



**РОССИЙСКО-ТАДЖИКСКИЙ
СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ
ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ДЛЯ КАФЕДРЫ
ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫХ ДИСЦИПЛИН
ПО НАПРАВЛЕНИЮ
«ХИМИЯ»**



ОГЛАВЛЕНИЕ



Аналитическая химия

- | | | |
|----|---|----|
| 1. | Кондуктометрическое титрование | 3 |
| 2. | Процесс хроматографического разделения: газовая хроматография | 12 |
| 3. | Фотометрический анализ | 31 |



Физическая химия

- | | | |
|----|---|----|
| 4. | Скорость молекул и закон распределения Максвелла-Больцмана | 37 |
| 5. | Измерение вязкости при помощи вискозиметра с падающим шариком | 42 |
| 6. | Изотермы адсорбции | 49 |
| 7. | Кинетика электрода | 56 |

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

1. Кондуктометрическое титрование

Р3060760

Понятия, относящиеся к теме

Электролит, электрическая проводимость, удельная электропроводность, ионная подвижность, кондуктометрия, волюметрия

Принцип работы

Электрическая проводимость водных растворов электролитов определяется типом и количеством носителей заряда при постоянной температуре. Характерные изменения в проводимости связаны с изменениями в ионном составе реагирующих систем, что позволяет применять их в кондуктометрическом титровании в качестве показателей конечной точки.

Оборудование

Количество	Наименование	Код
1	Беспроводной управляющий прибор Cobra4	12600-00
2	Прибор Cobra4 с беспроводной связью	12601-00
1	Сенсорный датчик проводимости+ прибора Cobra4	12632-00
1	Прибор Cobra4 с капельницей	12636-00
1	Программное обеспечение для проведения измерений с помощью прибора Cobra4, с многопользовательской лицензией	14550-61
2	Держатель для штативного стержня прибора Cobra4	12680-00
1	Электрод проводимости/Температурный электрод	13701-01
1	Магнитная мешалка, мини	47334-93
1	Магнитное перемешивающее устройство, l = 30 мм	46299-02
1	Штатив, h = 750 мм	37694-00
1	Зажим для бюретки, роликовый	37720-00
1	Бюретка, 25 мл	36506-01
1	Стекланный стакан, 250 мл, низкий	36013-00
3	Прямоугольный зажим	37697-00
1	Мерная колба, 50 мл	36547-00

Количество	Наименование	Код
1	Мерная колба, 100 мл	36548-00
1	Мерная колба, 250 мл	36550-00
3	Мерная пипетка, 5 мл	36577-00
2	Мерная пипетка, 10 мл	36578-00
1	Пипеттор	36592-00
1	Подставка для пипеток	36589-00
1	Весы Startorius QUINTIX513-1S, 510 г/0,001 г	49282-99
1	Воронка, стеклянная, d ₀ = 55 мм	34457-00
1	Воронка, стеклянная, d ₀ = 80 мм	34459-00
1	Пипетки Пастера	36590-00
1	Резиновые шарики	39275-03
1	Ложка	33398-00
1	Весовые тарелки, 84x84x24, 25 шт.	45019-25
1	Промывалка, 500 мл	33931-00
1	Серная кислота, 0,5 М, 1000 мл	48462-70
1	Соляная кислота, 0,1 М, 1000 мл	48452-70
1	Уксусная кислота, 0,1 М, 1000 мл	48126-70
1	Раствор едкого натра, 0,1 М, 1000 мл	48328-70
1	Гидроксид бария, 250 г	30034-25
1	Стандартный раствор, 1413 μS/см, 460 мл	47070-02
1	Вода, дистиллированная, 5 л	31246-81

Дополнительное оборудование

Количество	Наименование	Код
1	Персональный компьютер с USB интерфейсом, с операционной системой Windows XP или более новой версией	



Рис. 1: Экспериментальная установка.

Инструкции по технике безопасности



При работе с химическими веществами Вы должны надевать соответствующие защитные перчатки, защитные очки и соответствующую одежду. Пожалуйста, обратитесь к Приложению для получения подробных инструкций по технике безопасности.

Задачи

- С помощью системы Cobra4 измерьте изменение в электрической проводимости при титровании:
 - а) 0,1-молярного раствора гидроксида бария с 0,1-молярной серной кислотой,
 - б) 0,1-молярной соляной кислоты с 0,1-молярным раствором едкого натра и
 - в) 0,1-молярной уксусной кислоты с 0,1-молярным раствором едкого натра.
- В качестве альтернативного варианта можно использовать другие вещества, заранее подготовив их, для кондуктометрического определения содержания веществ в их составах.

Установка и Ход работы

- Подготовьте следующие растворы, необходимые для проведения эксперимента:
 - Раствор 0,1-молярного $\text{Ba}(\text{OH})_2$: Взвесьте 7,9 г гидроксида бария ($\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) в 250 мл мерной колбе, добавьте немного дистиллированной воды, чтобы растворить вещество, а затем наполните колбу с веществом водой до отметки. Если раствор мутный (показатель того, что в растворе присутствует BaCO_3), профильтруйте его перед использованием.
 - Раствор 0,1-молярного H_2SO_4 : С помощью мерной 10 мл пипетки поместите 0,5-молярную серную кислоту в 50 мл мерную колбу и наполните колбу с веществом дистиллированной водой до отметки.

- Раствор 0,1-молярного CH_3COOH : С помощью мерной 10 мл пипетки поместите 0,1-молярную уксусную кислоту в 100 мл мерную колбу и наполните колбу с веществом дистиллированной водой до от-метки.
- Установите эксперимент как показано на Рис. 1.
- Прикрепите бюретку к штативу с помощью зажима для бюретки.
- Соедините сенсорный датчик проводимости+ прибора Cobra4 и прибор Cobra4 с капельницей с прибором Cobra4 с беспроводной связью.
- Прикрепите их к штативу с держателями и прямоугольными зажимами для прибора Cobra4.
- Присоедините датчик электрической проводимости/температурный датчик к разъему электрода сенсорного датчика проводимости+ прибора Cobra4.
- Включите персональный компьютер и подключите беспроводной управляющий прибор Cobra4 к USB разъему компьютера.
- После включения прибора Cobra4 с беспроводной связью сенсорные датчики распознаются автоматически. Некоторые ID номера (01 и 02) встроены в сенсорные датчики, которые расположены на экране прибора Cobra4 с беспроводной связью.
- Запустите программу “Измерение”.
- Щелкните на кнопку “Неизвестный объем титрования” и подтвердите свой выбор, нажав кнопку “ОК”.
- Загрузите эксперимент “Кондуктометрическое титрование с помощью прибора Cobra4” (Эксперимент > Открыть эксперимент). Параметры измерения для данного эксперимента теперь загружены.
- Отрегулируйте магнитную мешалку до средней скорости перемешивания.

Для калибровки:

- Налейте немного стандартного раствора в стакан и погрузите в него хорошо промытый зонд (*Совет:* Оба платиновых электрода зонда должны быть полностью погружены в раствор).

- В навигаторе прибора Cobra4 во вкладке “Устройства” дважды щелкните на символ “Электрическая проводимость”. Теперь Вы можете изменять некоторые параметры измерения.

- Введите значение для электрической проводимости при заданной температуре под пунктом меню “Калибровка”. Вы можете найти то значение на этикетке стандартного раствора (при температуре 25°C , $C = 1413 \mu\text{S}/\text{cm}$, см. Рис. 2). Нажмите кнопку “Применить” и завершите калибровку нажатием кнопки “ОК”.

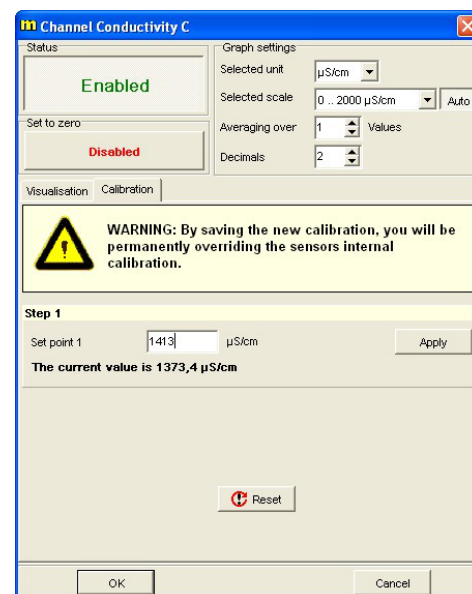


Рис. 2: Настройки режима калибровки сенсорного датчика.

Ход работы

- Поместите 250 мл стеклянный стакан, содержащий около 100 мл дистиллированной воды, и магнитное перемешивающее устройство на магнитную мешалку.
- Опустите предварительно хорошо промытую ячейку для измерения электрической проводимости раствора в воду и закрепите ее в одном из отверстий электродов прибора Cobra4 с капельницей.
- С помощью 5 мл пипетки поместите 0,1-молярный раствор гидроксида бария в стакан с водой. Наполните бюретку 0,1-молярной серной кислотой и закрепите ее над стаканом.
- Расположите выходное отверстие бюретки таким образом, чтобы прибор Cobra4 с капельницей мог записывать данные после каждой новой капли. Для этого выходное отверстие бюретки должно находиться в центре светового барьера.
- Запустите измерение ●.
- Начните добавлять стандартный раствор из капельницы до тех пор, пока количество раствора не составит 10 мл.
- Остановите измерение ■.
- Подсчитайте используемый объем стандартного раствора в бюретке.
- Определите значение на появившемся экране после того как измерение было остановлено.
- Отправьте все данные в раздел “Измерение”.
- На Рис. 3 изображен график того, как это выглядит в программе.
- Выполните измерения с другими кислотами этим же способом.
- В каждом случае с помощью 5 мл пипетки поместите 0,1-молярную кислоту в стеклянный стакан, содержащий 100 мл дистиллированной воды, и наполните бюретку 0,1-молярным раствором едкого натра.



Рис. 3: Изменение удельной электрической проводимости K при титровании 0,1-молярного раствора гидроксида бария ($V = 5$ мл) с серной кислотой ($C = 0,1 \text{ м} \cdot \text{л}^{-1}$).

Теория и Оценка

Электрическая проводимость G электролитического раствора и удельной электрической проводимости K , рассчитанной из нее, состоят (аддитивно) из различных составляющих отдельных ионных типов:

$$\kappa = K \cdot G = \sum |z_i| u_i c_i F \quad (1)$$

где

K Постоянная ячейки (частное от деления расстояния l и площади A электродов в измеренной ячейке)

z_i Порядковый номер

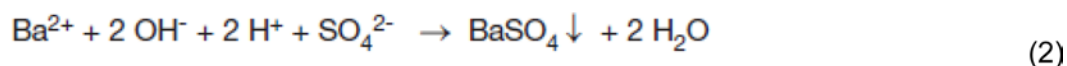
u_i Ионная подвижность

c_i Концентрация иона i

F Постоянная Фарадея

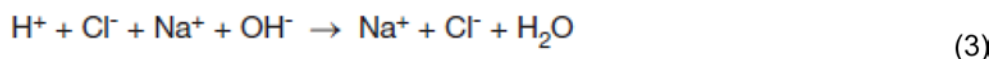
Согласно уравнению (1), увеличение или уменьшение электрической проводимости при постоянной температуре следует ожидать, когда состав (c_i , u_i) рассматриваемой системы изменяется.

При титровании раствора гидроксида бария с серной кислотой оба типа ионов добавляемого стандартного раствора реагируют с компонентами раствора, которые определяются путем образования нерастворимых, то есть недиссоциированных продуктов.



Согласно уравнению (1), постоянное уменьшение измеряемой величины K до точки нейтрализации (Рис. 3) происходит в результате общего сокращения носителей заряда. Вслед за этим, избыточные ионы серной кислоты прекращаются преобразовываться, таким образом, электрическая проводимость возрастает практически линейно.

В отличие от этого, наблюдаемое уменьшение удельной электрической проводимости в ходе нейтрализации сильной кислоты (HCl) сильным основанием (NaOH) происходит из-за обмена ионов гидроксония, имеющих высокую подвижность ($u_+ = 315 \text{ S} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$) по сравнению с ионами натрия, обладающими низкой подвижностью ($u_+ = 43 \text{ S} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$), согласно уравнению (1):



В случае перетитрования, электрическая проводимость концентрации ионов гидроксония с высокой подвижностью избыточных ионов ($u = 174 \text{ S} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$) возрастает линейно (Рис. 4).

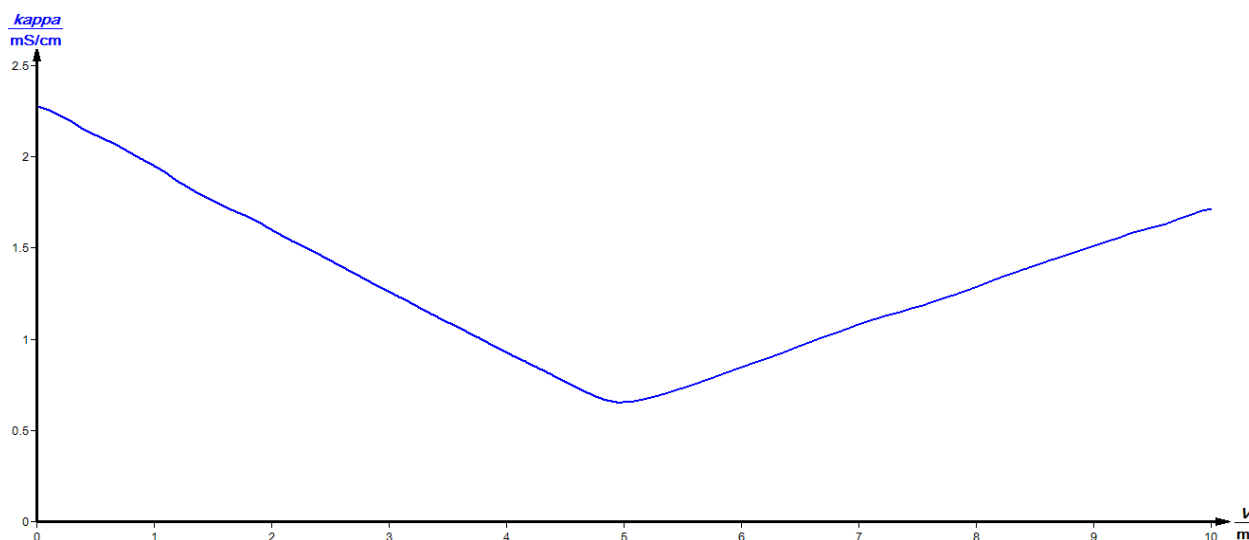


Рис. 4: Диаграмма титрования для нейтрализации 0,1-молярного раствора HCl ($V = 5$ мл) NaOH ($c = 0,1 \text{ м} \cdot 1^{-1}$).

Кривая титрования, изображенная на Рис. 5, действительна для реакции слабой кислоты (CH_3COO) с сильным основанием (NaOH).

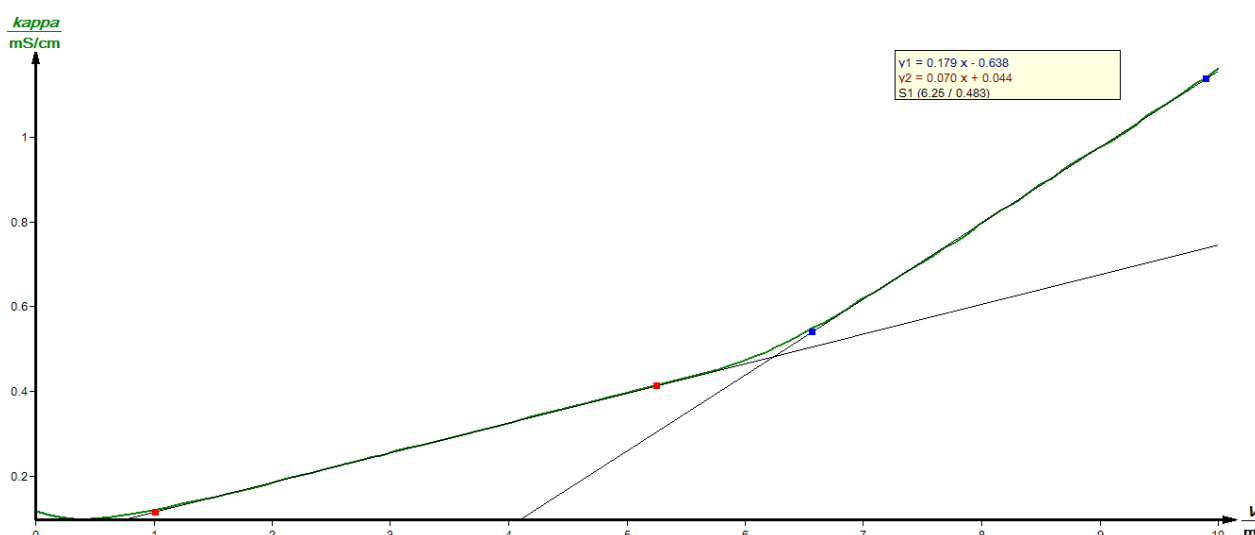



Рис. 5: Электрическая проводимость в виде функции объема добавленного стандартного раствора при титровании 0,1-молярного раствора уксусной кислоты ($V = 5$ мл) с раствором гидроксида натрия ($c = 0,1 \text{ м} \cdot 1^{-1}$).

