

Практические задачи

Правила техники безопасности

В лаборатории невозможно полностью избежать работы с вредными материалами. Химик должен уметь обращаться с ними. Организаторы олимпиады ожидают от участников знания основных правил техники безопасности. Например, школьники должны знать, что есть, пить, курить в лаборатории или пробовать вещества на вкус **строго запрещается**.

Помимо общих правил техники безопасности, участники должны во время олимпиады соблюдать особые правила, перечисленные ниже. По всем вопросам, связанным с обеспечением безопасной работы, студенты должны незамедлительно обращаться к инструктору.

Правила индивидуальной защиты

1. На протяжении всего времени нахождения в лаборатории школьники, в том числе носящие контактные линзы, не имеют права снимать защитные очки. Очки предоставляются организаторами олимпиады.
2. На протяжении всего времени нахождения в лаборатории школьники должны носить лабораторный халат. Халат надо взять с собой на олимпиаду.
3. Работать в лаборатории в шортах запрещается. Допускается ношение только закрытой обуви. Длинные волосы надлежит собрать и перевязать.
4. Строго запрещено тянуть жидкость в пипетку ртом. Каждый школьник получит специальную грушу или устройство для переноса жидкости в пипетку.

Правила обращения с веществами и материалами

1. Во время олимпиады правила обращения с вредными материалами будут включены в описание методик эксперимента. Все потенциально опасные вещества и материалы будут помечены общепринятыми символами. Школьник несет персональную ответственность за знание этих символов и понимание их смысла.
2. Запрещается без разбора сливать отходы и использованные реактивы в раковину. Правила обращения с отходами будут указаны организаторами олимпиады.

Рекомендации по технике безопасности для организаторов олимпиады

1. Во время экспериментального тура лаборатории должны быть обеспечены средствами первой помощи.
2. Школьники должны быть проинформированы о методах обращения с опасными

веществами и материалами.

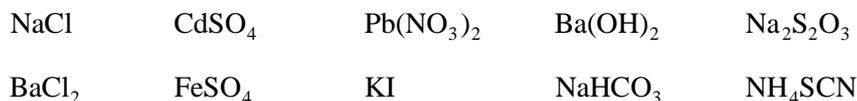
- a) Правила обращения с каждым из опасных веществ должны быть указаны в описаниях лабораторных работ.
 - б) Все бутылки (контейнеры) с вредными веществами должны быть помечены общепринятыми символами.
3. Школьники должны получить письменные инструкции по обращению со сливами и отходами.
 4. Лабораторные задания следует составлять так, чтобы расходовалось минимальное количество реагентов.
 5. Лабораторное оборудование и места для работы следует готовить для олимпиады с учетом следующих положений.
 - a) У каждого школьника должно быть достаточно места для работы. Следует также обеспечить безопасное расстояние между работающими школьниками.
 - б) Лаборатории должны хорошо вентилироваться.
 - в) В каждой лаборатории должно быть минимум два запасных выхода.
 - г) В лабораториях под руками должны быть огнетушители.
 - д) Электрическое оборудование должно быть безопасным и располагаться в соответствующем месте.
 - е) Должны быть средства ликвидации протечек.
 6. Один инструктор обеспечивает работу четырех участников олимпиады.
 7. Организаторы олимпиады обязаны обеспечить выполнение международных правил обращения с токсичными, опасными или канцерогенными веществами.

Обозначения опасности веществ и материалов

1. Взрывчатые вещества (E)
2. Вещества, вызывающие возгорание, окислители (O)
3. Легко возгораемые и горючие вещества (F +, F)
4. Токсичные вещества (T +, T, X_n)
5. Едкие и раздражающие вещества (C, X_i)

Задача 28. Идентификация неизвестных твердых веществ

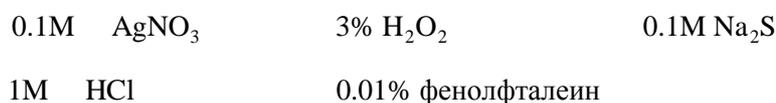
На вашем столе имеется 12 неизвестных твердых образцов в склянках, подписанных от А01 до А12. Каждая из склянок содержит примерно 100 мг кристаллического порошка одного из веществ:



Примечания:

- (1) Среди образцов имеются два повторяющихся вещества.
- (2) Гидратная вода в формулах веществ не указана.

