

**БОЛЬШАЯ
ОЛИМПИАДА
Росхим**

ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ

Фамилия

Имя

Отчество (при наличии)

Класс

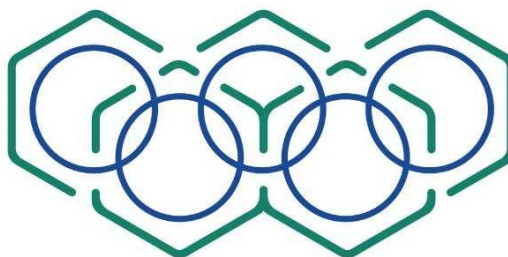
**Сокращенное
наименование
образовательной
организации**

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	

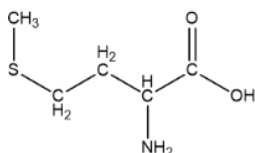
С выставленными баллами согласен (согласна): _____ (_____)
подпись Фамилия И.О.



Большая олимпиада Росхим по химии и химической технологии

Задание экспериментального тура заключительного этапа 2025-2026 учебный год 11 класс

Предприятие «Волжский оргсинтез» (Волгоградская область, г. Волжский) является единственным в России производителем метионина. Метионин – серосодержащая незаменимая аминокислота, кормовой метионин используют в рационе питания сельскохозяйственных животных и птиц в виде добавки. «Волжский оргсинтез» выпускает более 25 тыс. тонн метионина ежегодно, но это не может удовлетворить растущий спрос. АО «Росхим» реализует масштабный инвестиционный проект, который позволит увеличить объем продукции до 100 тыс. тонн в год, преодолеть импортозависимость и укрепить продовольственную безопасность России.

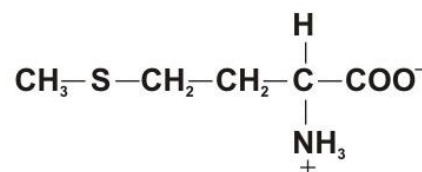
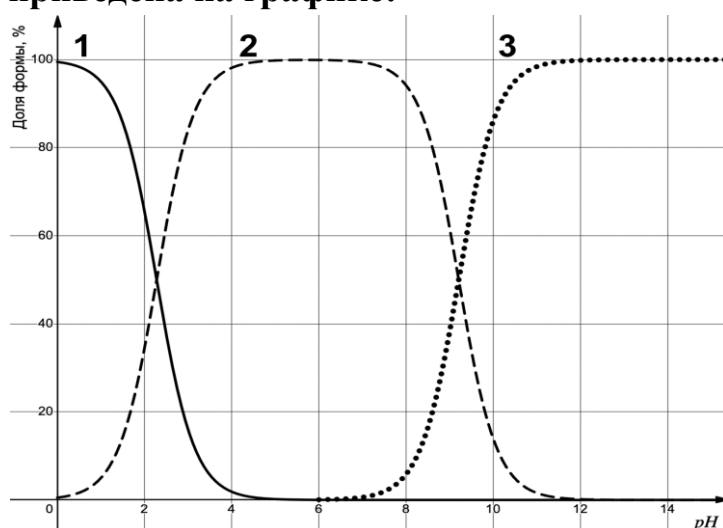


Сегодня вам предстоит выступить в роли сотрудника заводской лаборатории и провести химический анализ в рамках контроля качества кормового метионина методом окислительно-восстановительного титрования.

Анализ длительный, поэтому мы рекомендуем вам кратко ознакомиться с теоретической частью и приступить к эксперименту – вы сможете уделить время проработке ответов на теоретические вопросы в ходе анализа.

1. В ходе определения боковая цепь метионина окисляется иодом, реагируя в соотношении 1:1. Образуется продукт, который содержит 29,1 % кислорода и не содержит иода. Запишите уравнение протекающей реакции, используя структурные формулы для органических веществ.

2. В водном растворе метионин существует в виде 3 форм. Зависимость доли каждой из них от pH водного раствора метионина приведена на графике:



Какой из кривых отвечает форма существования метионина в виде биполярного цвиттер-иона, показанного на рисунке? Каким структурам форм соответствуют другие две кривые?