Вследствие низкой автодиссоциации, кислота демонстрирует сравнительно низкую электрическую проводимость. В результате дальнейшего подавления диссоциации из-за образования солей, ее электрическая проводимость продолжает снижаться (Рис. 5). Перед достижением точки нейтрализации, электрическая проводимость слегка возрастает из-за увеличения числа ионов натрия и ацетата в концентрации. После того, как кислота полностью превратилась в соль, измеряемая электрическая проводимость возрастает практически линейно в результате добавления стандартного раствора, как указано выше, из-за добавления избыточных титраторов.

Точку нейтрализации можно отметить на кривых титрования путем определения локального минимума электрической проводимости, а в случае с уксусной кислотой - путем

определения точки пересечения двух прямых линий (см. Рис. 5). Можно определить такие линии регрессии с помощью кнопки . Концентрацию c_2 , а следовательно, и количество ионов m_2 в данном составе с объемом V_2 можно рассчитать из расхода объема V_1 известной концентрации c_1 стандартного раствора с помощью отношения

$$c_1 V_1 = c_2 V_2 = \frac{m_2}{M_2} \quad (5)$$

где

M_2 Молярная масса электролита, которую необходимо определить

Данные и Результаты

Кривые титрования изображены на Рис. 3 и 5. Объемы стандартного раствора, необходимого для достижения точек эквивалентности, можно определить из них, то есть, $V_1 = 4,75$ мл H_2SO_4 (Рис. 3), $V_1 = 4,95$ мл $NaOH$ (Рис. 4) и $V_1 = 6,25$ мл $NaOH$ (Рис. 5). Согласно уравнению (5), концентрации $c_2 = 0,095$ моль/л $Ba(OH)_2$ и $c_2 = 0,125$ моль/л CH_3COOH можно рассчитать, а исходя из этого, можно рассчитать массы в тестовых объемах 5 мл; $m_2 = 81,38$ мг $Ba(OH)_2$, $m_2 = 18$ мг HCl и $m_2 = 37,5$ мг CH_3COOH .

Утилизация

Разведенные и нейтрализованные растворы используемых кислот и оснований можно вылить в канализацию.

Приложение

Предупреждающий знак, сигнальное слово	Краткая характеристика опасности	Меры предосторожности
<p>Раствор едкого натра, 0,1 Н</p>  <p>Внимание</p>	<p>290: Может вызывать коррозию металлов.</p>	<p>234: Хранить только в оригинальной упаковке.</p>
<p>Соляная кислота, 0,1 Н</p>  <p>Внимание</p>	<p>290: Может вызывать коррозию металлов.</p>	<p>234: Хранить только в оригинальной упаковке.</p>

<p>Серная кислота, 0,1 Н</p>  <p>Внимание</p>	<p>290: Может вызывать коррозию металлов.</p>	
<p>Гидроксид бария</p>  <p>Внимание</p>	<p>332: Вреден при вдыхании. 302: Вреден при проглатывании. 314: Вызывает серьезные кожные ожоги и глазные травмы.</p>	<p>280: Надевать защитные перчатки/защитную одежду/средства защиты глаз/средства защиты лица. 301 + 330 + 331: ПРИ ПРОГЛАТЫВАНИИ: Прополоскать рот. НЕ вызывать рвоту. 305 + 351 + 338: ПРИ ПОПАДАНИИ В ГЛАЗА: Осторожно промывать водой в течение нескольких минут. Снять контактные линзы, если таковые имеются. Продолжить промывать. 309: ПРИ воздействии или недомогании: 310: Немедленно обратиться в ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР или вызвать доктора/врача.</p>

2. Процесс хроматографического разделения: газовая хроматография

P3031760

Понятия, относящиеся к теме

Хроматография, хроматограмма, мультипликативное распределение, закон распределения Нернста (число теоретических тарелок), детектор теплопроводности

Принцип работы

Хроматографические процессы позволяют разделять смеси веществ с помощью неподвижной и подвижной фазы разделения. В газовой хроматографии подвижная фаза представлена газом. Во время подвижной фазы, до начала которой смесь необходимо разделить, смесь веществ перемещается через разделительную колонну при постоянной скорости потока.

Возникновение равновесия между неподвижной фазой и различными веществами (распределение равновесий, равновесия адсорбции-десорбции) приводит к образованию разной скорости миграций отдельных компонентов. В конце колонны находится детектор в виде термокондуктивной ячейки, которая способна распознавать различные вещества, опираясь на их разную теплопроводность. Сигнал детектора записывается в виде функции времени.

Разные теплопроводности газа-носителя и вещества вызывают температурные изменения в электрически нагреваемом температурном датчике, который расположен в цепи моста Уитстона. Получаемый электрический сигнал регистрируется с помощью плоттера как функция времени (хроматограмма).

Оборудование

Количество	Наименование	Код
1	Беспроводной управляющий прибор Cobra4	12600-00
1	Прибор Cobra4 с беспроводной связью	12601-00
1	Прибор Cobra4 с химическим сенсорным датчиком	12630-00
1	Программное обеспечение для проведения измерений с помощью прибора Cobra4, с многопользовательской лицензией	14550-61
1	Держатель для штативного стержня прибора Cobra4	12680-00
1	Адаптер, с BNC-коннектором/с разъемом 4 мм	07542-26
1	Соединительный кабель, $l = 250$ мм, красный	07360-01
1	Соединительный кабель, $l = 250$ мм, синий	07360-04

Количество	Наименование	Код
1	Блок управления для газовой хроматографии	36670-99
5	Прямоугольный зажим	37697-00
4	Универсальный зажим	37715-00
1	Измерительный электрод для газовой хроматографии	36670-10
1	Чехол для стекла	02615-00
1	Газоразделительная колонна	36670-00
1	Резиновые колпачки	02615-03
1	Измеритель скорости мыльных пузырей	36675-00
1	Поддерживающая основа DEMO	02007-55
2	Опорный стержень, $l = 750$ мм	02033-00
1	Микролитровый шприц, 10 μ л	02607-00
2	Шприц, 1 мл	02593-03
2	Канюля, 0,45 x 12 мм	02598-04
1	Стеклянная трубка, прямая, $l = 80$ мм	36701-65
1	Весы Startorius CPA 623S и программное обеспечение, 230 В, 620 г/0,001 г	49224-88
1	Лабораторный термометр, -10...+100°C	38056-00
1	Секундомер, цифровой, 1/100 с	03071-01
1	Стальной цилиндр, гелиевый, 2 л, заполненный	41776-00
1	Настольная подставка для 2 л газового цилиндра	41774-00
1	Редукционный клапан для гелия	33481-00
1	Гаечный ключ для стальных цилиндров	40322-00
1	Погружной термостат, 100°C	08492-93
1	Внешняя циркуляционная установка для термостата Alpha A	08493-02
1	Ванна для термостата, 6 л, из макролона	08487-02
2	Резиновая трубка, вакуумная, $d_i = 6$ мм	39286-00
6	Резиновая трубка, $d_i = 6$ мм	39282-00

Количество	Наименование	Код
7	Шланговый хомут, $d = 8...12$ мм	40995-01
2	Шланговый хомут, $d = 12...20$ мм	40996-01
2	Газовый стержень	40466-00
1	Круглодонная колба, 500 мл, IGJ 29/32	35862-00
1	Адаптер, IGJ для GL 18/8	35678-02
1	Хомут, IGJ 29	43617-00
1	Стеклянная пробка, IGJ 29/32	41256-10
1	Желоб, 150 x 150 x 65 мм	33928-00
1	Водоструйный насос	02728-00
1	Бутылка с манометром	34170-88
1	Ложка с лопаткой на конце, $l = 150$ мм	33398-00
1	Воронка, стеклянная, $d_0 = 55$ мм	34457-00
2	Пузырек с крышечкой	33621-03
1	Пипетки Пастера	36590-00
1	Резиновые шарики	39275-03
1	Стеклянный стакан, 150 мл, высокий	36003-00
1	Лабораторный карандаш, водонепроницаемый	31773-03
1	Клапан с точной регулировкой	33499-00
1	Сжатый газ, н-бутан	41773-11
1	Сжатый газ, изобутан	41773-12
1	Штапельное кварцевое стекловолокно, 10 г	31773-03
1	Хромосорб, PAW, 80/100, 20 г	31514-04
1	Динонилфталат, 100 мл	31276-10
1	Ацетон, 250 мл	30004-25
1	Этилацетат, 250 мл	30075-25
1	Этиловый спирт, абсолютный, 500 мл	30008-50
1	Бутановая горелка, Labogaz 206	32178-00

Количество	Наименование	Код
1	Бутановый картридж С 206	47535-00
1	Вода дистиллированная, 5 л	31246-81

Дополнительное оборудование

Количество	Наименование	Код
1	Персональный компьютер с USB интерфейсом, с операционной системой Windows XP или более новой версией	
1	Мыльный раствор	
1	Сушилка	

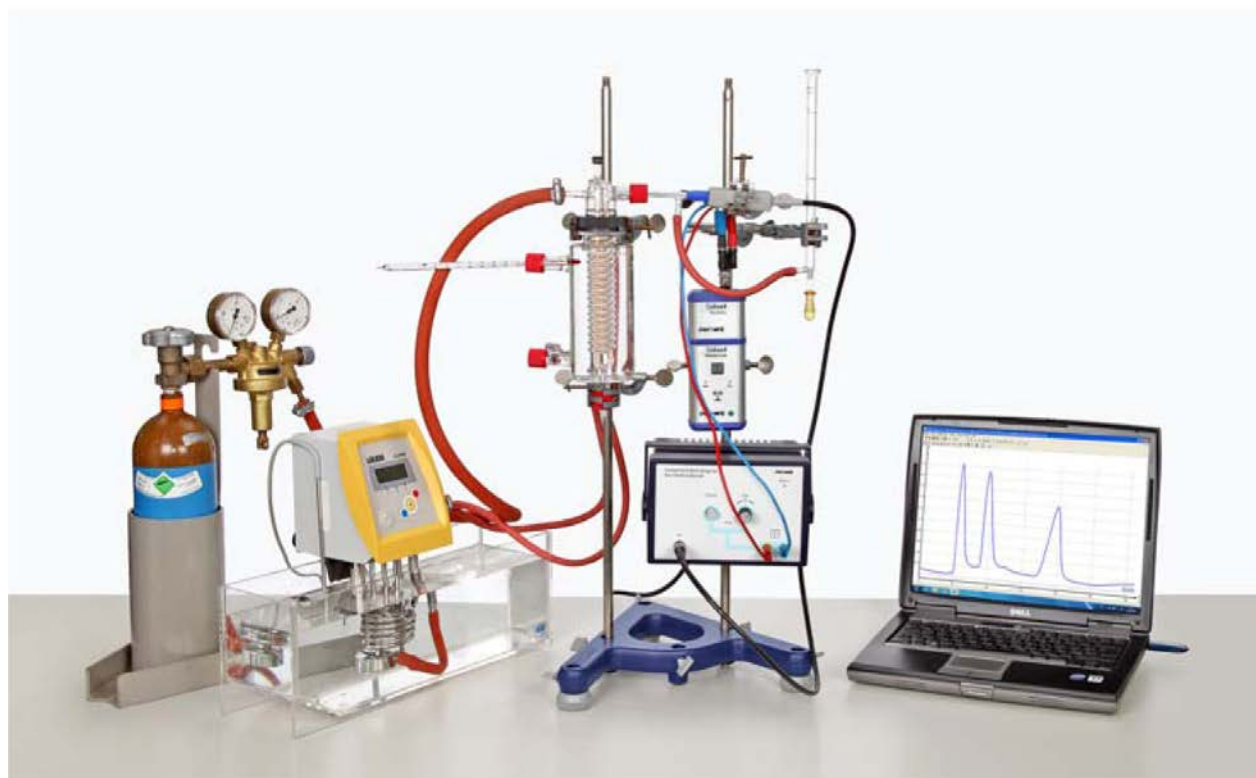


Рис. 1: Экспериментальная установка

Инструкции по технике безопасности



При работе с химическими веществами Вы должны использовать защитные перчатки, защитные очки и соответствующую одежду. Пожалуйста, обратитесь к Приложению для получения подробных инструкций по технике безопасности.

Задачи

- Определить время удержания различных газов и выделить хроматографический материал из смеси бутановых газов.
- Хроматографически разделить и определить компоненты двухкомпонентной смеси, состоящей из этанола и чистого этилацетата.

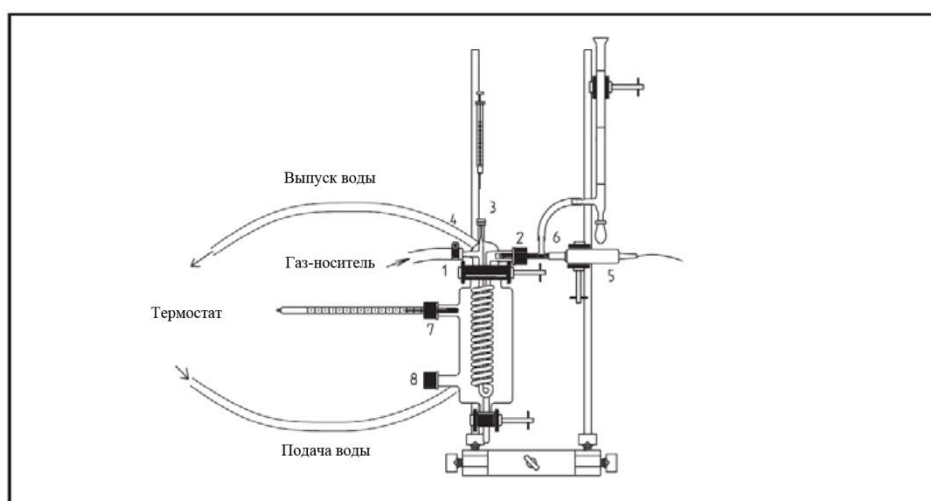


Рис. 2: Установка газового хроматографа

Установка и ход работы

- Установите эксперимент как показано на Рис. 1 и Рис. 2.

- Подготовьте неподвижную фазу для газоразделительной колонны путем добавления ацетона к 10 г хромосорба в круглодонную колбу до тех пор, пока хромосорб полностью не покроется жидкостью. Добавьте раствор 1,11 г динонилфталата к 10 мл ацетона и интенсивно взбалтывайте смесь в течение нескольких минут. Поместите колбу в емкость с теплой водой и воспользуйтесь водоструйным насосом для того, чтобы уменьшить давление в колбе настолько, что ацетон начнет закипать.

- Для того чтобы восстановить ацетон, вставьте колбу безопасности между круглодонной колбой и водоструйным насосом. Во время испарения ацетона необходимо постоянно трясти круглодонную колбу. Когда ацетон испарится, необходимо поместить колбу, в которой содержался ацетон, вместе с колбой безопасности в контейнер для отходов, предназначенный для горючего органического материала. Воспользуйтесь водоструйным насосом для того, чтобы откачать содержимое круглодонной колбы, выдержите его 2 часа при температуре 70°C (водной бани). В дальнейшем, важно, чтобы разделительная среда для

газовой хроматографической колонны была абсолютно сухой и не содержала остаточных следов растворителя. При необходимости, просушите ее в сушилке при температуре около 100°C. Наполните разделительную колонну подготовленной разделительной средой с помощью воронки и водоструйного насоса. Воспользуйтесь тонким стержнем, чтобы протолкнуть штапельное кварцевое стекловолокно в конец разделительной колонны, через который газ-носитель, используемый в качестве подвижной фазы, позже будет поступать в колонну (8 мм стеклянный ниппель) до тех пор, пока не дойдет до начала разделительной колонны и не подтолкнет его таким образом, чтобы оно заняло достаточно прочное положение. После этого, подсоедините стеклянный ниппель к водоструйному насосу и откачайте воздух через колонну. Теперь, возьмите колонну одной рукой и наклоните ее таким образом, чтобы укрепить воронку в резьбовом соединении стекла GL 18. Наполните подготовленную неподвижную фазу через эту воронку, через которую вода будет медленно заполнять колонну за счет потока воздуха. Во время наполнения неподвижной фазы рекомендуется слегка, аккуратно нажимать на стеклянную трубку свободной рукой. Это необходимо для обеспечения равномерного заполнения колонны. Когда колонна заполнится, закройте конец, через который поступала неподвижная фаза, штапельным кварцевым стекловолокном точно таким же образом, как Вы ранее закрыли другой конец. Не закрывайте пробки слишком сильно, иначе, в противном случае, их сопротивление потоку газа-носителя будет слишком высоким, когда в дальнейшем колонна будет использоваться. С другой стороны, пробки должны быть закрыты достаточно плотно, чтобы предотвратить вытеснение неподвижной фазы газом-носителем из колонны.

- Для того чтобы настроить газовый хроматограф, поместите газоразделительную колонну в чехол для стекла и вертикально прикрепите их двумя зажимами к штативному стержню с левой стороны (см. Рис. 2). Затем, подсоедините циркуляционный термостат, который находится в пластиковой емкости объемом около 6 л (бане для термостата), к чехлу для стекла с помощью резиновой трубки таким образом, чтобы вода проходила через стеклянную трубку, которая находится ниже трубчатого стеклянного ниппеля [8] и присоединена к чехлу для стекла. Выпуск воды происходит через соединительную трубку (шланг) [4], который присоединен к закругленной верхней части разделительной колонны.

- Подсоедините термометр к верхнему трубчатому стеклянному ниппелю чехла для стекла [7] в качестве дополнительного температурного контроля. Перед тем как дальше собирать установку, целесообразно запустить циркуляцию воды (от термостата к газовому хроматографу и обратно) для того, чтобы проверить систему, и в то же время наполнить чехол для стекла и закругленную стеклянную верхнюю часть водой (без пузырьков). Во время осуществления этой проверки, следите за утечками в системе циркуляции воды и при необходимости устраняйте их. Если на данном этапе установка функционирует должным образом, завершите сбор установки в следующем порядке.

