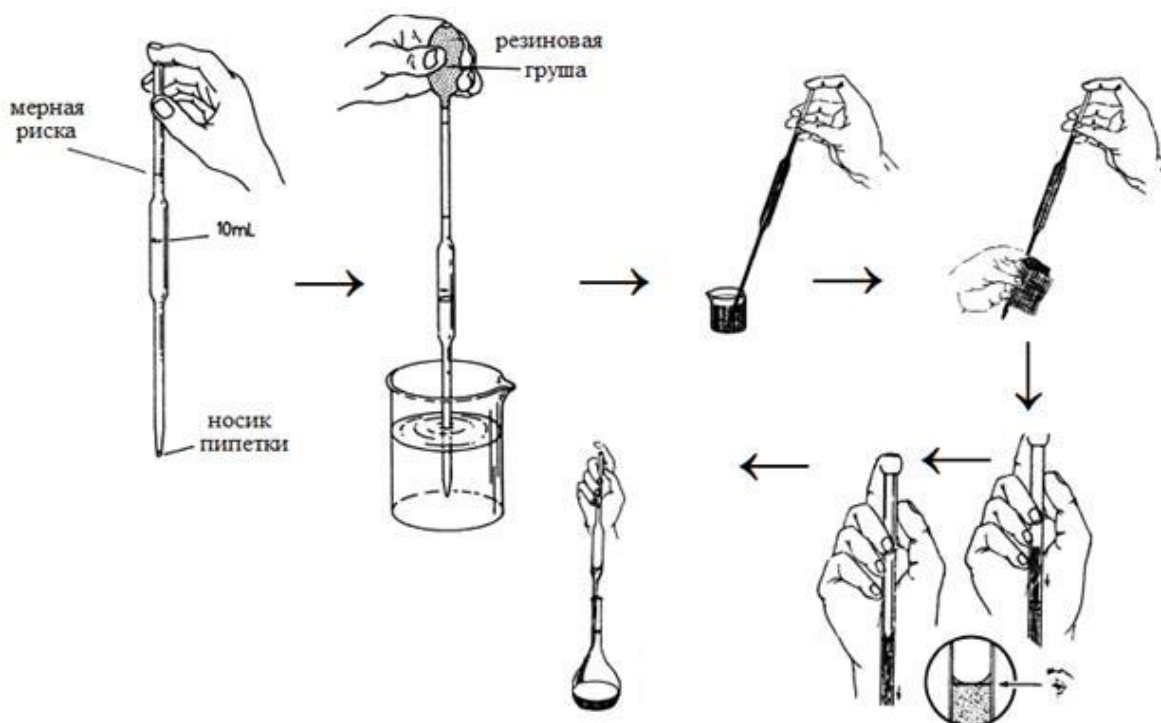


Используя предоставленные реактивы и оборудование, вам необходимо определить массовую долю борной кислоты в предоставленном образце с помощью метода кислотно-основного титрования.

1. Прилейте к образцу 20 мл дистиллированной воды, 25 мл глицерина, перемешайте и количественно перенесите раствор в мерную колбу, используя воронку. Если в контейнере остались крупинцы вещества, растворите их в небольшом количестве воды и также внесите в колбу, тщательно ополосните контейнер и воронку, собирая промывные воды в колбе.
2. Заполните мерную колбу водой строго до метки. Границу раствора по метке определяйте по нижнему мениску. Плотнo закройте колбу пробкой и тщательно перемешайте, переворачивая колбу вверх дном 30-40 раз.
3. Вам необходимо подготовить бюретку. Для этого слейте дистиллированную воду надавливанием на шарик и один раз ополосните ее изнутри небольшим объемом раствора гидроксида натрия. Для этого используйте маленькую воронку, не вынимая бюретку из зажима.