На вашем столе имеется 14 пустых капельниц, 12 чистых пробирок, 12 палочек для перемешивания и 5 капельниц, содержащих следующие реагенты:



Методика.

1. Используя пластиковые палочки, перенесите примерно по 20 мг каждого из неизвестных образцов в отдельный пустой сосуд, добавьте примерно 1 мл дистиллированной воды и подпишите сосуд.
2. Используя выданные 5 реагентов и взаимные реакции между растворами неизвестных образцов, определите, в каком из сосудов какое вещество содержится.

Примечания:

- (1) Это практическое задание представляет собой один из видов капельного теста. Вы можете проводить его на имеющейся у вас пластине или листе белой бумаги.
- (2) Прежде чем записывать в бланк ответов конечный результат, убедитесь в его правильности.

Лист ответов 28

<u>Соединение</u>	<u>Код</u>	<u>Соединение</u>	<u>Код</u>	<u>Соединение</u>	<u>Код</u>
KI	_____	BaCl ₂	_____	Na ₂ S ₂ O ₃	_____
NaCl	_____	FeSO ₄	_____	NH ₄ SCN	_____
Pb(NO ₃) ₂	_____	CdSO ₄	_____	NaHCO ₃	_____
Ba(OH) ₂	_____				

Задача 29. Идентификация неизвестных растворов (I) – капельный тест без электролиза

- 1 Данную задачу лучше всего выполнять с помощью капельного теста.
- 2 В пластиковом пакете имеется 12 неизвестных образцов в капельницах объемом 1 мл, помеченных от X01 до X12. Каждый образец в капельнице содержит 0.1 М водный раствор индивидуального соединения. Перечень соединений приведен в листе ответов. В вашем распоряжении имеются капельница с фенолфталеином, две пустых капельницы, поддон, две пластиковые палочки, промывалка с дистиллированной водой и бумажные салфетки.
- 3 Используя выданные материалы и реакции между неизвестными растворами, установите состав каждого из неизвестных образцов и запишите ответ (код образца) в лист ответов.

Примечания:

- (1) Состав трех образцов повторяется.
- (2) Объем каждого из образцов составляет примерно 0.6 мл. Дополнительные количества не выдаются.
- (3) Каждый правильный ответ оценивается в 8 баллов, за каждый неправильный ответ снимается по 2 балла.

Лист ответов 29

<u>Вещество</u>	<u>Код</u>	<u>Вещество</u>	<u>Код</u>	<u>Вещество</u>	<u>Код</u>
NaCl	_____	AgNO ₃	_____	KI	_____
HCl	_____	Pb(NO ₃) ₂	_____	BaCl ₂	_____
H ₂ SO ₄	_____	Na ₂ CO ₃	_____	NaOH	_____

Вопросы:

29.1 Как обнаружить образец с H₂SO₄ ?

29.2 Как подтвердить, что образец содержит раствор H₂SO₄ ?

Задача 30. Идентификация неизвестных растворов (II) – капельный тест с применением электролиза

Реактивы и оборудование

Кислотно-основной

индикатор	1	Прибор для электролиза	1
Бромтимоловый синий	1	Палочка для перемешивания	2
Дистиллированная вода	1	Бумажная салфетка	1
Неизвестные образцы	10		

(1) Имеется десять неизвестных образцов, возможный состав которых приведен в листе ответов.

(2) На рис.1 изображен простейший прибор для электролиза.

(3) Установите, какое из веществ содержится в каждом сосуде (коды от X01 до X10).

Примечания:

(1) Вещества, содержащиеся в образцах, приведены в листе ответов

(2) Каждый из образцов содержит только одно вещество.

(3) Концентрация неизвестных растворов примерно равна 0.1 моль/л.

(4) Запишите ваши ответы в лист ответов (коды веществ).