- Подсоедините трубку давления (вакуумную трубку), отходящую от источника газа (гелиевого цилиндра) к соединительной трубке (шлангу) [1]. Поскольку трубка находится под давлением во время всего эксперимента, закрепите оба ее конца хомутами. Вставьте

измерительный зонд [5] (с уплотнительным кольцом: GL 18/8 мм) в соединительный колпачок на трубчатом стеклянном ниппеле [2] и закрепите его с помощью зажима.

- Подключите измерительный зонд через боковой трубчатый стеклянный ниппель [6] и часть резиновой трубки с измерителем скорости мыльных пузырей, в который было добавлено 1-2 мл мыльного раствора. Иногда в ходе эксперимента можно добавлять небольшое количество мыльного раствора к потоку газа через резиновый колпачок. Газовый пузырь, возникший таким образом, позволяет наблюдать и измерять скорость потока.

- Подключите измерительный зонд к блоку управления для газового хроматографа, который служит как для обеспечения мощности, так и для калибровки измерительного зонда с коаксиальным кабелем.

- *Соблюдайте осторожность!* Включайте блок управления только тогда, когда газ-носитель находится в движении, чтобы избежать повреждения измерительного зонда от перегрева!

- Соедините прибор Cobra4 с химическим сенсорным датчиком с прибором Cobra4 с беспроводной связью.

- Прикрепите их к штативу с держателями для прибора Cobra4 и прямоугольными зажимами.

- Подключите прибор Cobra4 с химическим сенсорным датчиком к выходного разъему блока управления с помощью двух соединительных кабелей и адаптера.

- Поместите резиновый колпачок в инжекционное отверстие стеклянной разделительной колонны в качестве перегородки. Включите термостат с циркуляционным насосом. Комнатная температура вполне подходит для разделения газов, но для разделения жидких смесей, как правило, требуется более высокая температура.

- При достижении необходимой температуры газ-носитель (гелий) медленно проходит через разделительную колонну. Регулируйте скорость подачи газа с помощью редукционного клапана гелиевого цилиндра (при этом, постоянно измеряя скорость мыльных пузырей) до подачи около 30 мл газа в минуту. Проведите измерения скорости мыльных пузырей, как показано на Рис. 1, следующим образом:

- Несколько раз надавите на резиновый колпачок с 2 мл мыльного раствора, чтобы некоторое количество мыльных пузырей расположилось напротив стеклянного сопла. Подаваемый поток воздуха относит мыльные пузыри в верхнюю часть трубки. Зафиксируйте время, которое необходимо такому пузырю, чтобы пройти от отметки 0 мл до отметки 5 мл или 10 мл, с помощью секундомера. Исходя из получившегося значения, рассчитайте скорость потока в минуту. Например, если мыльный пузырь достигает отметки 10 мл за 15 секунд, значит скорость потока газа в газоразделительной колонне – 40 мл в минуту.

- Запас газов, который будет исследован с помощью газовой хроматографии, лучше всего хранить в небольших сосудах для хранения газа (см. Рис. 3). Наполните их следующим образом: Наполните колбу Эрленмейера водой. Присоедините прямоугольную трубку к клапану герметичного газового контейнера с помощью длинной трубки. Для того чтобы

присоединить трубку к бутановой горелке, открутите верхнюю часть горелки и закрепите трубку вокруг резьбы горелки. Откройте клапан, чтобы газ (n-бутан, изобутан, кемпинг газ) поступил в колбу Эрленмейера, вытеснив воду в пластиковую воронку. После заполнения закройте выпускную трубку резиновым колпачком. Для того чтобы предотвратить вытеснение газа из колбы под давлением воды, предварительно закройте верхнее отверстие пластиковой воронки резиновой пробкой. Позже, эту пробку необходимо убрать.



Рис. 3: Установка сосуда для хранения газа

- Включите персональный компьютер и подключите беспроводной управляющий прибор Cobra4 к USB разъему компьютера.
- После включения прибора Cobra4 с беспроводной связью сенсорный датчик распознается автоматически. Идентификационный номер (01) располагается на сенсорном датчике, который находится на экране прибора Cobra4 с беспроводной связью.
- Запустите программу "Измерение".
- Загрузите эксперимент "Хроматографические процессы разделения: проведение газовой хроматографии с помощью прибора Cobra4" (Эксперимент > Открыть эксперимент). Теперь параметры измерения для этого эксперимента загружены.

Ход работы

1. Разделение и определение изомеров бутана


Разделение смеси изомеров бутана проводится при комнатной температуре. Необходимо включить циркуляционный термостат, но не использовать его для нагрева воды (установите температуру термостата 20°C).


Включите блок управления за несколько минут до начала измерения (помните, необходимо включать блок управления только когда газ-носитель находится в движении, чтобы избежать повреждения измерительного зонда от перегрева!). Нажмите кнопку грубой регулировки на блоке управления, подождите несколько секунд, а затем

отрегулируйте поворотную кнопку точной балансировки таким образом, чтобы измеренное значение для базовой линии составило приблизительно 0 В. Через 3 минуты проверьте экран. Если измеренные значения сильно изменились, еще раз нажмите кнопку грубой регулировки (но сначала верните поворотную кнопку точной регулировки обратно в среднее положение!).

Воспользуйтесь клапаном гелиевого цилиндра и измерителем скорости мыльных пузырей (с колпачком, содержащим 1-2 мл раствора детергента), чтобы отрегулировать скорость тока около 30 мл гелия в минуту (10 мл/20 с). Нажмите на колпачок, как это было сделано ранее, чтобы поспособствовать правильному производству и расположению пузырей.

Для того чтобы продемонстрировать хроматографическое разделение газа, необходимо смешать n-бутан и изобутан в 1 мл шприце с прикрепленной к нему канюлей путем последовательного забора 0,5 мл каждого вещества из соответствующего газометра с помощью шприца.

Запустите сбор данных с персонального компьютера, нажав , затем аккуратно вставьте канюлю шприца глубоко через перегородку и быстро нажмите на поршень шприца. Быстро вытащите шприц из резинового колпачка. Если есть возможность, попрактикуйтесь несколько раз, чтобы обеспечить равномерное и быстрое введение вещества. Обратите внимание на начальную

точку разделения - время инъекции - теперь компьютер занят записью. Когда измерение завершено, прервите его нажатием . После каждого измерения отправляйте данные в раздел "Измерение" (см. Рис. 3) и сохраняйте данные (Файл > Сохранить измерение как).

Для того чтобы определить и установить отдельные пики значений, подготовьте другую смесь из двух газов, но в этот раз сначала смешайте 0,4 мл изобутана с 0,6 мл n-бутана, а затем смешайте 0,6 мл изобутана с 0,4 мл n-бутана. Выполните хроматографическое разделение газа для каждой смеси и сравните результаты с начальной хроматограммой (смесь 1:1).

Газовую смесь из картриджа бутановой горелки (газовой зажигалки) можно разделить таким же способом.

Дополнительные смеси газа из картриджа и два изомера n-бутана и изобутана можно также инжестировать в колонну для разделения.

После нескольких инъекций замените резиновый колпачок, используемый в качестве перегородки, поскольку он начнет протекать. Перед заменой необходимо остановить ток газа.

2. Разделение смеси этанола и этилацетата

Воспользуйтесь двумя 1 мл шприцами, наполнив один из них 1 мл этанола, а другой - 1 мл этилацетата, чтобы поместить вещества в пузырек с крышечкой. Эту смесь можно хранить в пузырьке в течение некоторого времени для дальнейшего использования.

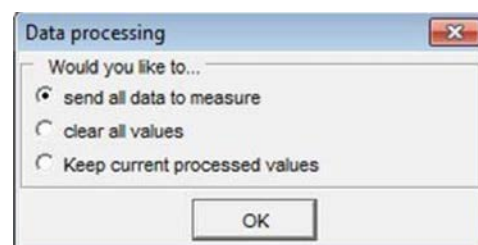




Рис. 3: Окно, которое появляется после измерения.

Проводите разделение этой смеси при температуре 80°C. Настройте термостат на эту температуру и подождите, пока термоэлемент в чехле для стекла не начнет показывать постоянную температуру 80°C. Дальнейший ход работы для проведения хроматографического разделения практически в точно соответствует действиям, описанным выше. Наполните 10 µl микролитровый шприц 5 µl смеси без пузырьков. Начните измерение, нажав , затем аккуратно вставьте канюлю шприца глубоко через перегородку, используя свободную руку, и быстро нажмите на поршень шприца. Быстро вытащите шприц из резинового колпачка (будьте осторожны, канюля может легко повредиться). Когда измерение завершено, прервите его нажатием . После каждого измерения отправляйте данные в раздел "Измерение" (см. Рис. 3) и сохраняйте данные (Файл > Сохранить измерение как).

Для определения сложного эфира инжeksiруйте в шприц дополнительную смесь, полученную из смеси 4 µl исходной смеси, а затем добавьте еще 2 µl этилацетата.

Теория и Оценка

Хроматографическое разделение веществ смесей происходит между неподвижной фазой, которой наполнена хроматографическая колонна, и подвижной фазой, которая с постоянной скоростью движется через разделительную колонну. В газовой хроматографии подвижная фаза представляет собой газ: он называется газом-носителем. Для разделения веществ можно применять различные способы разделения (например, адсорбцию, распределение, ионный обмен, гель-фильтрацию).

Газовая хроматография чаще всего применяется в качестве хроматографии распределения. В этом случае, неподвижная фаза включает в себя подвижную фазу, состоящую из твердого вещества, поверхность которого покрывается небольшим количеством воды с момента этапа разделения. При изобарических и изометрических условиях для установления равновесия распределения действителен закон распределения Нернста

$$K = \frac{a_A^I}{a_A^{II}} \quad (1)$$

где

K Коэффициент распределения Нернста

a_A^I Активность вещества А в фазе I

a_A^{II} Активность вещества А в фазе II

Когда вещество перемещается через разделительную колонну, в соответствии с принципом многократного распределения или распределения Крейга устанавливается большое число равновесий. Вещества, активность которых в неподвижной фазе высока, медленно перемещаются через разделительную колонну, в то время как вещества, которые плохо растворяются в неподвижной фазе, быстро перемещаются через колонну. Аналогично дистилляции, разделительная мощность колонны описывается количеством теоретических тарелок. Чем больше количество теоретических тарелок колонны, тем выше разделительная мощность. Количество теоретических тарелок N можно определить как отношение длины колонны L и высоты H , эквивалентной теоретическим тарелкам.

$$N = \frac{L}{H} \quad (2)$$

где

N Количество теоретических тарелок

L Длина колонны

H Высота, эквивалентная теоретическим тарелкам

Высоту, эквивалентную теоретическим тарелкам, можно рассчитать из хроматограммы. На Рис. 4 показаны характерные величины, которые отображаются на хроматограмме. Интенсивность сигнала изображена на графике как функция времени. Время простоя представляет собой время, которое необходимо газу, покидающему колонну, для того чтобы пройти через нее.

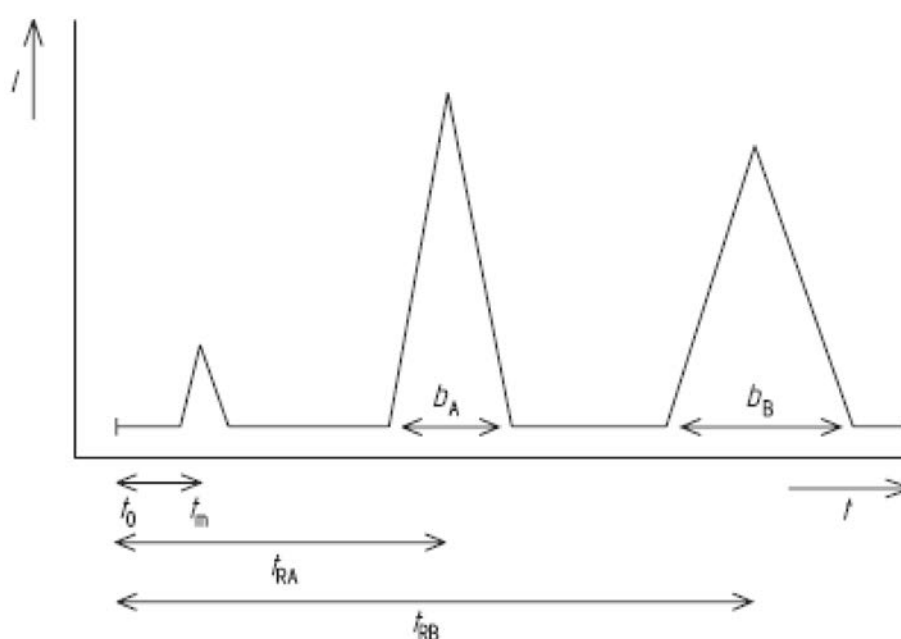


Рис. 4: Характерные величины хроматограммы

С помощью хроматограммы можно определить высоту, эквивалентную теоретическим тарелкам, которая представляет собой меру разделительной мощности колонны.

$$H = \frac{b^2 L}{16 t_R^2} \quad (3)$$

Время удержания необходимо для определения вещества (качественной информации). Это время характерно для конкретного вещества при постоянных условиях.

Область, расположенная под соответствующим максимумом вещества, предоставляет количественную информацию. Для игольчатых максимумов высоту максимума можно использовать непосредственно для количественного определения.

I Интенсивность сигнала

t_0 Начальное время

t_m Время простоя

t_{RA} Время удержания вещества А

t_{RB} Время удержания вещества В

b_A Базальная ширина вещества А

b_B Базальная ширина вещества В

Данные и результаты

Результаты для разных разделительных колонн значительно отличаются. Следующие результаты были получены при условиях, перечисленных выше:

1. Разделение изомеров бутана

Измерения для данной части эксперимента были выполнены при температуре разделительной колонны 22 °С. Положение “1” на следующих хроматограммах отображает момент газовых инъекций. Возникновение максимума “2” вызвано следами воздуха, введенного вместе с веществом.

На Рис. 5 и Рис. 6 изображены хроматограммы чистого *n*-бутана и изобутана.

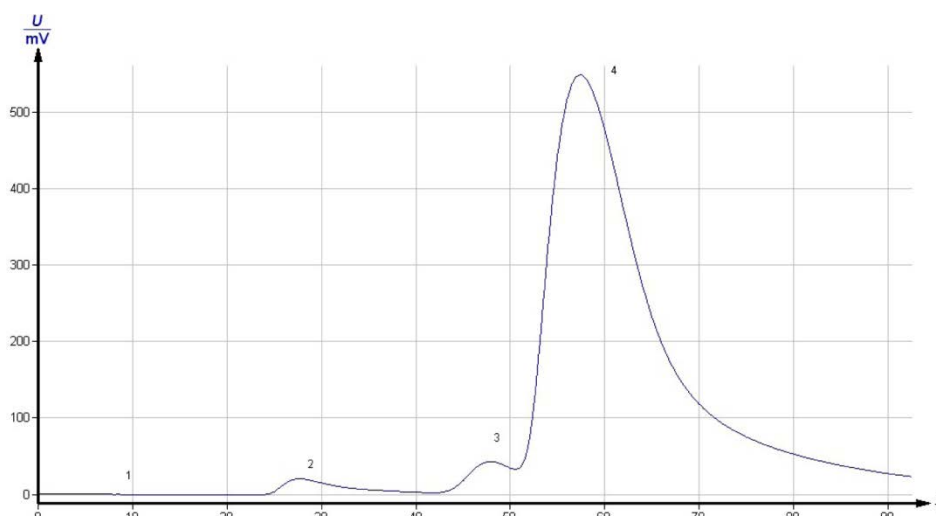


Рис. 5: Хроматограмма чистого *n*-бутана

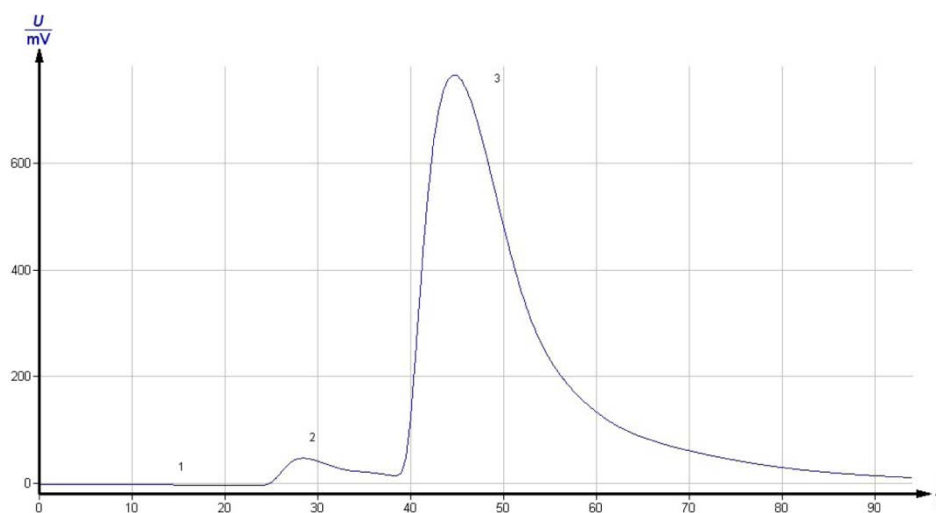


Рис. 6: Хроматограмма чистого изобутана

Максимум № 4 на Рис. 5 представляет собой *n*-бутан, в то время как максимум № 3 на Рис. 6 - изобутан. Возникновение максимума № 3 на Рис. 5 вызвано углеводородами, которые являются частью газа. Таким образом, вещество “чистого” *n*-бутана загрязнено.