- 3. В ходе анализа образуются кислоты. Чтобы исключить влияние этого фактора, используют буферный раствор – раствор, который поддерживает постоянное значение pH раствора при добавлении небольших количеств сильной кислоты или основания. Приведите уравнения реакций (в ионном виде), объясняющие способность фосфорного буферного раствора, состоящего из смеси гидрофосфата и дигидрофосфата калия, поддерживать значение pH при добавлении кислоты и основания.**

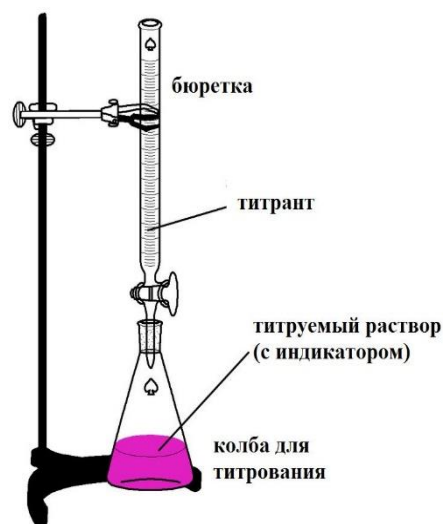
Титрование – это метод количественного анализа, основанный на измерении объёма раствора реактива точно известной концентрации, расходуемого для полного протекания реакции с определяемым веществом неизвестной концентрации. В методе иодометрии в качестве стандартного раствора с точно известной концентрацией используют растворы иода и тиосульфата натрия. Фиксирование конечной точки титрования проводят в присутствии индикатора – крахмала. В ходе титрования из-за протекающей реакции он обесцвечивается.

- 4. В ходе титрования иод и тиосульфат натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ реагируют в соотношении 1:2, образуя 2 соли. Приведите уравнение реакции.**

- 5. Почему в ходе титрования раствора иода тиосульфатом натрия раствор приобретает синюю окраску?**

6. Тиосульфат натрия нестабилен при хранении, поэтому концентрацию его растворов устанавливают с помощью стандартизации – к раствору точной навески дихромата калия добавляют избыток иодида калия, выделяется иод, который потом оттитровывают. Приведите уравнение реакции.

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 объем затраченного титранта, и рассчитывают концентрацию определяемого вещества, используя уравнение реакции.

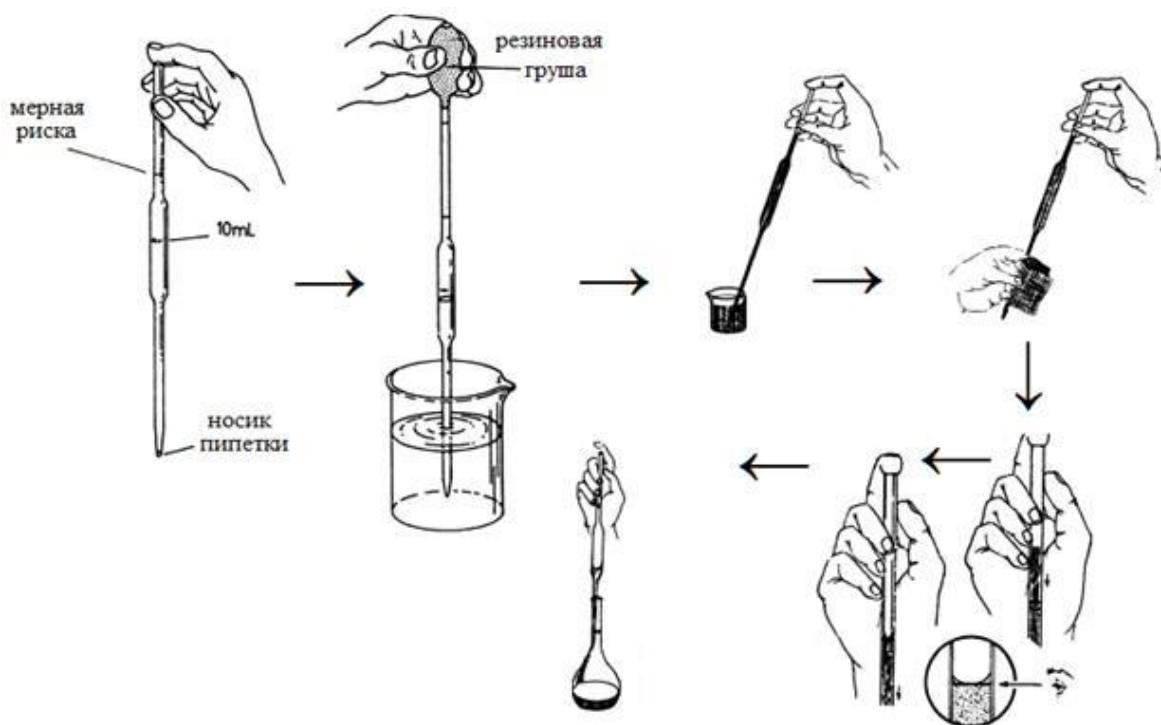
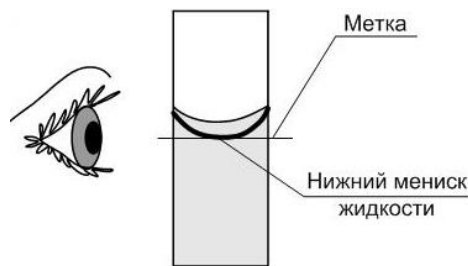