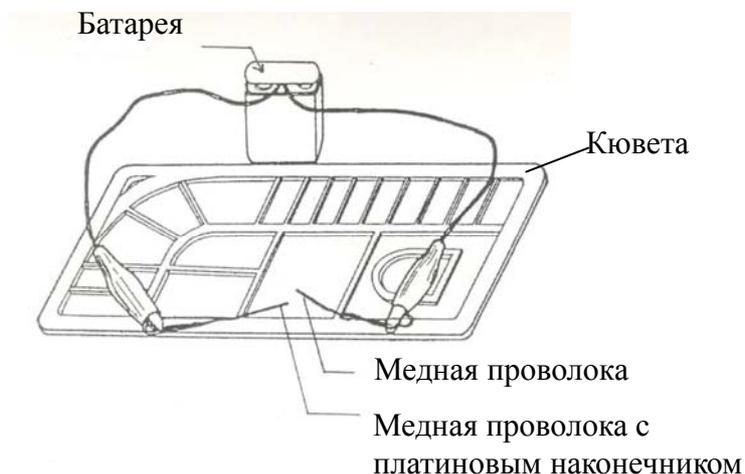


Рис 1. Простейший прибор для электролиза

<u>Вещество</u>	<u>Код</u>	<u>Вещество</u>	<u>Код</u>	<u>Вещество</u>	<u>Код</u>
$\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$	_____	Na_2S	_____	H_2SO_4	_____
KI	_____	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	_____	NaOH	_____
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	_____	HCl	_____	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$	_____
NaCl	_____				

Задача 31. Определение аскорбиновой кислоты

Основным компонентом препарата “витамин С” является аскорбиновая кислота ($\text{H}_2\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6$, молекулярная масса 176.12). Это соединение проявляет как кислотные, так и восстановительные свойства и поэтому для его определения можно использовать как кислотно-основное, так и окислительно-восстановительное титрование.

Эксперимент состоит из двух частей. Первая часть включает определение аскорбиновой кислоты методом кислотно-основного титрования. Во второй части для количественного определения используется окислительно-восстановительное титрование.

Оценка работы основана на точности полученных результатов. Оценка за кислотно-основное титрование составляет 30%, за окислительно-восстановительное титрование – 60% и за сравнение результатов титрования этими методами – 10% от общего числа баллов.

ПЕРЕД НАЧАЛОМ РАБОТЫ УБЕДИТЕСЬ В НАЛИЧИИ НЕОБХОДИМЫХ РЕАКТИВОВ И ПОСУДЫ

Реактивы	Посуда	
Раствор NaOH (концентрация указана на этикетке)	Мерный цилиндр	
	10 мл	x 1
Раствор $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (концентрация указана на этикетке)	100 мл	x 1
	Стакан	
	100 мл	x 2
Раствор иода (0.01 М)	250 мл	x 2
	Колба Эрленмейера	
Индикаторы:	125 мл	x 4
	250 мл	x 2

Раствор фенолфталеина	Фильтровальная бумага	x 10
	Калька	x 10
Раствор метилового красного	Ступка с пестиком	1 набор
	Бюретка со штативом	x 2
Раствор крахмала	Ершик для бюреток	x 1
	Мерная колба 100 мл	x 1
	Шпатель	x 1
	Воронка	x 1
	Пипетка (20 мл) /Груша	1 набор
	Пипетка Пастера (капельница)	x 6
	Ершик	x 1

Методика.

Растворите витамин С в воде. Если необходимо, профильтруйте. Конечный объем раствора должен составить 100 мл.

Часть 1. Кислотно-основное титрование

- 1.1 Поместите 10 мл аликвоту раствора в колбу Эрленмейера. Добавьте подходящий индикатор и выполните титрование.
- 1.2 Повторите титрование три раза.

Часть 2. Окислительно-восстановительное титрование

- 2.1 Установите концентрацию выданного раствора иода с использованием стандартизованного раствора тиосульфата натрия.
 - 2.1.1 Отмерьте пипеткой аликвоту 20 мл раствора иода, перенесите в плоскодонную колбу и титруйте стандартизованным раствором $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. В качестве индикатора используйте крахмал.
 - 2.1.2 Повторите титрование три раза.
- 2.2 Определение количества аскорбиновой кислоты
 - 2.2.1 Отмерьте пипеткой аликвоту 10 мл раствора, приготовленного в первой части работы и перенесите в плоскодонную колбу. Добавьте несколько капель крахмала и титруйте раствором иода.
 - 2.2.2 Повторите титрование три раза.