Два изомера бутана можно разделить с помощью газовой хроматографии, как показано на хроматограммах (Рис. 7-9).

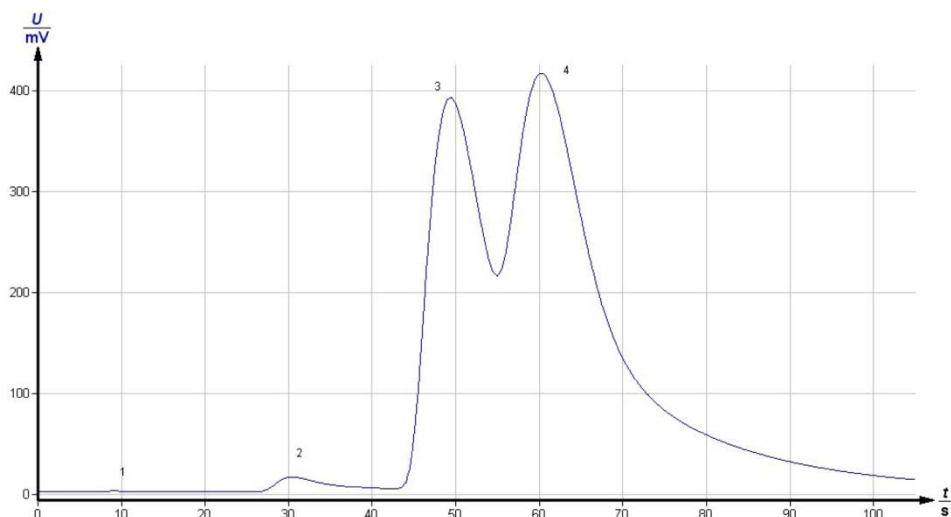


Рис. 7: Хроматограмма смеси 0,5 мл н-бутана и 0,5 мл изобутана

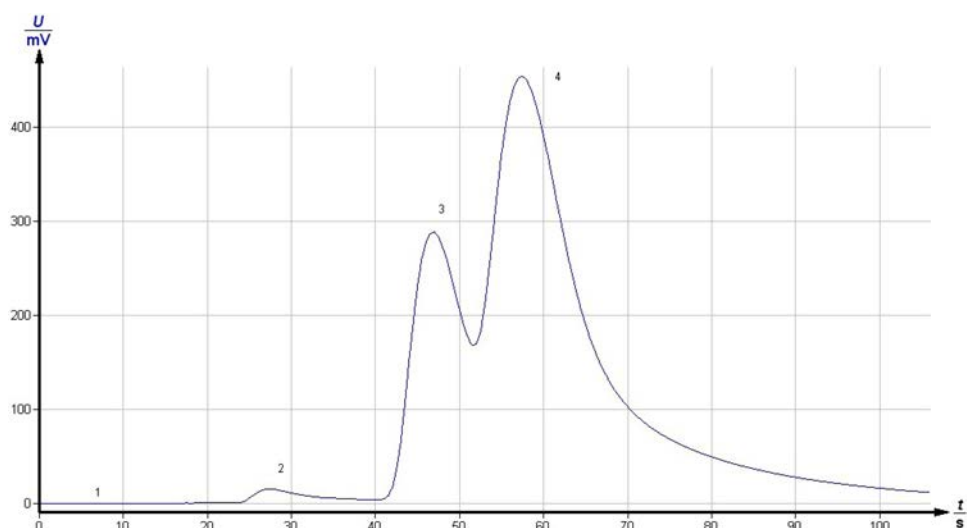


Рис. 8: Хроматограмма смеси 0,6 мл н-бутана и 0,4 мл изобутана

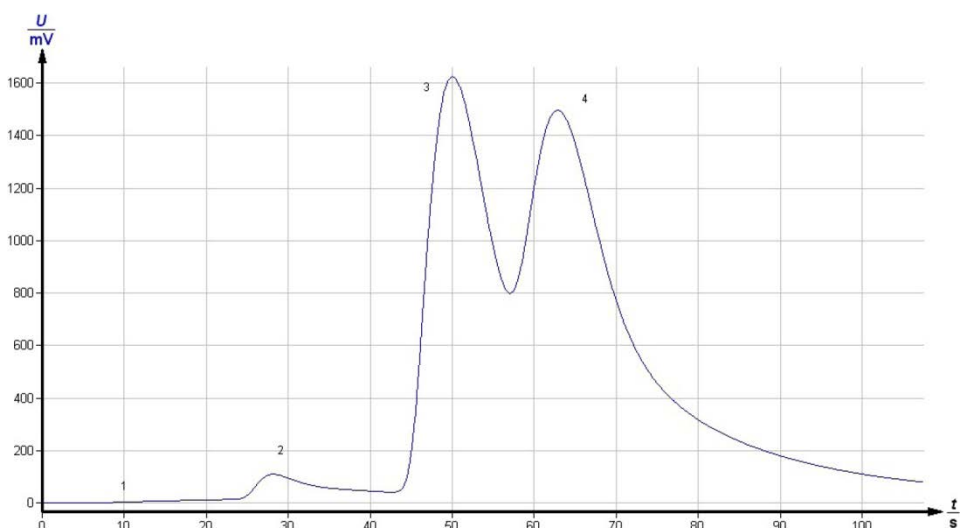


Рис. 9: Хроматограмма смеси 0,4 мл н-бутана и 0,6 мл изобутана

При сравнении хроматограммы из смеси изомеров 1:1 (Рис. 7) с теми хроматограммами, в которых преобладал один из газов, (Рис. 8 и 9), можно увидеть изменения относительных высот максимумов. Максимум с увеличивающейся интенсивностью в соотношении 1:1

можно отнести к изомеру, который преобладал. Можно продемонстрировать, что в этом разделении изобутан (максимум 3) покидает разделительную колонну раньше, чем n-бутан (максимум 4) (Рис. 8 и 9).

Разделение газовой смеси из картриджа горелки отображено на хроматограмме пятью максимумами (Рис. 10). Первый максимум можно опять же отнести к воздуху (максимум 2). Сравнение хроматограмм на Рис. 7-9 позволяет отнести максимум 4 к изобутану, а максимум 5 - к n-бутану. Максимум 3 относится к пропану, который также присутствует в смеси печного газа.

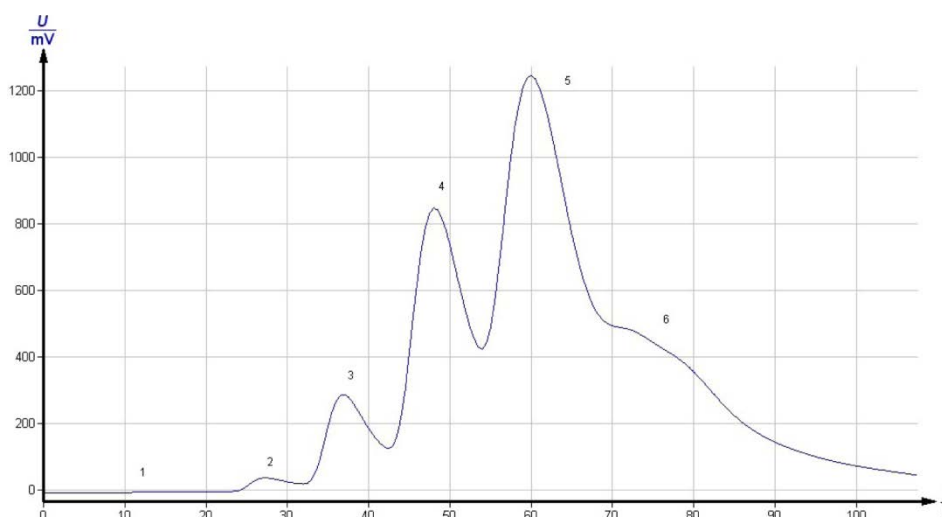


Рис. 10: Хроматограмма кемпингового газа

Справедливость этого отнесения можно продемонстрировать путем проведения отдельных хроматографических разделений газа, который включает в себя печной газ с небольшим количеством одного из чистых газов (Рис. 11 и 12). В этом эксперименте пропан не использовался, но, в принципе, он тоже может подвергаться такому разделению.

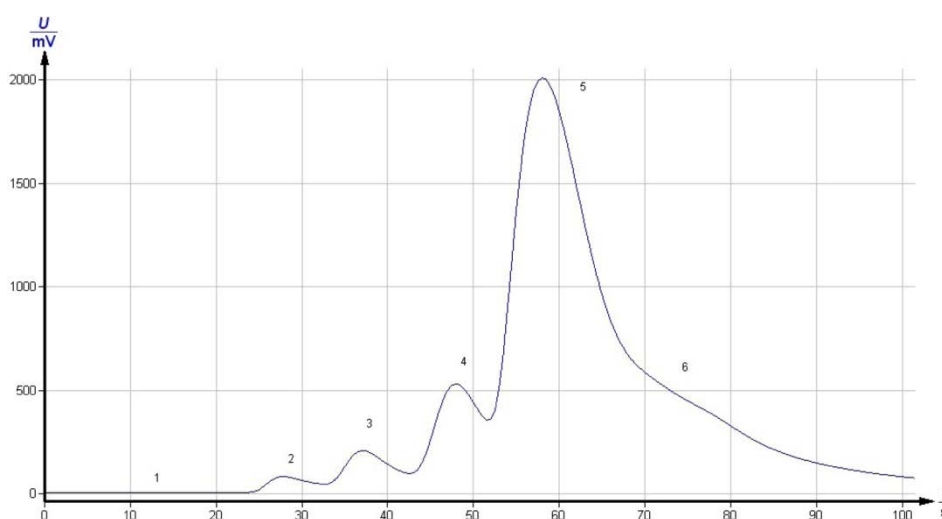


Рис. 11: Хроматограмма смеси 0,5 мл n-бутана и 0,5 мл кемпингового газа

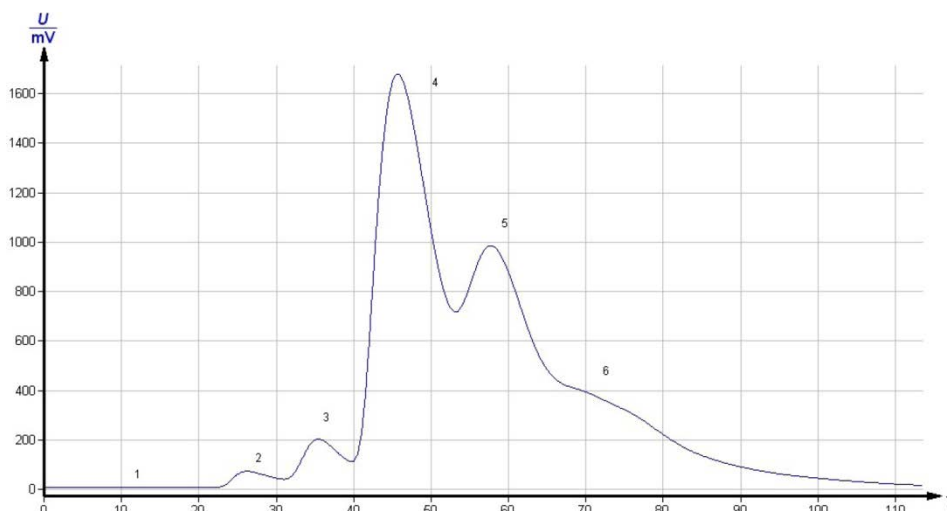


Рис. 12: Хроматограмма смеси 0,5 мл изобутана и 0,5 мл кемпингового газа

Следующий максимум находится на хроматограммах на Рис. 10-12 (максимум 6). Он относится к небольшому количеству, 1,3 бутадиена, а, в соответствии с указанием на газовом цилиндре, это количество бутадиена содержится в газовой смеси кемпингового газа.

Экспериментально полученные результаты можно объяснить следующим образом. Изомеры бутана отличаются в своих точках кипения. Изобутан представляет собой практически сферическую молекулу со слабыми межмолекулярными связями и, температура его кипения составляет $11,7^{\circ}\text{C}$, в то время как n-бутан является линейной молекулой, поэтому обладает более прочными связями, в связи с чем температура его кипения является гораздо более высокой и составляет $-0,5^{\circ}\text{C}$. Поэтому, изобутан покидает разделительную колонну раньше, чем n-бутан.

Хроматографические разделения газовых смесей, продемонстрированные в данном эксперименте, проводились при следующих условиях:

Температура колонны: 22°C

Скорость тока газа-носителя: 30 мл/мин, гелий

Общее количество инъекций: 1 мл газа/газовая смесь

2. Разделение смеси этанола и этилацетата

Разделение смеси этанола и этилацетата (в объеме 1:1) отображается на хроматограмме, как и положено, с помощью двух максимумов (Рис. 13).

Максимум 1 на этой хроматограмме относится к этанолу, а максимум 2 - к сложному эфиру. Это можно легко продемонстрировать путем проведения второго разделения $4\ \mu\text{l}$ смеси и $2\ \mu\text{l}$ добавленного в нее с помощью микролитрового шприца сложного эфира. На хроматограмме этого разделения отчетливо изображен максимум 2 большего размера, если сравнивать его с

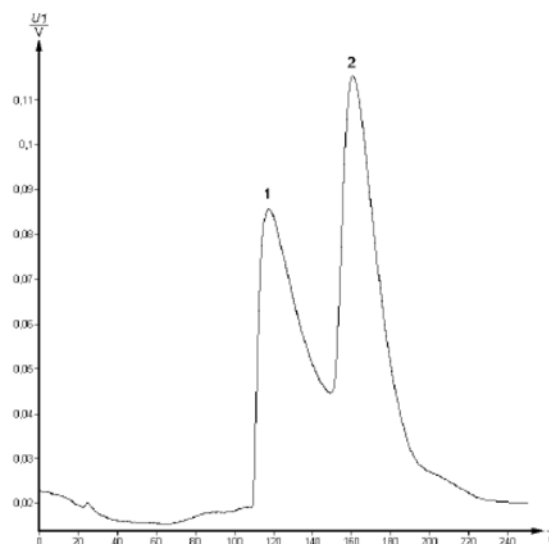


Рис. 13: Хроматограмма смеси $0,5\ \mu\text{l}$ этанола и $0,5\ \mu\text{l}$ этилацетата

максимумом 1 (Рис. 14), который приводит к выводу о том, что максимум 2 действительно относится к сложному эфиру.

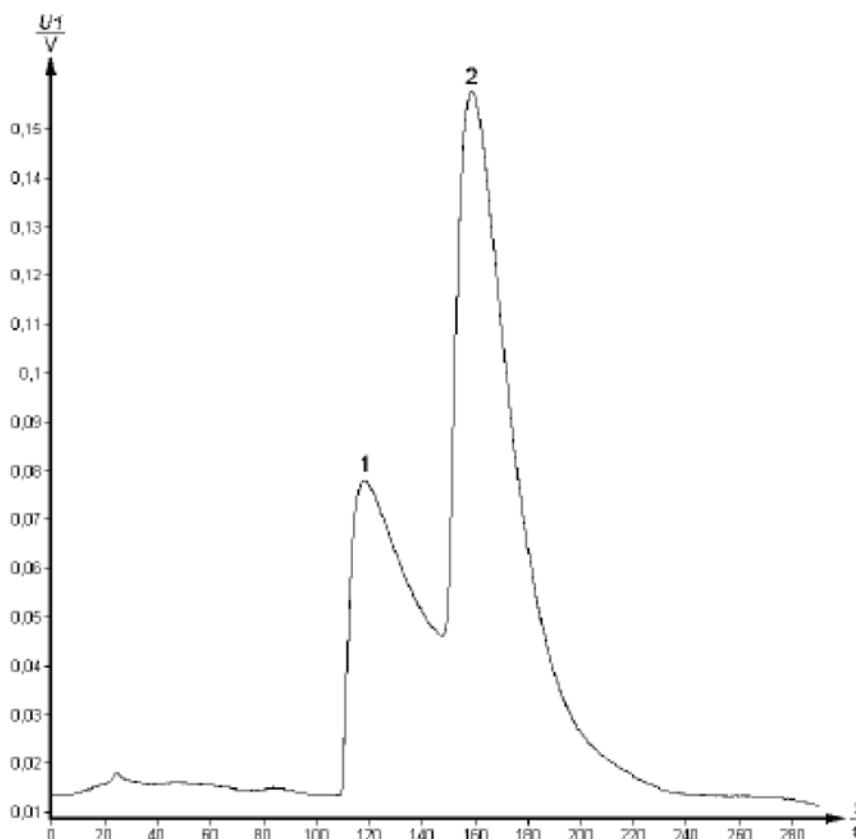


Рис. 14: Хроматограмма смеси 4 μl этанола и этилацетата (в объеме 1:1) и 0.2 μl чистого этилацетата

Хроматографическое разделение смеси этанола и этилацетата выполнялось при следующих условиях:

Температура колонны: 80°C

Скорость тока газа-носителя: 30 мл/мин, гелий

Состав проанализированных смесей:

Рис. 13: 5 μl смеси (этанол/сложный эфир = 1/1)

Рис. 14: 4 μl смеси + 2 μl сложного эфира

Если хроматографические разделения газа проходили в строгом соответствии с температурами кипения, то вещество с меньшей температурой кипения необходимо элюировать из колонны раньше, чем вещество с более высокой температурой кипения. Как видно из данного примера, этилацетат покидает колонну после этанола, хотя температура его кипения на 1,44 К ниже, чем температура кипения этанола (температура кипения этилацетата - 77.06°C, а температура кипения этанола - 78.5°C).