4. После этого заполните бюретку раствором титранта (гидроксида натрия) до нулевой отметки. Проверьте, чтобы в резиновой части бюретки не было пузырей. Если они есть, их необходимо удалить, направив носик под углом и слив раствор. Если у вас возникнут с этим трудности, обратитесь за помощью к членам жюри.
5. Небольшим количеством раствора из колбы ополосните химический стакан. Далее ополосните пипетку Мора исследуемым раствором. Для этого с помощью груши всосите в неё небольшое количество раствора. Не допуская слива в стакан с образцом, зажмите конец пипетки и ополосните её стенки раствором, слейте раствор в слив.
6. Используя пипетку Мора и грушу, отберите из стакана для анализа аликвоту 10 мл и перенесите в коническую колбу.



7. Добавьте 4-5 капель раствора фенолфталеина и приступайте к титрованию раствором гидроксида натрия. Титрование ведите до появления бледно-розовой окраски, не исчезающей в течение 30 секунд.
8. Для достоверности результатов проведите титрование еще раз (повтор шагов 4, 6-7). Не забывайте доливать титрант в бюретку до нулевой отметки перед каждым новым титрованием. Результат считается приемлемым, если различие между объемами титранта в каждом титровании не превышает 0,1 мл. При необходимости повторите анализ и отбросьте выпадающие значения.

9. Найдите среднее значение объема титранта и приступите к обработке результатов.

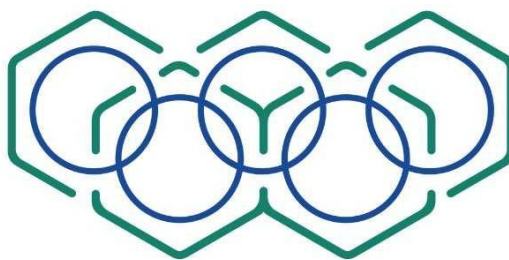
Титрование	V_1	V_2	V_3		
Объём, мл					

Среднее значение $V_{\text{ср}} =$ _____

7. Почему малиновая окраска индикатора нестабильна и при стоянии раствора он может снова обесцветиться?

8. По результатам титрования рассчитайте массовую долю борной кислоты в анализируемой пробе, если масса исходной навески составляла 1,2450 г. Приведите подробный расчет с указанием формулы в общем виде и подстановкой значений.

Массовая доля борной кислоты: _____



Большая олимпиада Росхим по химии и химической технологии

Задание экспериментального тура заключительного этапа 2025-2026 учебный год 10 класс

Дальнегорский горно-обогатительный комбинат (Приморский край, г. Дальнегорск) — единственный в России производитель борной кислоты, применяющейся в изготовлении огнеупорных материалов, стекла, в металлургии и медицине. Предприятие реализует полный технологический цикл производства, который включает добычу, обогащение и химическую переработку сырья. Сырьем является датолитовая руда Дальнегорского борного месторождения, где сосредоточено около 3 % мировых запасов бора.



Сегодня вам предстоит выступить в роли химика-технолога и смоделировать производственный процесс синтеза борной кислоты из минерального сырья, а затем провести её анализ.

Часть 1: Синтез борной кислоты

1. В качестве модельного сырья вы будете использовать кристаллогидрат тетрабората натрия $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, образующий минерал с кристаллами моноклинной сингонии. Установите его состав, если он содержит 71,3 % масс. кислорода. Как называется этот минерал?

Пусть кристаллогидрат имеет формулу $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, тогда

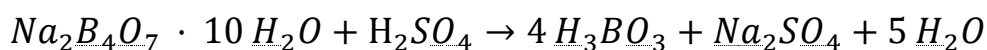
$$\omega(\text{O}) = \frac{(7+n) \cdot A_{\text{rO}}}{M(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7) + n \cdot M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{16 \cdot (7+n)}{201,2 + 18n} = 0,713, \text{ откуда } n \approx 10, \text{ т.е. минерал имеет формулу } \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}, \text{ это бура.}$$

2 балла за расчет состава, 1 балл за название, всего 3 балла

Взвесьте 2 г исходного тетрабората натрия. Отмерьте с помощью мерного цилиндра 10 мл горячей дистиллированной воды со стола общего пользования и добавьте ее к навеске, перемешивайте смесь стеклянной палочкой до завершения растворения. К полученному горячему раствору осторожно при перемешивании добавьте 7 мл 45 % серной кислоты, имеющей плотность 1,35 г/мл.