Лист ответов 31

31.1 Кислотно-основное титрование

Первое титрование

раствор витамина С _____ мл; раствор NaOH _____ мл

Второе титрование

раствор витамина С _____ мл; раствор NaOH _____ мл

Третье титрование

раствор витамина С _____ мл; раствор NaOH _____ мл

31.2 Окислительно-восстановительное титрование

31.2.1 Определение концентрации раствора иода

Первое титрование

Раствор иода _____ мл; раствор Na₂S₂O₃ _____ мл

Второе титрование

Раствор иода _____ мл; раствор Na₂S₂O₃ _____ мл

Третье титрование

Раствор иода _____ мл; раствор Na₂S₂O₃ _____ мл

31.2.2 Определение аскорбиновой кислоты

Первое титрование

Раствор витамина С _____ мл; раствор иода _____ мл

Второе титрование

Раствор витамина С _____ мл; раствор иода _____ мл

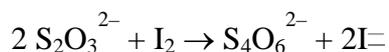
Третье титрование

Раствор витамина С _____ мл; раствор иода _____ мл

Вопросы:

31.1 Рассчитайте массу аскорбиновой кислоты в целой таблетке витамина С, считая его одноосновной кислотой.

31.2 Реакция между I₂ и Na₂S₂O₃ протекает следующим образом:



Рассчитайте концентрацию раствора иода.

31.3 Реакция между аскорбиновой кислотой и I₂ протекает следующим образом:



Рассчитайте массу аскорбиновой кислоты в целой таблетке витамина С.

31.4 Сравните достоинства и недостатки двух методов титрования.

Задача 32. Определение константы равновесия

Константа равновесия – важная характеристика химической реакции. Она показывает направление реакции. Из константы равновесия можно рассчитать равновесные концентрации всех участников реакции. Для реакции вида $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$ константа равновесия K_{eq} определяется выражением $([\text{C}]_{\text{eq}}^c [\text{D}]_{\text{eq}}^d) / ([\text{A}]_{\text{eq}}^a [\text{B}]_{\text{eq}}^b)$. Из этого выражения можно рассчитать константу равновесия, если известны равновесные концентрации всех участников реакции. Определив константу равновесия реакции, можно рассчитать равновесные концентрации всех ее участников при любых начальных условиях.

Целью эксперимента является определение константы равновесия реакции $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ с KSCN . Вам выданы по 20 мл 0.1 М раствора каждого из реагентов. Также вам выданы три пробирки с раствором продукта реакции. Каждая из них содержит раствор с известной концентрацией: 3.214×10^{-3} , 1.360×10^{-3} , 1.375×10^{-4} М для пробирок 1, 2 и 3 соответственно. Эти растворы необходимы как стандарт для колориметрии.

Вы должны поставить эксперимент и определить константу равновесия реакции между $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ и KSCN , используя выданные вам реактивы. Результаты должны быть оформлены в виде таблицы (см. лист ответов).

Тщательно спланируйте эксперимент. По требованию могут быть выданы дополнительные количества реактивов, однако вы будете оштрафованы на пять баллов за использование каждого дополнительного реактива. Оценка работы будет основана на точности полученных результатов.

Кроме реактивов будет выдано следующее оборудование:

- | | |
|--------------------------------|------------|
| 1. Бумага | 3 листа |
| 2. Салфетки | 1 упаковка |
| 3. Этикетки | |
| 4. Пробирки (20 штук) и штатив | |
| 5. Груша | x 1 |
| 6. Пробки | x 4 |
| 7. Пипетка | x 4 |

8. Стекланные палочки x 2
9. Ершики для пробирок (1 большой, 1 маленький)
10. Промывалка x 1
11. Линейка (15 см) x 1
12. Стакан 100 мл x 2
250 мл x 2
500 мл x 2
13. Мерный цилиндр 10 мл x 1
25 мл x 1
14. Мерная колба 25 мл x 2
15. Колба Эрленмейера 100 мл x 4
16. Бюретка 5 мл x 2
1 мл x 2

Лист ответов 32

Начальная концентрация реагента		Равновесная концентрация реагента		Концентрация продукта	Константа равновесия реакции
Fe(NO ₃) ₃	KSCN	Fe(NO ₃) ₃	KSCN		
				По данным колориметрии	

Вопросы:

32.1 Напишите уравнение реакции.

32.2 Напишите выражение для константы равновесия этой реакции.

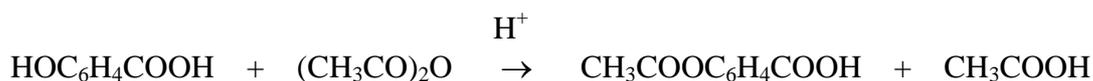
$$K_{\text{eq}} =$$

32.3 Чему равно значение K_{eq} , рассчитанное по вашим данным?