7. Рассчитайте объем раствора тиосульфата натрия с концентрацией 0,1000 моль/л, который будет затрачен на титрование аликвоты раствора иода с концентрацией 0,0500 моль/л объемом 50,00 мл. Приведите расчет.

Методика проведения работы:

Используя предоставленные реактивы и оборудование, вам необходимо определить массовую долю метионина в предоставленном образце полупродукта с помощью метода обратного иодометрического титрования.

1. В контейнере находится навеска исследуемого образца. Вам необходимо количественно перенести его в мерную колбу. Для этого аккуратно пересыпьте навеску из контейнера в мерную колбу через воронку. Мерным цилиндром отберите 50 мл фосфорного буферного раствора и ополосните контейнер 3-4 раза в мерную колбу этим объемом. Не переворачивая колбы, перемешайте раствор для полного растворения образца. Заполните колбу дистиллированной водой строго до метки, границу раствора по метке определяйте по нижнему мениску жидкости.
2. 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.
3. Используя пипетку Мора и грушу, отберите из стакана для анализа аликвоту 10 мл и перенесите в коническую колбу.



4. В эту же колбу внесите мерным цилиндром 40 мл фосфорного буферного раствора и 10 мл иодида калия, находящихся на столе общего пользования. Тщательно перемешайте раствор. С помощью бюретки, находящейся на общем столе, внесите в колбу 50,00 мл стандартного раствора иода (его концентрация указана на колбе). Закрыв колбу, поместите её в темное место на 30 мин, засеките время.
5. Вам необходимо подготовить бюретку. Для этого слейте дистиллированную воду надавливанием на шарик и один раз ополосните ее изнутри небольшим объемом раствора тиосульфата натрия. Для этого используйте маленькую воронку, не вынимая бюретку из зажима.
6. После этого заполните бюретку раствором титранта (тиосульфата 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.
7. По истечении получаса, вытащите коническую колбу, ополосните пробку и начните прибавлять раствор титранта из бюретки. Титруйте по каплям до момента, когда раствор приобретет бледную соломенно-желтую окраску. Добавьте 1 мл раствора крахмала, находящегося на общем столе, раствор приобретет синий цвет. Медленно продолжите титрование до полного обесцвечивания раствора (если в растворе находится взвесь синих крупинок – они тоже должны обесцветиться), после прибавления каждой капли сильно перемешивайте. Запишите затраченный объем раствора титранта в таблицу ниже.
8. Для достоверности результатов проведите титрование еще раз (повтор шагов 3-4, 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		
Объем, мл					

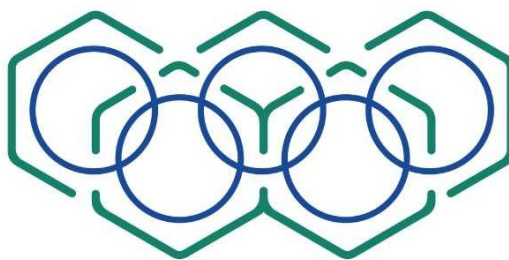
Среднее значение $V_{\text{ср}} =$ _____

8. а) Почему в ходе пробоподготовки необходимо выдерживать раствор 30 минут? б) Почему для определения метионина нельзя использовать прямое титрование иодом (без избытка и ожидания по каплям добавлять иод)?