Полученный раствор медленно охладите сначала в кристаллизаторе со льдом, выпавший осадок борной кислоты отфильтруйте, собрав установку для фильтрования, используя воронку. После завершения фильтрации промойте осадок: налейте на фильтр с осадком около ~3 мл этанола и дождитесь его стекания. Продукт просушите между листами фильтровальной бумаги.

2. Приведите уравнение реакции синтеза.



2 балла за уравнение реакции

3. Рассчитайте максимальную массу борной кислоты, которая теоретически образуется по описанной методике.

$$n(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O})}{M(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O})} = \frac{2,00}{381,38} \approx 0,0052 \text{ моль}$$

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{V(\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ р-ра}) \cdot \rho \cdot \omega}{M(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{7 \cdot 1,35 \cdot 0,45}{98} \approx 0,043 \text{ моль.}$$

Кислота в большом избытке, поэтому

$$n(\text{H}_3\text{BO}_3) = 4n(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 4 \cdot 0,0052 = 0,0208 \text{ моль}$$

$$m(\text{H}_3\text{BO}_3) = 0,0208 \cdot 61,8 \approx 1,285 \text{ г}$$

2 балла за расчет массы

4. Рассчитайте потери на растворение, если известно, что растворимость борной кислоты в воде составляет 2,52 г на 100 г воды при 0 °С.

Рассчитаем общую массу воды в системе к моменту фильтрации: 10 г воды добавлено изначально, раствор кислоты содержит

$$m_{\text{H}_2\text{O}}^{(\text{H}_2\text{SO}_4)} = V_{\text{р-ра}} \cdot \rho_{\text{р-ра}} \cdot (1 - \omega_{\text{H}_2\text{SO}_4}) = m_{\text{H}_2\text{O}} = 7 \cdot 1,35 \cdot 0,55 = 5,20 \text{ г.}$$

Также вода выделяется из кристаллогидрата в ходе реакции

$$m = n(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) \cdot 5 \cdot M(\text{H}_2\text{O}) = 0,0052 \cdot 5 \cdot 18 \approx 0,468 \text{ г.}$$

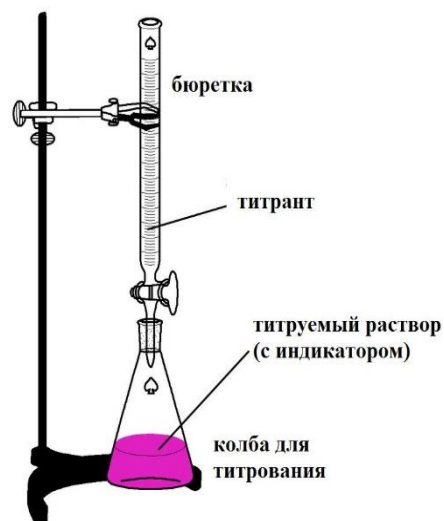
Таким образом, общая масса воды в системе составляет 15,668 г, что соответствует потере 0,395 г борной кислоты в фильтрате.

2 балла за расчет потерь (если учтены не все источники воды – 1 балл)

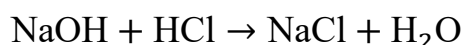
Часть 2: Анализ борной кислоты

Титрование – это метод количественного анализа, основанный на измерении объёма раствора реактива точно известной концентрации, расходуемого для полного протекания реакции с определяемым веществом неизвестной концентрации.

Для анализа в колбу для титрования отбирают аликвоту (пробу) анализируемого раствора, при необходимости добавляют индикатор. Бюретку заполняют раствором титранта (вещества с точно известной концентрацией), устанавливают нулевое деление. Титрование проводят, медленно приливая титрант из бюретки при постоянном перемешивании. При полном прохождении реакции изменяется окраска раствора, что свидетельствует о достижении конечной точки титрования. После этого фиксируют объём затраченного титранта, и рассчитывают концентрацию определяемого вещества, используя уравнение реакции.