Задача 33. Синтез ацетилсалициловой кислоты (аспирина)

Ацилирование веществ, содержащих амино- или гидроксигруппу, чаще всего проводят с помощью ацетилхлорида или уксусного ангидрида. Реакцию катализируют такие вещества, как пиридин или серная кислота.

Аспирин может быть получен из салициловой кислоты и уксусного ангидрида. В этой реакции как катализатор часто используется серная кислота.



Методика.

В колбу Эрленмейера объемом 125 мл поместите 3.5 г салициловой кислоты, 3.5 мл уксусного ангидрида (плотность 1.08 г/мл) и пять капель концентрированной серной кислоты (смесь может разогреться). Нагревайте колбу в горячей воде и перемешивайте в течение пяти минут. За это время салициловая кислота полностью растворяется.

Выньте колбу из водяной бани и добавьте 15 мл ледяной воды. Охладите колбу и отфильтруйте осадок на вакуумном насосе.

Перенесите осадок в колбу Эрленмейера объемом 125 мл, добавьте 8 мл этанола. Нагревайте колбу на водяной бане до растворения осадка. Добавьте 20 мл горячей воды и нагревайте до тех пор, пока раствор не станет прозрачным. Выньте колбу из бани, накройте и охладите до комнатной температуры. Отфильтруйте игольчатые кристаллы на вакуумном насосе. Промойте кристаллы холодной водой и тщательно высушите.

Взвесьте полученный продукт и рассчитайте его выход в процентах от теоретического. Измерьте температуру плавления продукта.

Вопросы:

- 33.1 Зачем добавлять ледяную воду?
- 33.2 Зачем нужно промывать кристаллы водой?
- 33.3 Рассчитайте выход продукта в процентах от теоретического.
- 33.4 Какова температура плавления полученного вами аспирина?

Задача 34. Анализ таблеток аспирина

По ряду причин бытовые химические препараты часто “разбавлены” инертными веществами, называемыми наполнителями. В случае лекарственных веществ это обусловлено необходимостью поместить в таблетку приемлемых размеров заданное количество действующего вещества. Например, в аспирине ацетилсалициловая кислота смешана с

наполнителем. Целью вашего эксперимента является определение ацетилсалициловой кислоты в таблетках аспирина.

Ацетилсалициловую кислоту можно считать продуктом реакции уксусной (CH_3COOH) и салициловой ($\text{HO-C}_6\text{H}_4\text{COOH}$) кислот. Под действием раствора гидроксида натрия ацетилсалициловая кислота гидролизуется и образуются соли двух кислот.



Если взят избыток раствора NaOH , то количество ацетилсалициловой кислоты может быть определено с помощью обратного титрования раствором серной кислоты. Очевидно, что необходимо предотвратить реакцию между серной кислотой и основными анионами – ацетатом и салицилатом. Это достигается выбором подходящего индикатора – фенолового красного (интервал pH 6.8–8.4) или фенолфталеина (интервал pH 8.3 – 10.0).

Методика.

Аккуратно взвесьте необходимое (около 1.5 г) количество таблеток аспирина. Запишите число таблеток и их массу.

Поместите аспирин в 150 мл коническую колбу. Добавьте 25 мл аликвоту раствора NaOH и такой же объем воды. Медленно нагревайте в течение 10 минут, чтобы прошел гидролиз ацетилсалициловой кислоты. Охладите колбу под струей воды и аккуратно, без потерь, перенесите ее содержимое в 250 мл мерную колбу. Промойте колбу, в которой проходил гидролиз, водой и промывные воды прилейте в мерную колбу. Доведите раствор до метки.

Возьмите 25 мл аликвоту полученного раствора и перенесите в чистую коническую колбу.

Титруйте аликвоту 0.05 М раствором H_2SO_4 , используя в качестве индикатора феноловый красный или фенолфталеин. Запишите точную молярность серной кислоты и полученный титр. Повторяйте титрования до тех пор, пока не будут получены близкие значения титра. Рассчитайте средний титр.

Используя пипетку и мерную колбу, разбавьте 1 М NaOH до 0.1 М. Оттитруйте полученный раствор 0.05 М раствором серной кислоты, используя тот же индикатор, что и раньше.