Именно поэтому газовая хроматография позволяет разделять смеси на отдельные компоненты, которые невозможно получить путем дистилляции, например, аэрозольных смесей или смесей веществ, температуры кипения которых практически совпадают. Качество разделения можно значительно улучшить путем изменения условий (разделительной среды, температуры, скорости тока газа-носителя, и т.д.).

Примечание

Использование газовых хроматографов для разделения смесей газов представляет собой хорошо испытанный метод в аналитической работе. Они могут разделять даже очень незначительные порции смесей на их компоненты таким образом, что соответствующие детекторы могут их распознать. В описанных здесь экспериментах используется газовый хроматограф, который можно с легкостью собрать из отдельных деталей, что является преимуществом для студентов. Определение (отображение, распознавание) осуществляется здесь с помощью измерительного зонда на основе NTS резистора. Он распознает разделенные газовые фракции исходя из их разных теплопроводностей. Разделительная колонна, используемая в этом газовом хроматографе, наполняется динонилфталатом, а в качестве разделительной среды (неподвижной фазы) используется хромосорб, что соответствует выше приведенным указаниям. Несмотря на то что эту разделительную колонну можно использовать для разделения смесей отдельно, рекомендуется надевать на нее чехол для стекла для поддержания постоянной температуры посредством циркулирующего термостата.

Это имеет большое значение, поскольку положения максимумов веществ (время удержания), по сравнению с другими факторами, сильно зависят от температуры, и изменяющиеся температуры приводят к возникновению очень неустойчивых базовых линий. В этом газовом хроматографе гелий можно использовать в качестве газа-носителя (подвижной фазы). Скорость тока гелия можно регулировать и контролировать с помощью очень простого измерителя скорости мыльных пузырей.

Состав газа в картридже для горелки (кемпингового газа или газа, содержащегося в зажигалках) подвергается изменениям. В его составе может не содержаться пропана, ил он может состоять только из n-бутана. Поэтому состав доступного картриджа необходимо проверять до того, как использовать газ для демонстрационного эксперимента.


Здесь нет необходимости обсуждать теорию газовой хроматографии. Этот эксперимент предназначен лишь для наглядной демонстрации ее принципов. Более точные и подробные описания этих принципов можно найти в соответствующей технической литературе.

Утилизация

Органические вещества необходимо собрать в специально предназначенный контейнер и отправить на безопасную утилизацию.

Приложение

Предупреждающий знак, сигнальное слово	Краткая характеристика опасности	Меры предосторожности
<p>n-Бутан</p>  <p>Опасно</p>	<p>220: Легко воспламеняющийся газ 280: Содержит газ под давлением; при нагревании может взорваться</p>	<p>210: Держать вдали от источников тепла/искр/открытого огня/горячих поверхностей - Не курить 377: При воспламенении из-за утечки газа - не тушить до безопасного устранения утечки 381: Устраните все источники воспламенения, если это возможно сделать безопасным способом 403: Хранить в хорошо проветриваемом помещении</p>
<p>Изобутан</p>  <p>Опасно</p>	<p>220: Легко воспламеняющийся газ 280: Содержит газ под давлением; при нагревании может взорваться</p>	<p>210: Держать вдали от источников тепла/искр/открытого огня/горячих поверхностей - Не курить 377: При воспламенении из-за утечки газа - не тушить до безопасного устранения утечки 381: Устраните все источники воспламенения, если это возможно сделать безопасным способом 403: Хранить в хорошо проветриваемом помещении</p>
<p>Ацетон</p>  <p>Опасно</p>	<p>220: Легко воспламеняющийся газ 319: Вызывает серьезные глазные травмы 336: Может вызвать сонливость или головокружение</p>	<p>210: Держать вдали от источников тепла/искр/открытого огня/горячих поверхностей - Не курить 233: Хранить в плотно закрытом контейнере 305 + 351 + 338: ПРИ ПОПАДАНИИ В ГЛАЗА: Осторожно промывать водой в течение нескольких минут. Снять контактные линзы, если таковые имеются. Продолжить промывать</p>
<p>Этанол</p>  <p>Опасно</p>	<p>225: Легко воспламеняющаяся жидкость и пар</p>	<p>210: Держать вдали от источников тепла/искр/открытого огня/горячих поверхностей - Не курить</p>

<p>Этилацетат</p>  <p>Опасно</p>	<p>220: Легко воспламеняющийся газ 319: Вызывает серьезные глазные травмы 336: Может вызвать сонливость или головокружение</p>	<p>210: Держать вдали от источников тепла/искр/открытого огня/горячих поверхностей - Не курить 240: Заземлить металлические части электроустановок и электрооборудование 305 + 351 + 338: ПРИ ПОПАДАНИИ В ГЛАЗА: Осторожно промывать водой в течение нескольких минут. Снять контактные линзы, если таковые имеются. Продолжить промывать</p>
---	--	---

3. Фотометрический анализ

P3070501

Понятия, относящиеся к теме

Красители; Закон Бугера – Ламберта – Бера; Фотометрия; Спектроскопия в ультрафиолетовой и видимой области; Поглощение света

Принцип работы

В растворах, содержащих вещества разных цветов, концентрации красителей можно проанализировать посредством спектрометрии без предварительного разделения веществ.

При помощи спектрометра measureSpec можно фиксировать спектры растворов, содержащих красители без примесей. Калибровочные кривые для каждого вещества позволяют нам определять количество этого вещества в растворе;



Рис.1: Экспериментальная установка

Оборудование

Количество	Наименование	Код
1	Спектрометр measureSpec с держателем для кюветов и источником света	35610-88
9	Мерная колба объемом 100 мл, IGJ12	36548-00
1	Градуированная пипетка, 25 мл	36602-00
1	Микроложка, стальная	33393-00
1	Порошковая воронка с диаметром верхней части 100 м	36893-00
1	Синий патентованный V (натриевая соль), 2	48376-04
1	Промывалка, пластиковая, объемом 500 мл	33931-00
1	Фукусиновая кислота –фуксин s-, 25 г	31813-04
1	Дистиллированная вода, 5 л	31246-81

Дополнительное оборудование

Количество	Наименование	Код
	Персональный компьютер с версией программного обеспечения Windows XP,	
1	Аналитические весы, Sartorius ENTRIS224-1S, 220 г/0,1 мг	49292-99

Задача

- Определить долю фукусиновой кислоты в смешанном растворе, содержащем фукусиновую кислоту и синий патентованный V.

Установка и Ход работы

Подготовка растворов

Фукусиновая кислота

Взвесить 1,6 мг фукусиновой кислоты, поместив ее в 100 мл мерную колбу, и долить дистиллированной воды до отметки 100 мл для того, чтобы получить основной раствор.

С помощью пипетки поместить следующее количество раствора фукусиновой кислоты в 7 100 мл мерных колб и долить в каждую колбу воды до отметки 100 мл: 2,5 мл; 5 мл; 7,5 мл; 10 мл; 15 мл; 20 мл; 27 мл.

Эти растворы и основной раствор являются растворами, которые будут исследоваться. Мы рекомендуем начинать исследование с наименее концентрированного раствора и промывать градуированную пипетку небольшим количеством исследуемого раствора каждый раз. Поскольку клетки, как правило, слегка отличаются в толщине слоя, для одной серии измерений необходимо использовать одну клетку.

Синий патентованный V

Взвесить приблизительно 10,4 мг синего патентованного V, поместив его в 100 мл мерную колбу, и долить дистиллированной воды до отметки 100 мл.


Смесь красителей

С помощью пипетки добавьте 20 мл раствора синего патентованного V и 15 мл раствора фуксиновой кислоты в 100 мл мерную колбу и долейте в нее воды до отметки 100 мл.

Порядок действий

Для того, чтобы установить эксперимент, следуйте инструкции по эксплуатации спектрометра measureSpec. Для проведения данного эксперимента необходимо выбрать режим концентрации.

Запись спектров

Прежде всего, нажмите на кнопку  для того, чтобы установить режим концентрации. Мастер настройки концентрации будет направлять Вас на протяжении всего процесса исследования поглощения при различных концентрациях.

Спектрометр способен определять даже чрезвычайно малые изменения в концентрации. 0 до 3. Однако, идеальный рабочий диапазон для поглощения находится в промежутке между 0,5 и 2,5.

Для того, чтобы провести измерение концентрации, необходимо выполнить следующие действия:

Шаг 1: Установка времени интеграции

Во-первых, поместите опорную кювету в держатель для кювет. Установите время интеграции таким образом, чтобы наибольшее значение доходило приблизительно до отметки 85 % на оси y. Программа выполнит это автоматически в том случае, если Вы нажмете на кнопку “Установить автоматически”, при условии, что сигнал не будет выше или ниже предполагаемого наибольшего значения. В этом случае, программа попросит Вас установить необходимые настройки вручную.

Нажмите на кнопку “Далее”, чтобы перейти к следующему шагу.

Шаг 2: Запись темного спектра

Предотвратите проникновение света путем поворота прямоугольного металлического элемента. Спектр, который будет отображаться, должен быть ровным и близким к основному. Нажмите на кнопку с темной лампочкой. Теперь, темный спектр будет записываться (Рис. 2).

Нажмите на кнопку “Далее”, чтобы перейти к следующему шагу.

Шаг 3: Запись основного спектра

Поместите кювету с основным раствором (дистиллированной водой) в держатель для кювет. Нажмите на кнопку с горячей лампочкой. Теперь, основной спектр будет записываться (Рис. 3).

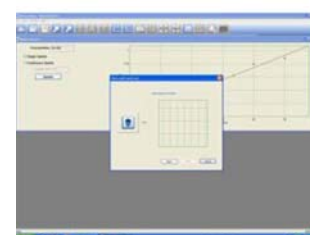


Рис. 2: Запись темного спектра

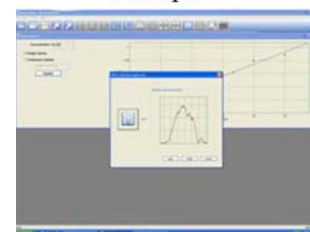


Рис. 3: Запись основного спектра



Рис. 4: Выбор настроек калибровки

В общем случае, опорная кювета должна содержать только растворитель, как правило, воду, или другой растворитель, такой как спирт.

Если время интеграции или другая настройка измерения была изменена, необходимо снова записать как темный, так и основной спектр.

Нажмите на кнопку “Готово”, чтобы перейти к следующему шагу.

Шаг 4: Выбор Бугера – Ламберта – Бера или настроек калибровки

Если Вы установите настройки для применения закона Бугера – Ламберта – Бера, то так называемый молярный коэффициент поглощения ϵ используемого вещества должен быть известен. Если Вы хотите определить этот коэффициент для смеси, выберите опцию “Калибровать из растворов с известной концентрацией” (Рис. 4).

Шаг 5: Выбор диапазона длин волн

Для того чтобы иметь возможность измерить поглощение программному обеспечению необходимо знать соответствующую длину волны. Вы можете выбрать значение для λ_{max} (длины волны, при которой поглощение вещества является наиболее высоким, 546 нм для фуксиновой кислоты) или значение в диапазоне λ_{max} . Вы можете увидеть спектр поглощения за диалоговым окном.

Шаг 6: Создание калибровочной кривой

Используйте, по крайней мере, три вещества с известными концентрациями. В данном случае, используйте семь образцов, которые Вы подготовили. Введите концентрацию вещества в поле “Концентрация”. В поле “Поглощение” Вы можете ввести коэффициент поглощения вручную (например, основываясь на Ваших заметках из предшествующих калибровок) или Вы можете определить его, нажав кнопку “Определить сейчас”. После исследования третьего образца будет построена линия регрессии.

График может быть представлен в первой или второй области и проходить через точку начала координат. После этого, значение молярного коэффициента экстинкции и R^2 будет рассчитано и отображено (Рис. 5).

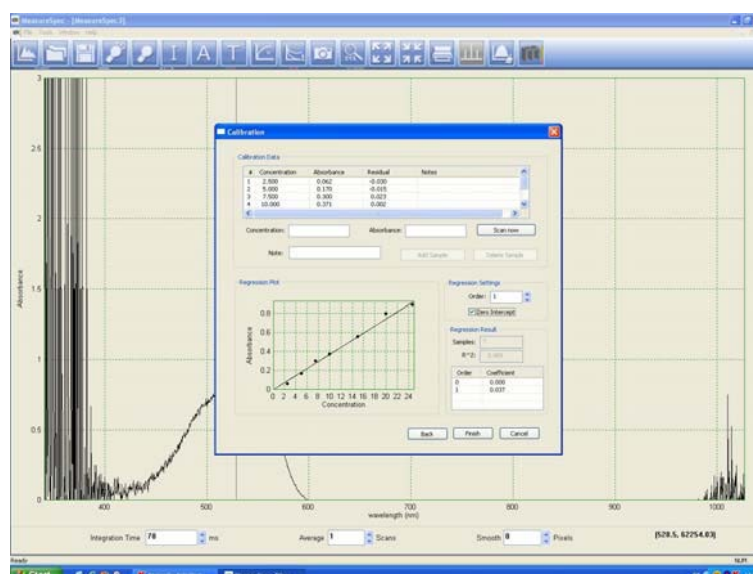


Рис. 5: Создание калибровочной кривой

Шаг 7: Отображение концентрации

Теперь Вы можете помещать образец в держатель для кювет для каждой известной концентрации исследуемого соединения. Программное обеспечение сможет мгновенно определить концентрацию и отобразить ее в виде отметки, красного алмаза, на калибровочной кривой.

На калибровочной кривой не будут отображаться значения в том случае, если она была создана на основе измерения растворов известной концентрации, поскольку, в этом случае, значения должны быть определены во время проведения измерений. Если калибровочная кривая создается с помощью опции “Закон Бугера – Ламберта – Бера”, то Вы можете определить значения.

Теория

При условии, что максимумы поглощения двух красящих веществ существенно отличаются друг от друга и не влияют друг на друга, можно провести одновременный фотометрический анализ раствора без предварительного разделения данных веществ. На Рис. 6 изображены спектры поглощения фуксиновой кислоты и синего патентованного V. Между максимумами поглощения этих двух веществ есть разница приблизительно 100 нм. Остаточным поглощением каждого красителя при максимуме поглощения другого красителя можно пренебречь.

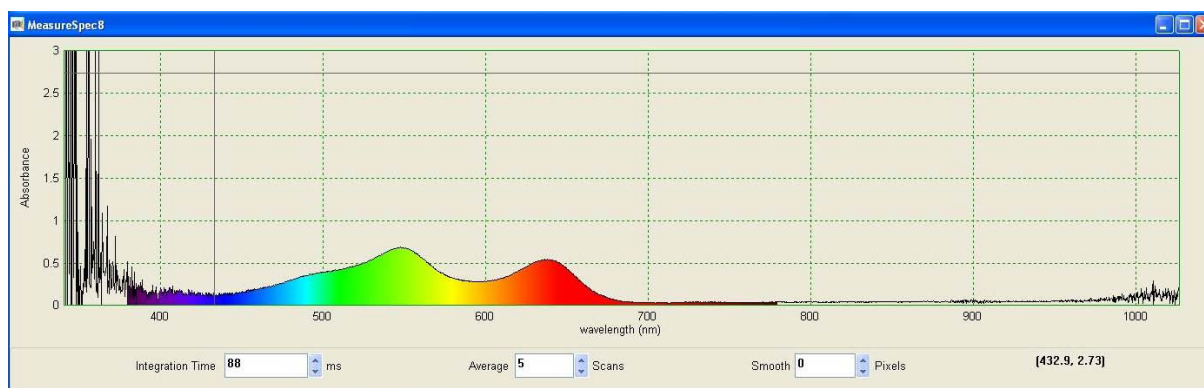


Рис. 6: Спектры поглощения фуксиновой кислоты и синего патентованного V

Когда раствор красной фуксиновой кислоты смешивается с раствором синего патентованного V, раствор окрашивается в фиолетовый цвет. Должна существовать возможность определить долю фуксиновой кислоты в этом фиолетовом растворе. Для того, чтобы достичь этого, проводят анализ ряда растворов фуксиновой кислоты и изображают калибровочную кривую, в которую входят значения, определяющие долю раствора фуксиновой кислоты.

Затем определяют значение при 546 нм для смеси фиолетового раствора. Вы можете определить долю раствора фуксиновой кислоты непосредственно из калибровочной кривой.

Обратите внимание! Поскольку абсолютные концентрации красителя в этих растворах являются очень низкими, и клетки допускают допустимое отклонение, калибровочные

кривые никогда не будут универсальными. Поэтому, для каждой серии измерений необходимо изображать новые калибровочные кривые.

Примечание

Синий патентованный V имеет тенденцию поглощаться поверхностью. Поэтому, при промывании пипетки, желательно, сначала промыть ее небольшим количеством этанола, а затем – дистиллированной водой.

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

4. Скорость молекул и закон распределения Максвелла-Больцмана

P2320300

Понятия, относящиеся к теме

Кинетическая теория газов, модель кинетической энергии, средняя скорость, распределение скоростей

Принцип работы

Прибор для исследования кинетической теории газов должен использоваться в качестве модели для имитации движения молекул газа, а также для установления их скорости путем определения расстояния броска стеклянных шариков. Определение распределения скоростей можно сравнить с теоретическим уравнением Максвелла-Больцмана.