9. Почему к пробе добавляют избыток раствора иодида калия? Подтвердите уравнением реакции.

10. По результатам титрования рассчитайте массовую долю метионина в анализируемой пробе, если масса исходной навески составляла 2,8450 г. Приведите подробный расчет с указанием формулы в общем виде и подстановкой значений.

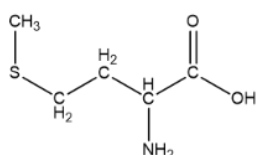
Массовая доля метионина: _____



Большая олимпиада Росхим по химии и химической технологии

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

Предприятие «Волжский оргсинтез» (Волгоградская область, г. Волжский) является единственным в России производителем метионина. Метионин – серосодержащая незаменимая аминокислота, кормовой метионин используют в рационе питания сельскохозяйственных животных и птиц в виде добавки. «Волжский оргсинтез» выпускает более 25 тыс. тонн метионина ежегодно, но это не может удовлетворить растущий спрос. АО «Росхим» реализует масштабный инвестиционный проект, который позволит увеличить объем продукции до 100 тыс. тонн в год, преодолеть импортозависимость и укрепить продовольственную безопасность России.

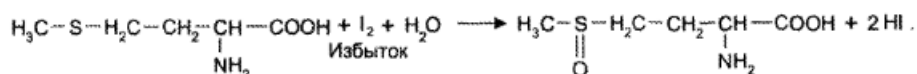


Сегодня вам предстоит выступить в роли сотрудника заводской лаборатории и провести химический анализ в рамках контроля качества кормового метионина методом окислительно-восстановительного титрования.

Анализ длительный, поэтому мы рекомендуем вам кратко ознакомиться с теоретической частью и приступить к эксперименту – вы сможете уделить время проработке ответов на теоретические вопросы в ходе анализа.

1. В ходе определения боковая цепь метионина окисляется иодом, реагируя в соотношении 1:1. Образуется продукт, который содержит 29,1 % кислорода и не содержит иода. Запишите уравнение протекающей реакции, используя структурные формулы для органических веществ.

Иод — мягкий окислитель. Поскольку сказано, что окисляется боковая цепь, причем реакция протекает в соотношении 1:1 (двухэлектронное окисление), логично предположить образование сульфоксида:

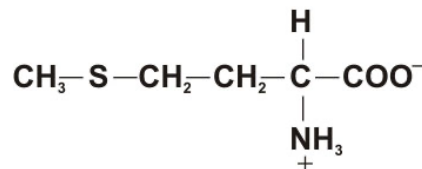
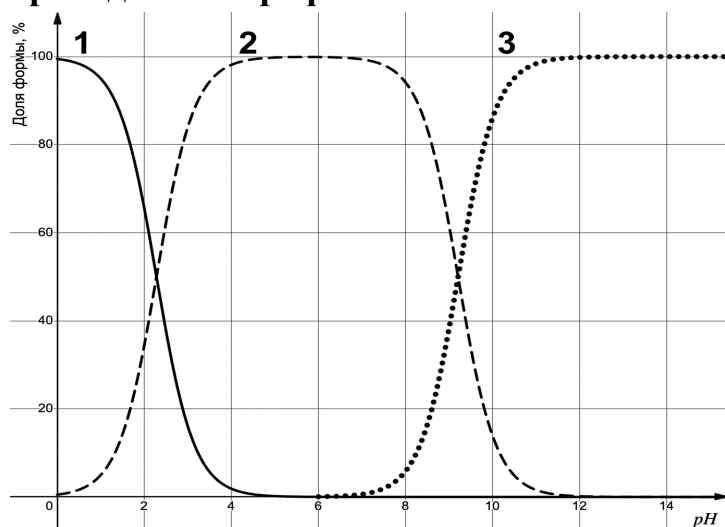