5. Рассчитайте молярную концентрацию раствора гидроксида натрия, моль/л, если известно, что на титрование его аликвоты объемом 25,00 мл затрачено 11,3 мл соляной кислоты с концентрацией 0,0960 моль/л.



$$C_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} = C_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}}$$

$$C_{\text{NaOH}} = \frac{C_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}}}{V_{\text{NaOH}}} = \frac{0,0960 \cdot 0,0113}{0,02500} = \frac{0,0010848}{0,02500} = 0,0434 \text{ моль/л}$$

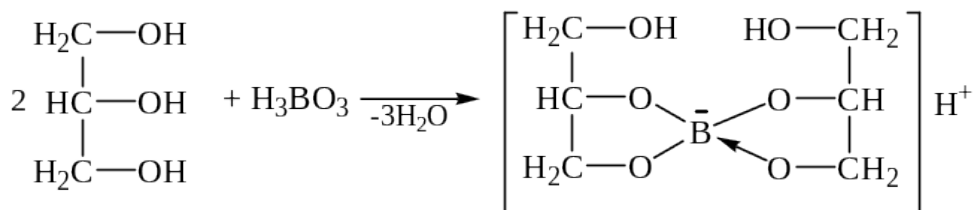
3 балла (если допущена ошибка в единицах измерения величин, но логика верная, 2 балла)

6. Борная кислота в водных растворах слишком слабая, чтобы осуществить прямое титрование щелочью. Что такое сила кислоты? Чем отличаются сильные и слабые кислоты?

Сила кислоты — способность отдавать протон, количественно выражаемая константой кислотности; сильные кислоты диссоциируют в воде практически полностью, слабые — лишь частично, что определяет разницу в рН растворов одинаковой концентрации.

2 балла (оценивается любое разумное объяснение, допускается не ссылаться на константу кислотности)

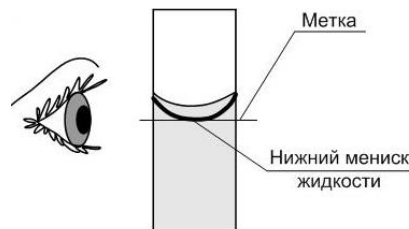
Несмотря на то, что борная кислота слабая, при добавлении в анализируемый раствор глицерина образуется более сильная комплексная кислота, концентрацию которой уже можно определить прямым титрованием стандартным раствором щелочи:



Используя предоставленные реактивы и оборудование, вам необходимо определить массовую долю борной кислоты в предоставленном образце с помощью метода кислотно-основного титрования.