Оборудование

Количество	Наименование	Код
1	Прибор для исследования кинетической теории газов	09060-00
1	Приемник с записывающей камерой	09061-00
1	Источник питания, с переменным током, 15 В переменного тока/12 В постоянного тока/5 А	13530-93
1	Цифровой стробоскоп	21809-93
1	Секундомер, цифровой, 1/100 сек.	03071-01
2	Штатив с тремя ножками PASS	02002-55
1	Соединительный шнур, $l = 750$ мм, красный	07362-01
1	Соединительный шнур, $l = 750$ мм, красный	07362-04
1	Пробирка, $d = 16$ мм, $l = 16$ см	37656-10
1	Штатив для 12 пробирок, деревянный	37686-00
5	Стеклянный стакан, 50 мл, большой	36001-00
1	Ложка	40874-00

Дополнительное оборудование

Количество	Наименование	Код
	Прецизионные весы, например, прецизионные весы Sartorius CPA 623S, 620 г/0,001 г, 230 В	49224-93



Рис. 1. Экспериментальная установка

Задачи

- Измерить скорость распределения “модели газа”.
- Сравнить результат с теоретическим поведением, описанным распределением Максвелла-Больцмана.
- Обсудить результаты.

Установка и ход работы

Установите эксперимент как показано на Рис. 1.

Подсоедините приемник с записывающей камерой к прибору, как описано в инструкции по эксплуатации для определения скоростей частиц.

Сначала определите средний вес одного стеклянного шарика посредством взвешивания всех шариков (например, 100) для того, чтобы не тратить время на подсчет стеклянных шариков во время эксперимента.

После этого, необходимо определить среднее число стеклянных шариков, выброшенных из прибора в течение 1 минуты. Для того чтобы осуществить это, поместите в прибор 400 стеклянных шариков и установите его согласно следующим условиям:

- высота верхнего поршня: 6 см
- частота осциллятора: 50 s^{-1} (контролируется напряжением и стробоскопом).

Теперь откройте выходное отверстие прибора на 1 минуту и определите количество выброшенных шариков путем их взвешивания. Снова поместите эти шарики в прибор и дважды повторите эксперимент.

Подготовьтесь к проведению имитационного эксперимента, подсчитав среднее количество шариков, выброшенных за минуту, и заполнив каждый из четырех стеклянных стаканов этим количеством шариков. Настройте прибор согласно следующим условиям:

- высота верхнего поршня: 6 см
- разница в высоте между выходным отверстием и приемником: 8 см
- количество шариков: 400
- частота осциллятора: 50 s^{-1} .

Когда частота стабилизируется, откройте выходное отверстие на 5 минут.

После каждой минуты перемещайте шарики из одного стакана в прибор для поддержания постоянной "плотности частиц". Определите количество стеклянных шариков в каждом из 24 отсеков приемника путем их взвешивания.

Снова наполните стеклянные стаканы и повторите эксперименты четырежды.

Теория и оценка

Согласно определению, кинетическая энергия молекул идеального газа представлена формулой

$$\overline{E_k} = \frac{m}{2} \cdot \overline{c^2} \quad (1)$$

E_k Средняя кинетическая энергия

m Масса молекулы

c Средняя скорость молекулы

Исходя из кинетической теории, давление идеального газа можно выразить формулой

$$p = \frac{1}{3} \cdot \rho \cdot \overline{c^2} \quad (2)$$

p Давление

ρ Плотность

Объединив уравнения (1) и (2) вместе с законом идеального газа, получаем

$$p \cdot V_{\text{mol}} = R \cdot T \quad (3)$$

V_{mol} Молярный объем
 R Постоянная газа
 T Абсолютная температура

мы получаем следующее выражение для величины \bar{c}

$$\bar{c} = \left(\frac{3 \cdot R \cdot T}{M} \right)^{1/2}$$

или

$$\bar{c} = \left(\frac{3 \cdot k \cdot T}{m} \right)^{1/2} \quad (4)$$

k Постоянная Больцмана

Это означает, что средняя кинетическая энергия прямо пропорционально абсолютной температуре газа, который выражает температуру на молекулярном уровне.

Прямое определение скорости некоторой молекулы невозможно, поскольку столкновения с другими молекулами заставляют ее постоянно изменяться. Для большого числа молекул функцию распределения молекулярных скоростей можно получить с помощью статистических методов. Это осуществили Максвелл и Больцман, получив следующий результат:

$$\frac{dN}{N} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \left(\frac{m}{k \cdot T} \right)^{3/2} \cdot c^2 \cdot e^{-\left(\frac{m \cdot c^2}{2 k T}\right)} \cdot dc \quad (5)$$

Данное уравнение выражает вероятность того, что скорость молекулы находится в интервале $\{c, c+dc\}$. Соответствующая функция распределения кислорода при температуре 273 К изображена на Рис. 2 в качестве примера.

Для скорости при максимальной величине c_w кривой (наиболее вероятная скорость) можно получить следующее соотношение:

$$c_w = \left(\frac{2 \cdot k \cdot T}{m} \right)^{1/2} \quad (6)$$

Введение уравнения (6) в уравнение (5) приводит к

$$\frac{dN}{N} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \cdot \left(\frac{1}{c_w^2} \right)^{3/2} \cdot c^2 \cdot e^{-\left(\frac{c^2}{c_w^2}\right)} \quad (7)$$

Обратите внимание, что $c_w \neq c$ и

$$c_w : \bar{c} : \sqrt{c^2} = \sqrt{2} : \sqrt{\frac{8}{\pi}} : \sqrt{3} = 1 : 1.13 : 1.22$$

В модельном эксперименте со стеклянными шариками скорость шариков можно определить исходя из расстояния броска s :

$$c = s \cdot \frac{g}{2 \cdot h} = K \cdot s \quad (8)$$

g Ускорение на земной поверхности

h Разница в высоте между выходным отверстием и приемником

Теперь экспериментальные результаты (количество шариков на расстояние броска) можно изобразить графически в виде

$$\frac{1}{\sum N_i} \cdot \frac{N_i}{\Delta c} = f(c) \quad (9)$$

N_i Количество шариков в интервале i , $i = 1 \dots 23$

Δc Интервал скорости, соответствующей $\Delta s = 1$ см (0,078 м/с)

как показано на Рис. 3.

Функцию теоретического распределения можно оценить при помощи уравнения (7), пользуясь скоростью при максимуме экспериментального распределения c_w . Результат для примера, изображенного на Рис. 3, также отображен на диаграмме. Совпадения между двумя кривыми достаточно заметные, принимая во внимание модельный характер эксперимента.

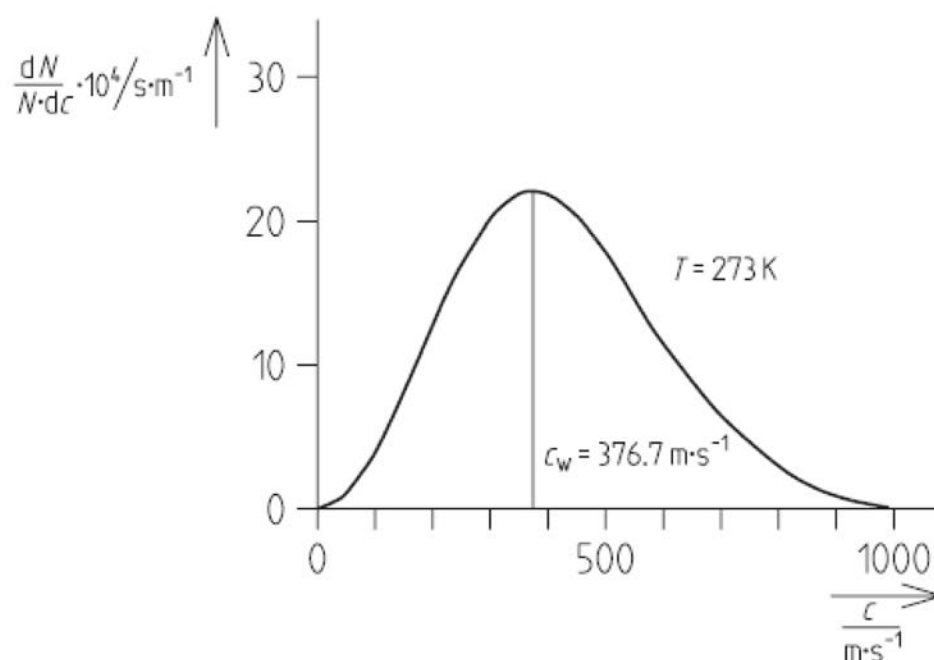


Рис. 2: Распределение скоростей молекулы кислорода при температуре 273 К

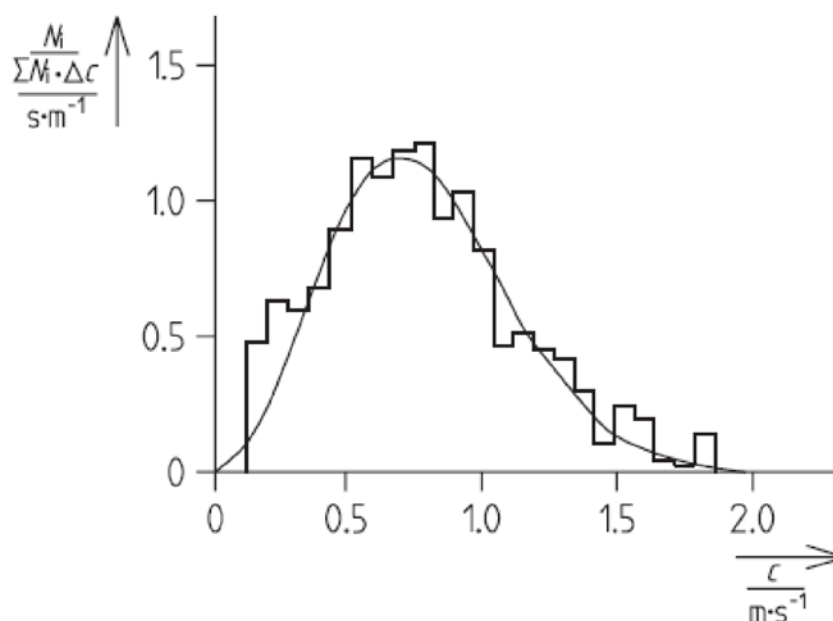


Рис. 3: Экспериментальная и теоретическая скорость распределения в модельном эксперименте

5. Измерение вязкости при помощи вискозиметра с падающим шариком

P2140400

Понятия, относящиеся к теме

Жидкость, ньютоновская жидкость, закон Стокса, текучесть, динамическая и кинематическая вязкость, измерение вязкости

Принцип работы

Из-за внутреннего трения, возникающего между частицами, жидкости и газы имеют разные вязкости. Вязкость, свойство структуры и температуры вещества, можно экспериментально определить, например, путем измерения скорости падения шарика в трубке, наполненной жидкостью, для проведения исследования.

Оборудование

Количество	Наименование	Код
1	Вискозиметр с падающим шариком	18220.00
1	Термометр, 24...+51 °С	18220.02
1	Погружной термостат ТС10	08492.93
1	Набор дополнительного оборудования для ТС10	08492.01
1	Ванна для термостата, из макролона	08487.02
1	Штатив, $h = 750$ мм	37694.00

Количество	Наименование	Код
1	Прямоугольный зажим	37697.00
1	Универсальный зажим с шарниром	37716.00
1	Пикнометр, калиброванный, 25 мл	03023.00
9	Мерная колба 100 мл, IGJ12/21	36548.00
11	Стекланный стакан, высокий, 150 мл	36003.00
1	Стекланный стакан, короткий, 250 мл	36013.00
1	Пипетки Пастера, 250 шт.	36590.00
1	Резиновые колпачки, 10 шт.	39275.03
6	Шланговый хомут, $d = 8-12$ мм	40996.01
6	Резиновая трубка, внутренний диаметр – 6 мм	39282.00
1	Секундомер, цифровой, 1/100 сек.	03076.01
1	Лабораторные весы, 620 гр.	48852.93
2	Промывалка, пластиковая, 500 мл	33931.00
2	Метанол, 500 мл	30142.50
1	Вода, дистиллированная, 5 л	31246.81

Задачи

Измерить вязкость

- смеси воды и метанола в различном соотношении при постоянной температуре,
- воды в зависимости от температуры и
- метанола в зависимости от температуры.

Исходя из того, как вязкость зависит от температуры, рассчитать энергетические барьеры для подвижности воды и метанола.

Установка и Ход работы

Собрать экспериментальную установку в соответствии с Рис. 1. Подсоединить вискозиметр с падающим шариком к насосу термостата при помощи резиновой трубки (закрепить соединения трубки при помощи шланговых хомутов!). Наполнить ванну циркулирующего термостата дистиллированной или деминерализованной водой во избежание образования накипи.



Рис. 1: Экспериментальная установка: Измерение вязкости при помощи вискозиметра с падающим шариком

Соединить охлаждающую катушку термостата с линией подачи воды при помощи трубки (закрепить соединения трубки при помощи шланговых хомутов!).

Помимо этого, подготовить вискозиметр с падающим шариком в соответствии с инструкцией по эксплуатации; калибровать его; а также заполнить его жидкостью для каждого эксперимента для проведения исследования (водой, метанолом или смесью воды и метанола в соответствии с Табл. 1) таким образом, чтобы избежать возникновения пузырьков.

Шарик № 1, который изготовлен из боросиликатного стекла, подходит для проведения исследований в данном диапазоне вязкости. Данные о нем можно найти в приложенном свидетельстве об испытании. После того, как шарик помещают в трубку пикнометра, он помогает вискозиметру уравновеситься до выбранной рабочей температуры T приблизительно за 10 минут до определения 3-5 точек времени падения t . Рассчитать среднее арифметическое измеренных значений в каждом случае.

Постоянная рабочая температура 298 К рекомендуется для измерения вязкости в смесях воды и метанола (Задача 1).

Провести исследование температурной зависимости вязкости чистых жидкостей (Задачи 2 и 3) с температурным шагом в 5 К в диапазоне температур от 293 К до 323 К. Наряду с этим, определить плотность соответствующих жидкостей, которые необходимы для расчетов. Для того, чтобы выполнить это, необходимо взвесить чистый и сухой пикнометр, а затем наполнить его жидкостью, которая будет исследоваться; прикрепить его к штативу и удерживать его в ванне с водой для термостата на протяжении примерно 15 минут. После того, как все пузырьки исчезли, необходимо закрыть его пробкой и быстро просушить с внешней стороны, после чего наполненный пикнометр необходимо взвесить

повторно. Из разницы масс двух взвешиваний и объема пикнометра, необходимо определить плотность жидкости.

Необходимо тщательно промывать трубку пикнометра и пикнометр каждый раз перед тем, как наполнить пикнометр жидкостью для проведения исследования.

Табл. 1: Литературные значения плотности ρ и динамической вязкости η для смесей воды и метанола в различных соотношениях при постоянной температуре ($T = 298,15$ K).

$m(\text{CH}_3\text{OH})$ /g	$m(\text{H}_2\text{O})$ /g	ρ /g·cm ⁻³	η /mPa·s
0	100	0.9970	0.897
10	90	0.9804	1.178
20	80	0.9649	1.419
30	70	0.9492	1.581
40	60	0.9316	1.671
50	50	0.9122	1.577
60	40	0.8910	1.427
70	30	0.8675	1.234
80	20	0.8424	1.025
90	10	0.8158	0.788
100	0	0.7867	0.557

Табл. 2: Литературные значения плотности ρ и динамической вязкости η для воды и метанола при разных температурах

T / K	Вода		Метанол	
	ρ /g·cm ⁻³	η /mPa·s	ρ /g·cm ⁻³	η /mPa·s
293.15	0.9982	1.002	0.7915	0.608
298.15	0.9970	0.897	0.7868	0.557
303.15	0.9956	0.797	0.7819	0.529
308.15	0.9940	0.726	0.7774	0.487
313.15	0.9922	0.653	0.7729	0.458
218.15	0.9902	0.597	0.7690	0.425
323.15	0.9880	0.548	0.7650	0.396

Примечание

Проведение измерений – это достаточно трудоемкий процесс, который занимает около 10 часов при тщательном выполнении. Поэтому, целесообразно разделить эксперимент на 3 составляющих (задачи) или провести дополнительные измерения. Другой вариант – для того, чтобы выполнить весь эксперимент полностью, необходимо проводить его в течение двух лабораторных дней.

Теория и оценка

Динамическая вязкость η жидкости (1) определяется силой F , которая необходима для того, чтобы привести в движение два параллельных слоя жидкости, оба из которых имеют область A , и разделены друг с другом dx со скоростью dw по отношению друг к другу.

$$\eta = \frac{F}{A \frac{dw}{dx}} \quad (1)$$

Путем установления связи между динамической вязкостью и плотностью ρ жидкости получаем кинематическую вязкость ν (2); величина, обратная динамической вязкости, обозначается как текучесть φ (3).

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (2)$$

$$\varphi = \frac{1}{\eta} \quad (3)$$

Сферическая частица с радиусом движется в жидкости под влиянием силы F и вязкости η с постоянной скоростью w .

$$w = \frac{F}{6 \pi \eta r} \quad (4)$$

(Закон Стокса)

Для попадания шарика в гравитационное поле Земли движущая сила F должна равняться произведению ускорения гравитации g и эффективной массы m , которую можно выразить разностью плотностей шарика (ρ_1) и жидкости (ρ_2).