Это подтверждается расчетом массовой доли:

$$\omega(\text{O}) = \frac{n(\text{O}) \cdot A_r(\text{O})}{M(\text{C}_5\text{H}_{11}\text{NO}_3\text{S})} = \frac{3 \cdot 16}{165} \approx 0,2909 = 29,1 \%$$

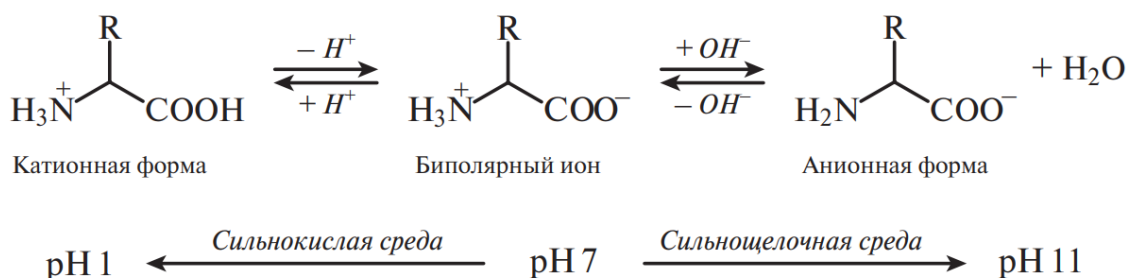
2 балла за уравнение реакции (расчет не требуется)

2. В водном растворе метионин существует в виде 3 форм. Зависимость доли каждой из них от pH водного раствора метионина приведена на графике:



Какой из кривых отвечает форма существования метионина в виде биполярного цвиттер-иона, показанного на рисунке? Каким структурам форм соответствуют другие две кривые?

Биполярному цвиттер-иону отвечает кривая 2 (максимум в среднем диапазоне pH). В кислой среде (кривая 1) аминогруппа протонирована, карбоксильная группа не диссоциирована, в щелочной среде (кривая 2) – диссоциирует карбоксильная группа, аминогруппа не диссоциирована:



1 балл за выбор кривой для цвиттер-иона, по 1 баллу за структурные формулы катионной, анионной форм, всего 3 балла

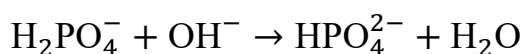
3. В ходе анализа образуется кислота. Чтобы исключить влияние этого фактора, используют буферный раствор – раствор, который поддерживает постоянное значение pH раствора при добавлении небольших количеств сильной кислоты или основания. Приведите уравнения реакций (в ионном виде), объясняющие способность фосфорного буферного раствора, состоящего из смеси гидрофосфата и дигидрофосфата калия, поддерживать значение pH при добавлении кислоты и основания.

В рассматриваемом буферном растворе существует равновесие сопряженной пары основание/кислота $\text{H}_2\text{PO}_4^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HPO}_4^{2-}$, смещающееся при добавлении кислот или щелочей и компенсирующее это воздействие

При добавлении сильной кислоты:



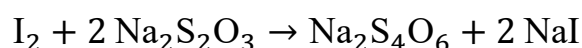
При добавлении сильного основания:



по 1 баллу за уравнения реакций, всего 2 балла

Титрование – это метод количественного анализа, основанный на измерении объёма раствора реактива точно известной концентрации, расходуемого для полного протекания реакции с определяемым веществом неизвестной концентрации. В методе иодометрии в качестве стандартного раствора с точно известной концентрацией используют растворы иода и тиосульфата натрия. Фиксирование конечной точки титрования проводят в присутствии индикатора – крахмала. В ходе титрования из-за протекающей реакции он обесцвечивается.