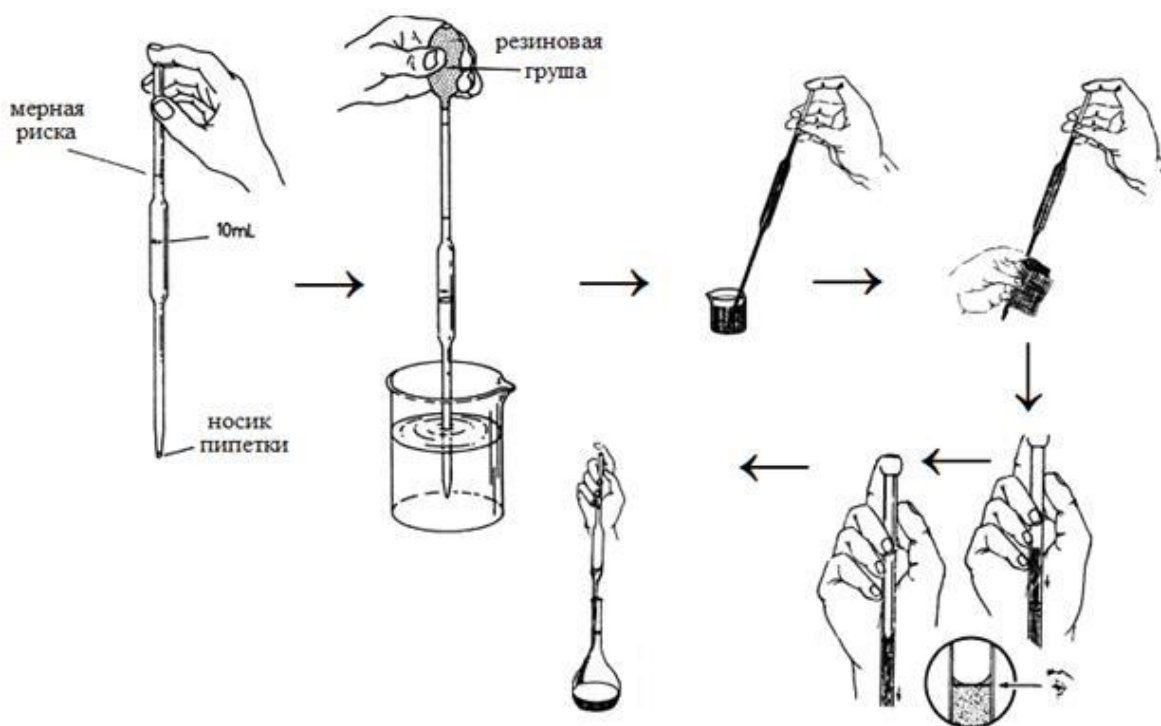
1. Прилейте к образцу 20 мл дистиллированной воды, 25 мл глицерина, перемешайте и количественно перенесите раствор в мерную колбу, используя воронку. Если в контейнере остались крупинцы вещества, растворите их в небольшом количестве воды и также внесите в колбу, тщательно ополосните контейнер и воронку, собирая промывные воды в колбе.

2. Заполните мерную колбу водой строго до метки. Границу раствора по метке определяйте по нижнему мениску. Плотнo закройте колбу пробкой и тщательно перемешайте, переворачивая колбу вверх дном 30-40 раз.



3. Вам необходимо подготовить бюретку. Для этого слейте дистиллированную воду надавливанием на шарик и один раз ополосните ее изнутри небольшим объемом раствора гидроксида натрия. Для этого используйте маленькую воронку, не вынимая бюретку из зажима.

4. После этого заполните бюретку раствором титранта (гидроксида натрия) до нулевой отметки. Проверьте, чтобы в резиновой части бюретки не было пузырей. Если они есть, их необходимо удалить, направив носик под углом и слив раствор. Если у вас возникнут с этим трудности, обратитесь за помощью к членам жюри.
5. Небольшим количеством раствора из колбы ополосните химический стакан. Далее ополосните пипетку Мора исследуемым раствором. Для этого с помощью груши всосите в неё небольшое количество раствора. Не допуская слива в стакан с образцом, зажмите конец пипетки и ополосните её стенки раствором, слейте раствор в слив.
6. Используя пипетку Мора и грушу, отберите из стакана для анализа аликвоту 10 мл и перенесите в коническую колбу.



7. Добавьте 4-5 капль раствора фенолфталеина и приступайте к титрованию раствором гидроксида натрия. Титрование ведите до появления бледно-розовой окраски, не исчезающей в течение 30 секунд.
8. Для достоверности результатов проведите титрование еще раз (повтор шагов 4, 6-7). Не забывайте доливать титрант в бюретку до нулевой отметки перед каждым новым титрованием. Результат считается приемлемым, если различие между объемами титранта в каждом титровании не превышает 0,1 мл. При необходимости повторите анализ и отбросьте выпадающие значения.

9. Найдите среднее значение объема титранта и приступите к обработке результатов.