Рис. 2: Зависимость вязкости η смеси воды и метанола от состава, выраженного массой силы тяжести w при постоянной температуре ($T = 298 \text{ K}$)

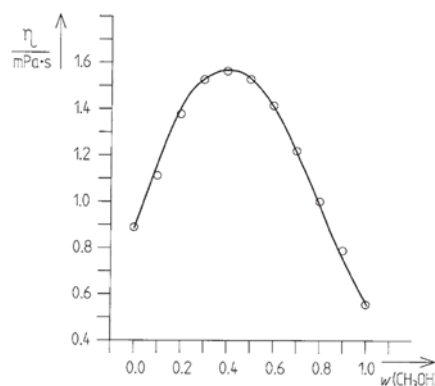
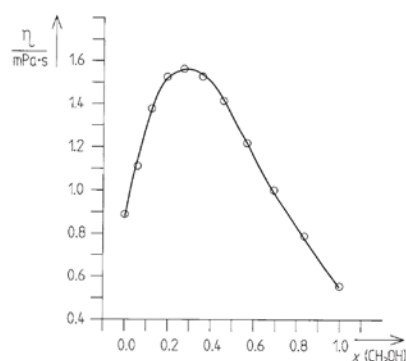


Рис. 3: Зависимость вязкости η смеси воды и метанола от состава, выраженного молярной долей x при постоянной температуре ($T = 298 \text{ K}$)



$$F = m'g = \frac{4}{3} \pi r^3 g (\rho_1 - \rho_2) \quad (5)$$

Соотношение (6) для расчета вязкости, полученной из формул (4), (5), рассматривается только в качестве предельного закона для дросселирующей среды (радиусом можно пренебречь по отношению к трубке пикнометра); в противном случае, отношения можно выявить путем внесения поправок (поправка Ладенбурга).

$$\eta = \frac{2 r^2 (\rho_1 - \rho_2) g}{g \omega} \quad (6)$$

Для вискозиметров с падающим шариком коммерческого назначения с наборами калиброванных сфер постоянные значения в уравнении (6) сочетаются с аппаратными факторами для формирования постоянной К; это значительно упрощает расчеты:

$$\eta = K t (\rho_1 - \rho_2) \quad (7)$$

(t = скорость падения шарика на измеряемом расстоянии $s = 100$ мм)

Плотность ρ_2 жидкости при температуре T , которая содержится в уравнении (7), можно рассчитать с помощью отношения

$$\rho_2 = \frac{m}{V} \quad (8)$$

(m = масса жидкости; V = объем пикнометра)

используя экспериментально определенные данные пикнометра или данные, полученные из Таблиц 1 и 2.

Вязкость является функцией структуры системы и температуры. Изменение измеряемой вязкости, в которой состав смесей метанола и воды выражены в виде массовой доли w (9.1) или мольной доли x (9.2), является проявлением неидеального поведения жидкостей. Это совпадает с дополнительным явлением смешивания, таким как смешанный объем (объемная усадка) и энтальпия смешивания.

$$w_1 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \quad (9.1)$$

(w_1 = массовая доля, m_1 = масса вещества 1)

$$x_1 = \frac{n_1}{n_1 + n_2} = \frac{\frac{m_1}{M_1}}{\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2}} \quad (9.2)$$

(x_1 = мольная доля, N_1 = количество вещества, m_1 = масса вещества 1, M_1 = молярная масса вещества 1)

Для многих жидкостей уменьшение вязкости с температурой описывается эмпирически установленной экспоненциальной функцией (10).

$$\frac{1}{\eta} = \varphi = C e^{-\frac{E}{RT}} \quad (10)$$

($R = 8,31441$ Дж · К⁻¹ · моль⁻¹, универсальная газовая постоянная)

В этом отношении, которое аналогично уравнению Аррениуса, величина C представляет собой постоянную, зависящую от системы; величина E представляет собой выражение молярной энергии, необходимой для преодоления внутреннего трения. Эту активационную энергию можно определить по наклону полученной линейной зависимости (10.1) между $\ln \eta$ и $1/T$ (Рис. 4).

$$\ln \eta = \frac{E}{R} \cdot \frac{1}{T} - \ln C \quad (10.1)$$

Данные и Результаты

Экспериментально определенные вязкости графически изображены на Рис. 2-4 в зависимости от состава смесей метанола и воды или температуры.

Следующие значения определены для наклонов линейных отношений между $\ln \eta$ и $1/T$, которые получены путем анализа линейной регрессии:

$$\Delta(\ln \eta)/\Delta(1/T) = 1.799 \cdot 10^3 \text{ К (H}_2\text{O) и}$$

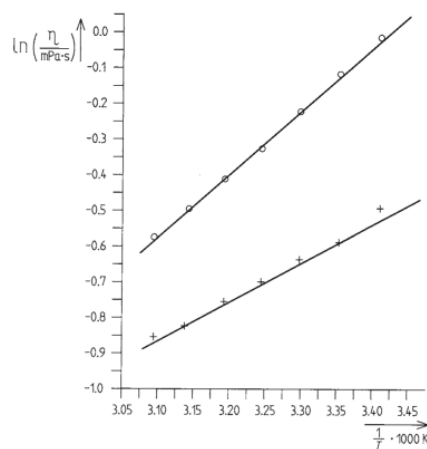
$$\Delta(\ln \eta)/\Delta(1/T) = 1.134 \cdot 10^3 \text{ К (CH}_3\text{OH).}$$

Подставляя эти значения в уравнение (10.1), получаем соответствующие энергетические барьеры

$$E = 14,8 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1} \text{ (H}_2\text{O) и } e = 9,4 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1} \text{ (CH}_3\text{OH).}$$

Энергетические барьеры, которые получены с использованием литературных значений (приведенных в Таблице 2): $E = 15,9 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$ и $E = 11,1 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$.

Рис. 4: Температурная зависимость динамической вязкости воды (O) и метанола (+), соответственно



6. Изотермы адсорбции

Р3040801

Понятия, относящиеся к теме

Адсорбент и адсорбат, изотермы адсорбции Генри, Фрейндлиха и Ленгмюра, волюметрия

Принцип работы

Как правило, термин адсорбция используют для описания процесса поглощения газов или растворенных веществ поверхностным слоем твердого тела или жидкости. При постоянной температуре количество адсорбированного вещества представляет собой функцию типа исследуемой системы, зависит от равновесных давления и/или концентрации адсорбата. Взаимосвязь этих величин представляется рядом изотерм адсорбции, справедливость которых должна быть экспериментально исследована.

Задачи

Определить остаточные равновесные концентрации лимонной кислоты после смешивания растворов с разными исходными концентрациями с постоянной массой активированного угля. Использовать результаты измерения для определения того, какой из изотерм адсорбции справедлив для данной системы.

Оборудование

Количество	Наименование	Код
2	Лабораторный штатив, h=750 мм	37694.00
1	Зажим для бюретки с крепежным узлом	37720.00
1	Штатив для фильтрования для двух воронок	33401.88
2	Магнитная мешалка, мини	47334.93
2	Магнитный перемешивающий стержень, l=30 мм	46299.02
1	Сепаратор для магнитных стержней	35680.03
1	Прецизионные весы, 629 г	48852.93
1	Бюретка 50 мл, с боковым краном	36513.01
1	Мерная колба 1000 мл, IGJ24/29	36552.00
6	Мерная колба 250 мл, IGJ14/23	36550.00
1	Градуированная пипетка, 10 мл	36578.00
1	Градуированная пипетка, 25 мл	36580.00
1	Градуированная пипетка, 50 мл	36581.00

Количество	Наименование	Код
1	Градуированная пипетка, 100 мл	36582.00
1	Измерительная пипетка, 25 мл	36602.00
1	Пипеттор	36592.00
1	Емкость для пипетки	36589.00
6	Колба Эрленмейера IGJ29/32, 250 мл	46126.00
6	Пробка, ПП, для IGJ29/32	47508.00
7	Колба Эрленмейера, с широким горлышком, 250 мл	36134.00
7	Стекланный стакан, 100 мл, высокий	36002.00
7	Воронка, стеклянная, d ₀ =55 мм	34457.00
1	Циркулярные фильтры, d=90 мм	32977.03
1	Пастеровские пипетки	36590.00
1	Резиновые шарики	39275.03
2	Ложка	33398.00
1	Промывалка, 500 мл	33931.00
1	Лимонная кислота, 250 г	30063.25
1	Раствор гидроксида натрия, 1,0 М, 1000 мл	48329.70
1	Фенолфталеин, 1%-ный раствор, 100 мл	31714.10
1	Активированный уголь, гранулированный, 500 г	30011.50
1	Вода, дистиллированная, 5 л	31246.81



Рис. 1. Экспериментальная установка

Установка и принцип работы

Установите эксперимент как показано на Рис. 1. Приготовьте 1000 мл 1-молярного раствора лимонной кислоты путем растворения 210,16 г лимонной кислоты в дистиллированной воде, и наполните мерную колбу до градуировочной отметки. При помощи пипетки поместите необходимое количество исходного раствора (V_{st}), указанное в Таблице 1, в отдельные чистые 250 мл мерные колбы, наполняя колбы до градуировочной отметки.

Налейте по 100 мл каждого из шести концентрированных растворов в отдельные 250 мл колбы Эрленмейера, содержащих ровно 3,00 г активированного угля. Поместите магнитный перемешивающий стержень в каждую колбу. Закройте колбы, затем интенсивно перемешивайте в них растворы в течение приблизительно 30 минут и подвергните их фильтрации. Титрируйте объемы образцов V_1 соответствующих фильтратов, как указано в Таблице 1, с раствором 1-молярного гидроксида натрия, используя фенолфталеин в качестве индикатора. Титрируйте 10 мл основного 1-молярного раствора лимонной кислоты V_0 аналогичным способом для того, чтобы проверить исходную концентрацию.

V_{st} / ml	V_1 / ml
250.0	10
187.5	10
125.0	25
62.5	25
25.0	50
12.5	50

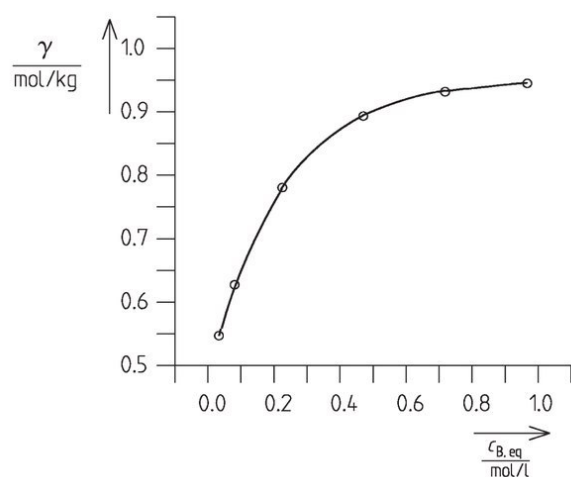
Таблица 1: Объемы основного раствора для приготовления серии концентраций V_{st} и образцы объемов после фильтрации V_1 для определения равновесной концентрации лимонной кислоты

Теория и оценка

В результате взаимодействия сил притяжения между частицами, газами и растворенными веществами, подверженными воздействию, и, обозначенными буквой В, эти частицы, газы и растворенные вещества обратимо поглощаются на поверхности твердой фазы А (адсорбции).



Рис. 2. Исследование изотермы адсорбции для лимонной кислоты/активной углеродной системы



Тип и силы взаимодействия позволяют осуществить дифференциацию между физической адсорбцией (слабыми Ван-дер-ваальсовыми силами, очень низкими энтальпиями адсорбции, рядом мультислоев адсорбированного вещества) и хемосорбцией (химическими связями, существенными энтальпиями адсорбции, монослоями адсорбированного вещества).

Адсорбция и десорбция представляют собой равновесие, положение которого зависит от температуры. Адсорбция представляет собой процесс, сопровождающийся снижением поверхностного напряжения и высвобождением теплоты адсорбции, поэтому, согласно принципу Ле Шателье для экзотермически процессов, адсорбция должна снижаться с повышением температуры.

Количество адсорбированного вещества в дальнейшем будет зависеть от концентрации вещества в фазе контактирования, а также от размера адсорбирующей поверхности. Хотя размер адсорбирующей поверхности очень сложно определить, количество

адсорбированного вещества n_B зависит от массы адсорбента m_A , которая пропорциональна размеру адсорбирующей поверхности:

$$\gamma = \frac{n_{B,ads}}{m_A} \quad (1)$$

где

γ Моляльность адсорбции

Тип и степень адсорбции представляют собой функции химической природы адсорбента и адсорбата, также как и температуры и концентрации адсорбата (для растворенных веществ) или парциального давления (для газов). Взаимосвязь между моляльностью адсорбции и свободной равновесной концентрацией B при постоянной температуре представлена рядом изотерм адсорбции.

Фрейндлих опытным путем определил изотерм адсорбции в 1907 году:

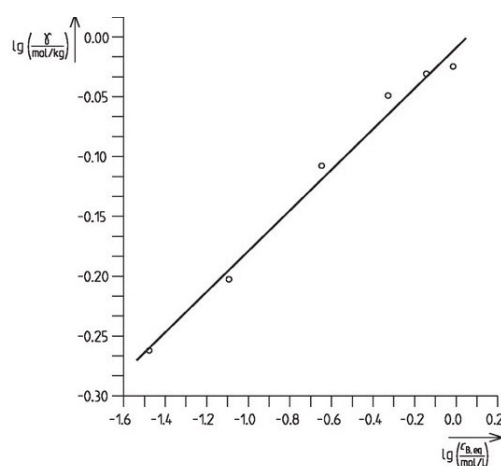
$$\gamma = \alpha c_{B,eq}^\beta \quad (2)$$

где

$c_{B,eq}$ Равновесная концентрация B

α, β Постоянные, зависящие от системы

Рис. 3. Подтверждение справедливости изотермы адсорбции для лимонной кислоты/активной углеродной системы



Логарифмическое выражение этого

$$\lg \gamma = \lg c_{B,eq} + \lg a \quad (2.1)$$

позволяет произвести простую графическую оценку и, таким образом, определить постоянные a и b (Рис. 4).

С увеличением площади поверхности γ стремится к предельному значению γ_{\max} , то есть к образованию монослоя. Реальный коэффициент (γ) и максимальный коэффициент (γ_{\max}) моляльности адсорбции определяется тем же способом, что и площадь покрытия Θ .

$$\Theta = \frac{\gamma}{\gamma_{\max}} \quad (3)$$

Исходя из этого, изотерму адсорбции можно получить путем исследования кинетики адсорбции и десорбции. Скорость адсорбции пропорциональна произведению концентраций участников реакции, то есть молекул адсорбата и свободных позиций на поверхности адсорбента. Если Θ представляет собой площадь покрытия, тогда $1 - \Theta$ выражает размер свободной поверхности адсорбента.

$$-\frac{d c_B}{d t} = k_{\text{ads}} c_B (1 - \Theta) - k_{\text{des}} \Theta \quad (4)$$

где

c_B Концентрация В в растворе

$k_{\text{ads}}, k_{\text{des}}$ Постоянные скорости адсорбции и десорбции, соответственно

В случае установленной адсорбции ($-dc_B/dt = 0$), изотерма адсорбции Ленгмюра представляет собой (Рис. 2):

$$\gamma = \frac{\gamma_{\max} K c_{B,\text{eq}}}{1 + K c_{B,\text{eq}}} \quad (5)$$

где

$c_{B,\text{eq}}$ Равновесная концентрация В в растворе

$K = k_{\text{ads}} / k_{\text{des}}$ = постоянные

Взаимосвязь между моляльностью адсорбции и равновесной концентрацией можно линеаризовать путем перестановки:

$$\frac{1}{\gamma} = \frac{1}{\gamma_{\max} \cdot K} \cdot \frac{1}{c_{B,\text{eq}}} + \frac{1}{\gamma_{\max}} \quad (5.1)$$

В области справедливости изотермы (5) графический участок $1/\gamma$ в качестве функции обратной равновесной концентрации $1/c_{B,\text{eq}}$ способствует наклону прямой линии $1/\gamma_{\max}$ и отрезку по ординате $1/\gamma_{\max}$.

В связи с очень низкими равновесными концентрациями ($K c_{B,\text{eq}} < 1$) изотерма (5) упрощается до

$$\gamma = \gamma_{\max} K c_{B,\text{eq}} = K' c_{B,\text{eq}} \quad (5.2)$$

что представляет собой закон Генри-Дальтона.

Таким образом, моляльность адсорбции γ напрямую взаимосвязана с $c_{B,\text{eq}}$.

Обратно этому, при очень высоких равновесных концентрациях ($K c_{B,\text{eq}} > 1$), моляльность адсорбции имеет тенденцию к концентрации независимого предельного значения γ_{\max} :

$$\gamma = \gamma_{\max} \quad (5.3)$$

Для того, чтобы проверить, какие изотермы адсорбции справедливы в рассматриваемом случае, определим, какие выражения адсорбции моляльности (γ , $1/\gamma$, $\lg \gamma$) соответствуют отношениям (5.2), (5.1) и (2.1) в качестве функций соответствующих равновесных концентраций ($c_{B,eq}$, $1/c_{B,eq}$, $\lg c_{B,eq}$).

Первоначальная концентрация ($c_{B,0}$) и равновесная концентрация ($c_{B,eq}$), которые необходимы для оценки, можно рассчитать из объема мерной колбы $V_K = 250$ мл и объемов NaOH (гидроксида натрия) известной концентрации c_{NaOH} , необходимых для нейтрализации объемов образцов $V_{NaOH,0}$ и $V_{NaOH,1}$ раствора лимонной кислоты, принимая во внимание трехосновность поглощаемого материала (лимонной кислоты), с принятием следующих соотношений:

$$c_{B,0} = \frac{c_{NaOH} V_{NaOH,0} V_{st}}{3 V_0 V_K} \quad (6.1)$$

$$c_{B,eq} = \frac{c_{NaOH} V_{NaOH,1}}{3 V_1} \quad (6.2)$$

Моляльность адсорбции γ можно определить, исходя из следующей взаимосвязи, которая получается из уравнения (1)

$$\gamma = \frac{n_{B,ads}}{m_A} = \frac{(c_{B,0} - c_{B,eq}) \cdot V_s}{m_A} \quad (7)$$

где

$V_s = 100$ мл, объем системы

$m_A = 3,00$ г = масса адсорбента

Данные и Результаты

Линейная взаимосвязь между логарифмами равновесной концентрации $c_{B,eq}$ и моляльность адсорбции γ , изображенные на Рис. 3, подтверждают исключительную справедливость изотермы адсорбции Фрейндлиха в исследуемом диапазоне концентраций. Постоянная $\beta = 0,172$, которая соответствует наклону линий регрессии, находится в диапазоне предполагаемых значений для гранулированного активированного угля ($0,1 < \beta < 1,0$).