- 4. В ходе титрования иод и тиосульфат натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ реагируют в соотношении 1:2, образуя 2 соли. Приведите уравнение реакции.**



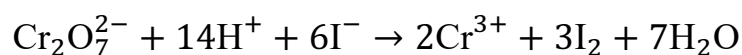
1 балл за уравнение реакции

- 5. Почему в ходе титрования раствора иода тиосульфатом натрия раствор приобретает синюю окраску?**

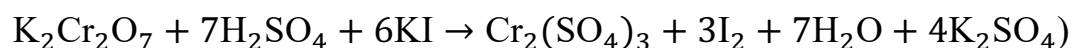
Крахмал с молекулярным иодом (I_2) образует синий комплекс включения (клатрат), в котором молекулы иода находятся внутри спиралей амилозы. Эта реакция очень чувствительна: даже при малых концентрациях I_2 появляется интенсивное синее окрашивание.

1 балл за объяснение

- 6. Тиосульфат натрия нестабилен при хранении, поэтому концентрацию его растворов устанавливают с помощью стандартизации – к раствору точной навески дихромата калия добавляют избыток иодида калия, выделяется иод, который потом оттитровывают. Приведите уравнение реакции.**

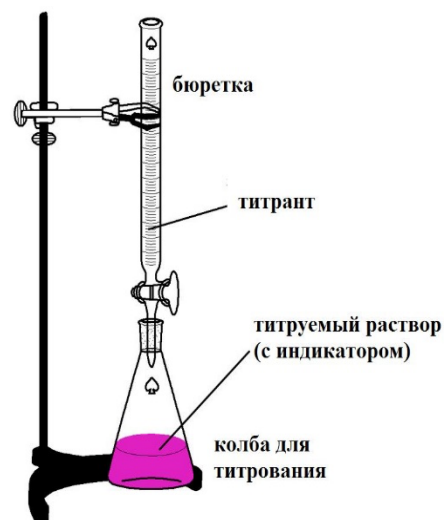


(допускается в молекулярном виде взять любую подходящую кислоту:



2 балла за уравнение реакции

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 объем затраченного титранта, и рассчитывают концентрацию определяемого вещества, используя уравнение реакции.



- 7. Рассчитайте объем раствора тиосульфата натрия с концентрацией 0,1000 моль/л, который будет затрачен на титрование аликвоты раствора иода с концентрацией 0,0500 моль/л объемом 50,00 мл. Приведите расчет.**

Количество вещества иода в аликвоте

$$n(I_2) = C(I_2) \cdot V(I_2) = 0,0500 \text{ моль/л} \times 0,05000 \text{ л} = 0,0025 \text{ моль}$$

Поскольку иод и тиосульфат реагируют в соотношении 1:2,
 $n(Na_2S_2O_3) = 2 \cdot n(I_2) = 2 \times 0,002500 = 0,0050 \text{ моль}$, что отвечает

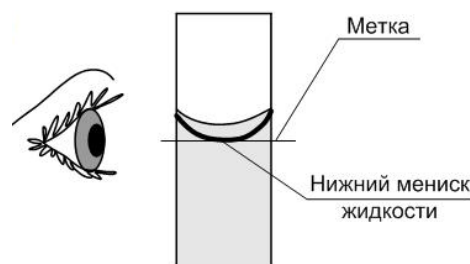
$$V(Na_2S_2O_3) = \frac{n(Na_2S_2O_3)}{C(Na_2S_2O_3)} = \frac{0,005000}{0,1000} = 0,05000 \text{ л} = 50,00 \text{ мл}$$

2 балла за расчет объема титранта

Методика проведения работы:

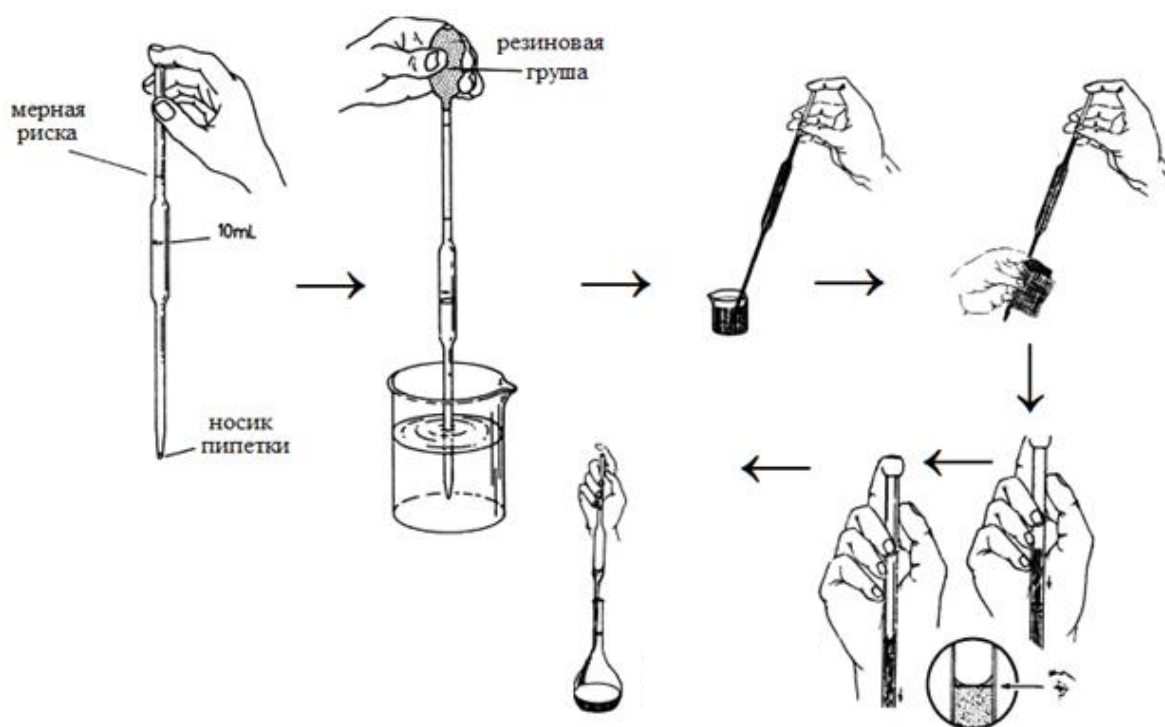
Используя предоставленные реактивы и оборудование, вам необходимо определить массовую долю метионина в предоставленном образце полупродукта с помощью метода обратного иодометрического титрования.

1. В контейнере находится навеска исследуемого образца. Вам необходимо количественно перенести его в мерную колбу. Для этого аккуратно пересыпьте навеску из контейнера в мерную колбу через воронку. Мерным цилиндром отберите 50 мл фосфорного буферного раствора и ополосните контейнер 3-4 раза



в мерную колбу этим объемом. Не переворачивая колбы, перемешайте раствор для полного растворения образца. Заполните колбу дистиллированной водой строго до метки, границу раствора по метке определяйте по нижнему мениску жидкости.

2. 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.
3. Используя пипетку Мора и грушу, отберите из стакана для анализа аликвоту 10 мл и перенесите в коническую колбу.



4. В эту же колбу внесите мерным цилиндром 40 мл фосфорного буферного раствора и 10 мл иодида калия, находящихся на столе общего пользования. Тщательно перемешайте раствор. С помощью бюретки, находящейся на общем столе, внесите в колбу 50,00 мл стандартного раствора иода (его концентрация указана на колбе). Закрыв колбу, поместите её в темное место на 30 мин, засекайте время.
5. Вам необходимо подготовить бюретку. Для этого слейте дистиллированную воду надавливанием на шарик и один раз ополосните ее изнутри небольшим объемом раствора тиосульфата натрия. Для этого используйте маленькую воронку, не вынимая бюретку из зажима.
6. После этого заполните бюретку раствором титранта (тиосульфата 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.

7. По истечении получаса, вытащите коническую колбу, ополосните пробку и начните прибавлять раствор титранта из бюретки. Титруйте по каплям до момента, когда раствор приобретет бледную соломенно-желтую окраску. Добавьте 1 мл раствора крахмала, находящегося на общем столе, раствор приобретет синий цвет. Медленно продолжите титрование до полного обесцвечивания раствора (если в растворе находится взвесь синих крупинок – они тоже должны обесцветиться), после прибавления каждой капли сильно перемешивайте. Запишите затраченный объем раствора титранта в таблицу ниже.
8. Для достоверности результатов проведите титрование еще раз (повтор шагов 3-4, 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		
Объем, 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
$\leq 0,30$	20
0,30 – 0,60	17
0,60 – 1,20	14
1,20 – 1,80	12
$\geq 1,80$	10

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

8. а) Почему в ходе пробоподготовки необходимо выдерживать раствор 30 минут? б) Почему для определения метионина нельзя использовать прямое титрование иодом (без избытка и ожидания по каплям добавлять иод)?