Титрование	V ₁	V ₂	V ₃		
Объём, мл	Значение участника	Значение участника	Значение участника		

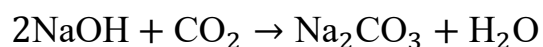
Точность определения борной кислоты оценивается, исходя из разницы между величиной среднего объема титранта $V_{\text{ср}}$, который участник затратил на титрование, и ожидаемым значением $V_{\text{теор}}$: $\Delta V = |V_{\text{ср}} - V_{\text{теор}}|$ в соответствии с таблицей:

ΔV , мл	Баллы
$\leq 0,30$	14
0,30 – 0,60	12
0,60 – 1,20	10
1,20 – 1,80	8
$\geq 1,80$	6

При этом в случае, если при расчете $V_{\text{ср}}$ участник использовал объемы, отличающиеся между собой больше, чем на 0,2 мл, оценка снижается на 2 балла

7. Почему малиновая окраска индикатора нестабильна и при стоянии раствора он может снова обесцветиться?

При длительном стоянии раствора щелочь может поглотить углекислый газ из воздуха:



2 балла (оценивается и без реакции)

8. По результатам титрования рассчитайте массовую долю борной кислоты в анализируемой пробе, если масса исходной навески составляла 1,2450 г. Приведите подробный расчет с указанием формулы в общем виде и подстановкой значений.

В ходе определения щелочь и кислота реагируют в соотношении 1:1, поэтому количество вещества в аликвоте

$$n_{\text{H}_3\text{BO}_3, \text{ал}} = n_{\text{NaOH}} = C_{\text{NaOH}} \cdot \frac{\text{моль}}{\text{л}} \cdot V_{\text{ср, мл}} \cdot 10^{-3}, \text{ в мерной колбе}$$

$$n_{\text{H}_3\text{BO}_3, \text{м.к.}} = n_{\text{H}_3\text{BO}_3, \text{ал}} \cdot \frac{V_{\text{м.к.}}}{V_{\text{ал}}} = n_{\text{NaOH}} \cdot \frac{100}{10} = n_{\text{NaOH}} \cdot 10$$

$$m_{\text{H}_3\text{BO}_3} = n_{\text{H}_3\text{BO}_3, \text{общ}} \cdot M_{\text{H}_3\text{BO}_3}, \omega_{\text{H}_3\text{BO}_3} = \frac{m_{\text{H}_3\text{BO}_3}}{m_{\text{навески}}} \cdot 100 \%, \text{ откуда}$$

$$\omega_{\text{H}_3\text{BO}_3}, \% = \frac{C_{\text{NaOH}, \frac{\text{моль}}{\text{л}}} \cdot V_{\text{ср, мл}} \cdot 10^{-3} \cdot \frac{V_{\text{м.к., мл}}}{V_{\text{ал, мл}}} \cdot M_{\text{H}_3\text{BO}_3, \text{г/моль}} \cdot 100}{m_{\text{навески, г}}} = \frac{C_{\text{NaOH}, \frac{\text{моль}}{\text{л}}} \cdot V_{\text{ср, мл}} \cdot 61,8}{1,2450}$$

4 балла (оценивается вывод формулы или логика расчета безотносительно точности титрования. При частично верном решении: **1 балл** за расчет количества вещества в аликвоте, **1 балл** за учет разбавления, **1 балл** за формулу массовой доли)

Система оценивания:

Теоретическая часть

- | | | | |
|--|----------|----------|---------|
| 1. Расчет состава кристаллогидрата | 2 балла, | название | 3 балла |
| минерала | 1 балл | | |
| 2. Уравнение реакции синтеза | | | 2 балла |
| 3. Расчет максимальной массы продукта | | | 2 балла |
| 4. Расчет потерь на растворение | | | 2 балла |
| 5. Расчет концентрации щелочи | | | 3 балла |
| 6. Ответ на вопрос | | | 2 балла |
| 7. Ответ на вопрос | | | 2 балла |
| 8. Расчет массовой доли борной кислоты | | | 4 балла |

Экспериментальная часть

- | | |
|---|-----------|
| 9. Проведение синтеза | 6 баллов |
| 10. Определение среднего значения объема титранта | 14 баллов |

ИТОГО 40 баллов

Штрафные баллы: 2 балла за бой посуды (каждый случай),
2 балла за повторную выдачу навески для анализа,
4 балла за грубое нарушение правил техники безопасности