Вопросы:

34.1 Зачем необходимо охлаждать реакционную смесь?

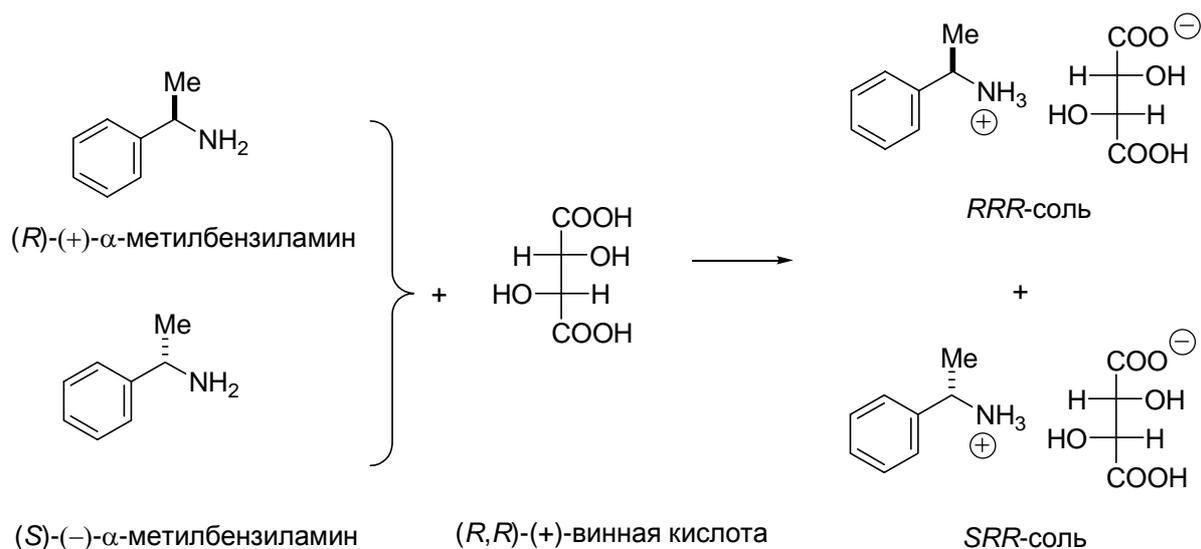
34.2 Зачем необходимо тщательно перемешивать?

- 34.3 Чем сперва нужно промыть пипетку?
- 34.4 Чем нужно промыть колбу?
- 34.5 Зачем было необходимо разбавить раствор NaOH?
- 34.6 Запишите титры кислоты и определите молярность неразбавленного раствора NaOH, не забывая записывать все промежуточные вычисления.
- 34.7 Определите общее число молей NaOH, добавленных к аспирину, и число молей NaOH, затраченное на гидролиз.
- 34.8 Рассчитайте число молей ацетилсалициловой кислоты, содержащейся в оттитрованном образце.
- 34.9 Рассчитайте массу ацетилсалициловой кислоты в одной таблетке аспирина. Сравните с данными на упаковке.
- 34.10 Проанализируйте собственную технику эксперимента. Перечислите в порядке убывания значимости источники погрешностей анализа.

Задача 35. Разделение (\pm)- α -метилбензиламинов и определение оптической чистоты

Традиционный метод разделения рацемической смеси на отдельные энантиомеры состоит в использовании оптически чистого природного вещества, которое реагирует с разделяемыми энантиомерами с образованием двух диастереомеров. Эти диастереомеры разделяют и расщепляют на очищенный энантиомер и разделяющий реагент. Оптическая чистота вещества определяется как отношение оптического вращения образца к оптическому вращению чистого энантиомера.

Рацемическая смесь α -метилбензиламина легко разделяется (*R,R*)-(+)-винной кислотой. Получающийся (*R,R*)-(+)-тарترات (*S*)-(-)- α -метилбензиламмония, соль SRR, имеет гораздо меньшую растворимость, чем ее диастереомер, соль RRR = (*R,R*)-(+)-тарترات (*R*)-(+)- α -метилбензиламмония. В то время как соль RRR остается в растворе, соль SRR выпадает в осадок. Осадок отфильтровывают, очищают и действием основания получают (*S*)-(-)- α -метилбензиламин.