а) Реакция окисления метионина иодом протекает не мгновенно, а с конечной скоростью. Для количественного превращения требуется время. Выдержка обеспечивает полноту реакции, без которой результаты титрования будут заниженными.

б) Из-за того, что реакция медленна, окраска иода и иодкрахмального комплекса будет исчезать медленно, поэтому сложно зафиксировать конечную точку титрования.

по 1 баллу за разумное объяснение, всего 2 балла

9. Почему к пробе добавляют избыток раствора иодида калия? Подтвердите уравнением реакции.

Иод плохо растворим в воде, его растворимость повышают добавлением иодид-ионов: $I_2 + I^- \rightleftharpoons I_3^-$ (принимается $I_2 + KI \rightarrow KI_3$).

1 балл за уравнение реакции

10. По результатам титрования рассчитайте массовую долю метионина в анализируемой пробе, если масса исходной навески составляла 2,8450 г. Приведите подробный расчет с указанием формулы в общем виде и подстановкой значений.

Количество добавленного иода:

$$n(I_2)_{\text{доб}} = C(I_2) \cdot V(I_2) = 0,0500 \cdot 0,05000 = 0,0025 \text{ моль}$$

Количество иода, оставшегося после реакции с метионином (находят по титрованию тиосульфатом):

$$n(I_2)_{\text{ост}} = \frac{1}{2} \cdot C(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \cdot V_{\text{ср}} = \frac{0,1000 \cdot V_{\text{ср,МЛ}}}{2 \cdot 1000} = \frac{V_{\text{ср,МЛ}}}{20000} \text{ моль}$$

Количество иода, прореагировавшего с метионином в аликвоте:

$$n(I_2)_{\text{реак}} = n(I_2)_{\text{доб}} - n(I_2)_{\text{ост}} = 0,0025 - \frac{V_{\text{ср,МЛ}}}{20000}$$

При этом они реагируют в соотношении 1:1 $n_{\text{мет, алик}} = n(I_2)_{\text{реак}}$, тогда масса метионина в аликвоте

$$m_{\text{мет, алик}} = n_{\text{мет, алик}} \cdot M = M(0,002500 - \frac{V_{\text{ср}}}{20000})$$

масса в мерной колбе

$$m_{\text{мет, общ}} = 10 \cdot m_{\text{мет, алик}} = 10 \cdot M(0,002500 - \frac{V_{\text{ср}}}{20000})$$

Массовая доля (в процентах):

$$w\% = \frac{m_{\text{мет, общ}}}{m_{\text{нав}}} \cdot 100\% = \frac{10 \cdot M(0,002500 - \frac{V_{\text{ср}}}{20000})}{m_{\text{нав}}} \cdot 100\%$$

Вывод формулы и расчет массовой доли 4 балла

Система оценивания:

Теоретическая часть

- | | |
|---|---------|
| 1. Уравнение реакции 2 балла | 2 балла |
| 2. Выбор кривой для цвиттер-иона 1 балл, структурные формулы катионной, анионной форм 2 балла | 3 балла |
| 3. Уравнения реакций 1 балл | 2 балла |
| 4. Уравнение реакции 1 балл | 1 балл |
| 5. Ответ на вопрос | 1 балл |
| 6. Уравнение реакции 2 балла | 2 балла |
| 7. Расчет объема титранта | 2 балла |

- | | |
|--|----------------|
| 8. Ответы на вопрос <i>1 балл</i> | 2 балла |
| 9. Уравнение реакции <i>1 балл</i> | 1 балл |
| 10. Вывод формулы и расчет массовой доли | 4 балла |

Экспериментальная часть

Определение среднего значения объема титранта	20 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