Методика и вопросы:

В колбу Эрленмейера (250 мл) поместите $(R,R)\text{-}(+)\text{-винную}$ кислоту (7.8 г, 52.0 ммоль) и метанол (125 мл). Смесь нагревайте до начала кипения. Медленно добавляйте рацемическую смесь $\alpha\text{-метилбензиламина}$ (6.25 г, 51.6 ммоль) в течение пяти минут. (Осторожно: жидкость может вспениться и выплеснуться). Закройте колбу и оставьте на ночь (18 часов). Образование призматических кристаллов говорит о полном разделении энантиомеров, в то время как игольчатая форма кристаллов свидетельствует лишь о частичном разделении. При образовании игольчатых кристаллов нужно осторожно нагреть раствор и медленно охладить. Можно добавить затравку призматического кристалла для ускорения кристаллизации.

Отфильтруйте кристаллы на воронке Бюхнера и промойте небольшим количеством холодного метанола. Кристаллы перенесите в предварительно взвешенную колбу Эрленмейера (50 мл) и высушите их струей азота. Взвесьте продукт и рассчитайте его выход. Медленно прилейте в колбу воду (25 мл) и 50% раствор гидроксида натрия (4 мл). Три раза проэкстрагируйте хлористым метиленом (порции по 10 мл) с помощью делительной воронки. Объединенные органические фазы сушите безводным сульфатом натрия (1.0 г) в закрытой колбе в течение 10 минут. Декантируйте высушенный раствор в круглодонную колбу и отгоните растворитель на роторном испарителе. Полученный $\alpha\text{-метилбензиламин}$ взвесьте и рассчитайте его выход. Как можно реже оставляйте продукт на открытом воздухе. Поместите амин в поляриметр и измерьте угол вращения. По литературным данным, удельное вращение $(S)\text{-}(-)\text{-}\alpha\text{-метилбензиламина}$ составляет $[\alpha]_D^{23} = -40.3^\circ$ (чистый). Рассчитайте долю каждого энантиомера в вашем образце.

Константы и некоторые полезные формулы

Атомная единица массы	$1 \text{ а.е.м.} = 1.6605 \times 10^{-27} \text{ кг}$
Число Авогадро	$N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Постоянная Больцмана	$k = 1.38065 \times 10^{-23} \text{ Дж К}^{-1}$
Заряд электрона	$e = 1.6022 \times 10^{-19} \text{ Кл}$
Постоянная Фарадея	$F = 9.6485 \times 10^4 \text{ Кл моль}^{-1}$
Масса электрона	$m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ кг}$
Масса нейтрона	$m_n = 1.67492716 \times 10^{-27} \text{ кг}$
Масса протона	$m_p = 1.67262158 \times 10^{-27} \text{ кг}$
Постоянная Планка	$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Дж с}$
Скорость света	$c = 3 \times 10^8 \text{ м с}^{-1}$
Уравнение Нернста ($T = 298 \text{ К}$)	$E = E^\circ - (0.0592 / n) \lg K$
Уравнение Клаузиуса-Клапейрона	$\ln P = -\Delta H_{\text{исп}} / RT + B$
Уравнение идеального газа	$PV = nRT$
Соотношение де Бройля	$\lambda = h / mv$
Энергия Гиббса	$G = H - TS$
Уравнение Аррениуса	$k = Ae^{-E_a/RT}$
Формула Планка	$E = hv$
Первый закон термодинамики	$\Delta U = q + w$
Работа	$w = -P\Delta V$
$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln Q$	$\Delta G = -nFE$

$RT \text{ при } 298.15 \text{ К} = 2.4790 \text{ кДж моль}^{-1}$	
$\pi = 3.1415927$	
$1 \text{ А} = 10^{-10} \text{ м}$	$1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж с}^{-1}$
$1 \text{ Дж} = 1 \text{ кг м}^2 \text{ с}^{-2}$	$1 \text{ кал} = 4.184 \text{ Дж}$
$1 \text{ Па} = 1 \text{ кг м}^{-1} \text{ с}^{-2} = 1 \text{ Н м}^{-2}$	$1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па}$
$1 \text{ атм} = 1.01325 \times 10^5 \text{ Па} = 760 \text{ мм ртутного столба (Торр)}$	
$1 \text{ эВ} / \text{молекула} = 96.4853 \text{ кДж моль}^{-1}$	