7. Кинетика электрода

P3061861

Понятия, относящиеся к теме

Кинетика электрода, поляризация, перенапряжение, необратимые процессы, интерфейс электрод-электролита, вольтамперометрия и вольтамперная кривая, актуальность электролиза, топливные элементы, коррозия, полярография

Принцип работы

Если в процессе окисления и восстановления электрода реакция проходит быстро (высокие значения плотности тока обмена), то прохождение заряда через интерфейс электрод-электролита практически не нарушит равновесия реакции. Такой электрод считается неполяризуемым в том смысле, что его потенциал при низких значениях тока является стабильным и равным равновесному потенциалу электрода.

Если, с другой стороны, равновесие реакции устанавливается медленно за счет кинетического ингибирования на этапе проведения электродной реакции, то электрод считается поляризуемым. Для того чтобы реакция протекала в заданном направлении необходимо преодолеть кинетическое ингибирование реакции с помощью высокого перенапряжения.

Поляризация электрода и перенапряжения являются важными понятиями в понимании электродных процессов. Они лежат в основе того, что гальванические элементы всегда поставляют ток при меньшей, по сравнению с равновесием, ЭДС и, что прикладной потенциал, который больше, чем потенциал равновесной ЭДС, необходим для управления реакцией в электролитической ячейке. Кроме того, ряд важных электрохимических устройств (например, свинцово-кислотный аккумулятор) и электроаналитических методов (например, полярография) используют ингибирование (высокое перенапряжение) определенных электродных реакций.

Оборудование

Количество	Наименование	Код
2	Прибор Cobra4 с USB связью	12610-00
2	Прибор Cobra4 с сенсорным датчиком электричества	12644-00
1	Программное обеспечение для проведения измерений с помощью прибора Cobra4	14550-61
1	Держатель для штативного стержня прибора Cobra4	12680-00
1	Подставка для прибора Cobra4	12681-00
1	Штатив, h = 750 мм	37694-00
1	Источник питания, универсальный	13500-93

Количество	Наименование	Код
1	Держатель для 2 электродов	45284-01
2	Соединительный кабель, l = 500 мм, красный	07361-01
3	Соединительный кабель, l = 500 мм, синий	07361-04
2	Прямоугольный зажим	37697-00
1	Лабораторный термометр, -10... +50°C	38034-00
1	Угольные электроды, d = 7 мм, l = 150 мм	44512-00
1	Угольный электрод, d = 8 мм, l = 150 мм	45201-00
1	Железный электрод, d = 8 мм, l = 150 мм	45204-00
1	Свинцовый электрод, d = 8 мм, l = 150 мм	45203-00
1	Никелевый электрод, d = 8 мм, l = 150 мм	45205-00
1	Цинковый электрод, d = 8 мм, l = 140 мм	45288-02
6	Стеклянный стакан, 150 мл, низкий	36012-00
1	Секундомер, цифровой, 1/100 с	03071-01
1	Соляная кислота, 1 М, 1000 мл	48454-70
1	Вода, дистиллированная, 5 л	31246-81

Дополнительное оборудование

Количество	Наименование	Код
	Персональный компьютер с USB интерфейсом, с операционной системой Windows XP или более новой версией	
	Миллиметровая бумага	

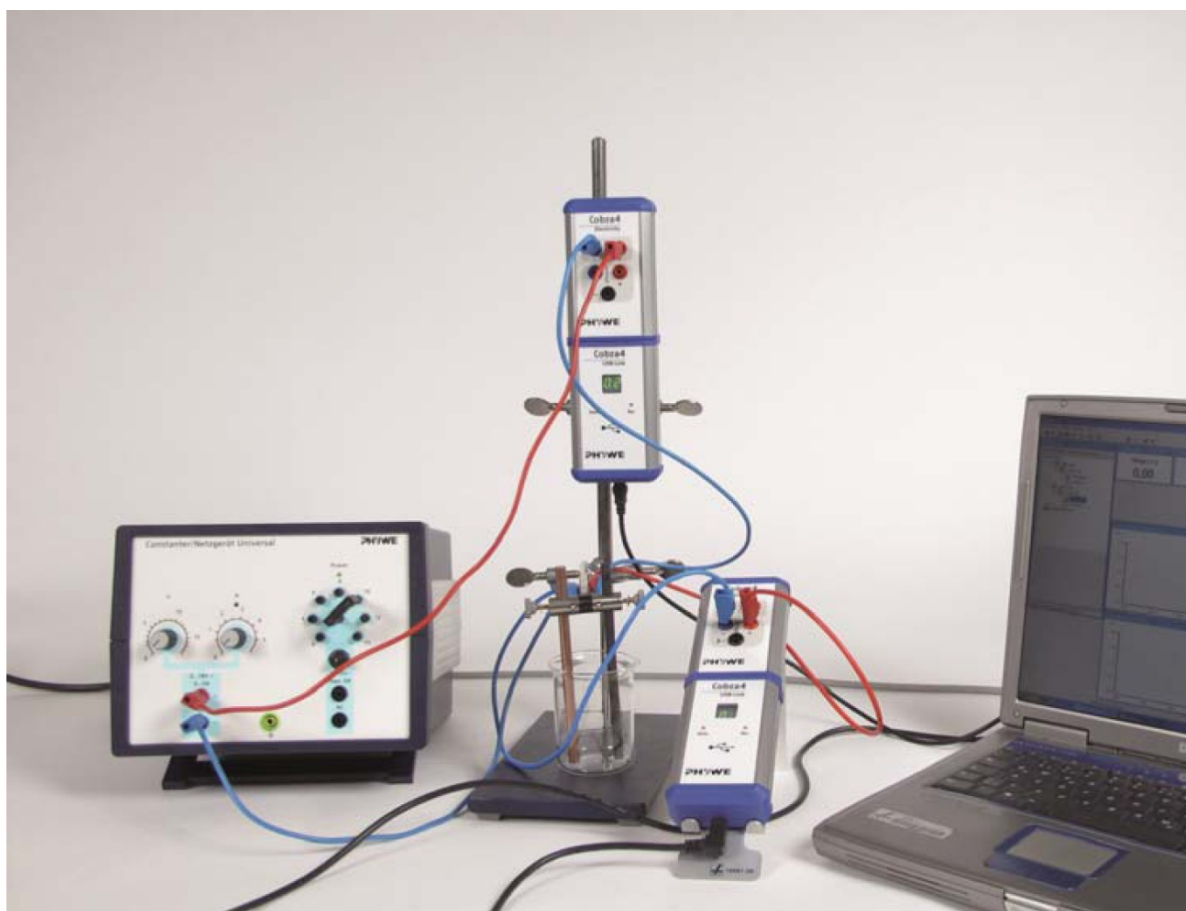


Рис. 1: Экспериментальная установка

Инструкции по технике безопасности






При работе с химическими веществами Вы должны надевать соответствующие защитные перчатки, защитные очки и соответствующую одежду. Пожалуйста, обратитесь к Приложению для получения подробных инструкций по технике безопасности.

Задачи

- Зафиксировать вольтамперную кривую для электролиза 1 М раствора соляной кислоты с помощью графитного стержня электрода, а также определить напряжение разложения. Обсудить физические процессы, определяющие форму этой кривой.
- Перемещая катод графитного стержня с рядом различных электродов металлических стержней, сравните перенапряжение для выделения водорода при этих металлах.

Установка и Ход работы

- Экспериментальная установка изображена на Рис. 1.
- Соедините прибор Cobra4 с сенсорным датчиком электричества с прибором Cobra4 с USB связью. Прикрепите их к штативу с держателями для прибора Cobra4.
- Прикрепите держатель для электрода к штативу с помощью прямоугольного зажима.

- Соедините "+" полюс источника питания и "+" полюсом тока одного из приборов Cobra4 с сенсорным датчиком электричества с помощью красного кабеля.
- Соедините "-" полюс этого прибора Cobra4 с сенсорным датчиком электричества с держателем для электрода. Другой полюс держателя для электрода необходимо соединить с "-" полюсом источника питания с помощью синего кабеля.
- Соедините "+" и "-" полюса второго прибора Cobra4 с сенсорным датчиком электричества с полюсами держателя для электрода.
- Вставьте два графитных электрода в отверстия держателя для электродов.
- Включите персональный компьютер и соедините прибор Cobra4 с USB связью с компьютером с помощью USB кабелей.
- Запустите программу "Измерение" и загрузите эксперимент "Кинетика электрода: измерение водородного перенапряжения металлов с помощью прибора Cobra4" (Эксперимент > Открыть эксперимент). Параметры измерения для данного эксперимента теперь загружены.
- Поместите 150 мл стеклянный стакан с 80 мл 1 М раствора HCl под электродами графитного стержня и опустите электроды в раствор на 2 см.
- Регулятор напряжения на источнике питания должен быть на нуле.
- Запустите измерение .
- Зафиксируйте первую точку измерения .
- Теперь осторожно увеличьте приложенную разность потенциалов с шагом 0,2 В до максимального значения 4,0 В.
- После каждого увеличения напряжения подождите 1 минуту, прежде чем сохранить значение. В это время поверхности электродов будут проверяться на наличие выделения газа.
- Отмечайте температуру кислотного электролита на различных интервалах в процессе электролиза.
- Остановите измерение .
- Отправьте все данные в раздел "Измерение" (см. Рис. 2) и сохраните измерение (Файл > Сохранить измерение как...).

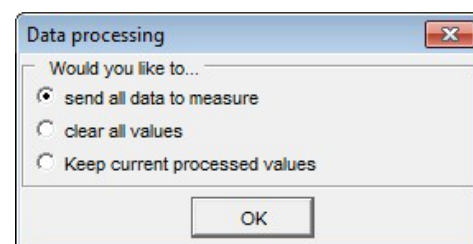


Рис. 2: Окно, которое появляется после измерения.

- На Рис. 3 изображен график в программе после остановки измерения. - Отсоедините катод графитного стержня и замените его одним из электродов из очищенного металла. Поскольку у электродов различные диаметры (C: $d = 7$ мм; Cu, Fe, Ni, Pb, Zn: $d = 8$ мм), необходимо погружать их в кислотный раствор на различную глубину для того, чтобы обеспечить равные плотности тока на поверхностях анода и катода. Для электрода площадью 5 см^2 необходима следующая глубина погружения: C: 21 мм; Cu, Fe, Ni, Pb, Zn: 18 мм.

Регулирование различных глубин погружения можно легко осуществлять путем размещения электродов на листе миллиметровой бумаги с линейчатым графом. Также, полезно делать иммерсионную отметку 21 мм на графитном аноде с помощью карандаша.

- Пользуйтесь этой отметкой как руководством, опускайте каждый из электродов в новый 80 мл раствор кислоты.

- Осторожно увеличивайте приложенное напряжение для того, чтобы зафиксировать напряжения, необходимые для индуцирования токов для электролиза 120 мА, 180 мА, 240 мА, 300 мА и, наконец, 360 мА.

- Проводите измерение каждого металлического электрода таким же способом.

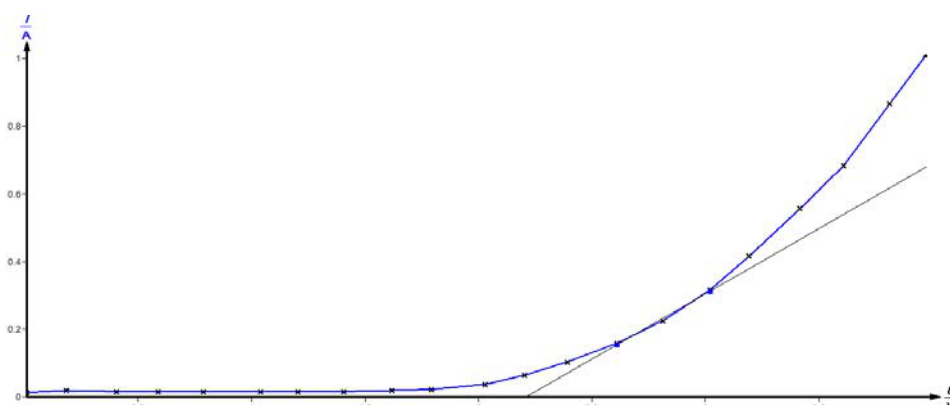
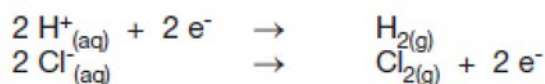


Рис. 3: Вольтамперная кривая для электролиза 1,0 М раствора HCl с использованием графитового электрода

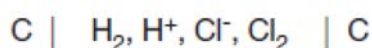
Теория и Оценка

Вольтамперные кривые, подобные тем, что изображены на Рис. 3, являются полезным средством для обсуждения физико-химических процессов, связанных с электродами. Наиболее очевидной особенностью Рис. 3 является то, что здесь отражено пороговое значение для электролиза. Превосходя пороговое значение, ток быстро увеличивается и сопровождается, в данном случае, появлением пузырьков газа на поверхностях электродов. Ниже уровня порогового значения существует небольшой, то все же наблюдаемый ток, который увеличивается очень медленно вместе с приложенным напряжением.

Как только появляется напряжение между электродами, водород осаждается на отрицательно заряженный катод, а хлор - на положительно заряженный анод.



Однако, газы не способны отделяться от растворов, поскольку их парциальные давления ниже атмосферного. Они остаются адсорбированными на графитовых электродах, которые в данном случае являются водородными и хлористыми электродами. Вместе они образуют гальванический элемент



электродвижущая сила которого противодействует внешне приложенному напряжению.

$$E = E_{\text{Cl}_2, \text{Cl}^-}^\ominus - \frac{RT}{2F} \ln \left[\frac{a_{\pm, \text{HCl}}^2}{f_{\text{H}_2} \cdot f_{\text{Cl}_2}} \right] \quad (1)$$

где

E_{Cl_2, Cl^-}^\ominus Стандартный $Cl_2 | Cl^-$ потенциал полуэлемента = 1,36 В

R Универсальная газовая постоянная

T Температура

F Постоянная Фарадея

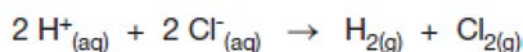
n Количество электронов, принимающих участие в электродной реакции ($n = 2$)

$a_{\pm, i}$ Средняя активность растворенного вещества i

f Летучесть газа i

До тех пор пока электродвижущая сила (Уравнение 1) просто компенсирует приложенное напряжение, ток не проходит через ячейку (в случае перемещения приложенного напряжения, электродвижущую силу гальванического элемента можно измерить). На самом деле, небольшой ток можно измерить (см. Рис. 3), поскольку небольшое количество газообразного водорода и хлора выделяется и распространяется от электродов, позволяя эквивалентным количествам осаждаться электролитически - таким образом, приводя к возникновению малого тока в ячейке.

По мере увеличения внешне приложенного напряжения, парциальные давления адсорбированных газов будут продолжать увеличиваться до тех пор, пока, в конечном итоге, атмосферное давление не будет достигнуто. В этот момент газообразный водород или хлор может отделиться от раствора и, в результате химической поляризации, электродвижущая сила достигает своего максимального значения. Пороговое напряжение, при превышении которого



в заметной степени, протекает реакция электролиза, называется напряжением разложения V_d . По величине оно будет равно, а по знаку - противоположно электродвижущей силе гальванического элемента, образованного продуктами электролиза.

Для 1 М раствора HCl средняя ионная активность составляет $a = 0,810$. Если предположить, что газы будут вести себя идеально, летучести можно вытеснить давлением; значение для V_d -1,41 В вычисляется по Уравнению 1. Однако, приближенное значение напряжения разложения -2,1 В, рассчитанное на Рис. 3 путем экстраполяции начальной части резко поднимающегося участка вольтамперной кривой при нулевом токе, значительно больше, чем теоретическое значение равновесия. Разница между двумя значениями называется ячейкой перенапряжения.

Ячейка перенапряжения состоит из нескольких независимых элементов:

1. Перенапряжения сопротивления, возникающего из омического падения ($I R$) между электродами в связи с тем, что раствор электролита не обладает безграничной проводимостью, но обладает напряжением R .

2. Перенапряжения активации на одном или обоих электродах, возникающее из кинетического ингибирования одной из стадий электродной реакции. Примерами могут служить десольватация реактивного иона до перемещения через двойной электрический слой или хемосорбция продукта реакции в подходящем месте на поверхности электрода.

3. Перенапряжение концентрации или диффузии на одном или обоих электродах происходит из-за присутствия градиентов концентрации в непосредственной близости от поверхности электрода. В результате электрохимической реакции, концентрации на поверхности электрода больше не обладают равновесными значениями. Если перемещение через двойной электрический слой происходит очень быстро, то при больших токах в ячейках диффузия из основной части раствора по отношению к электроду не сможет восполнить ионы на двойном слое достаточно быстро, что отразится и на градиенте концентрации.

Напряжение разложения, измеренное в данном эксперименте, не обладает легко определяемым теоретическим значением, поскольку оно включает в себя два отдельных электродных потенциала и омическое падение (IR) между ними. Каждый электрод также имеет перенапряжение, которое зависит от температуры, концентрации, плотности тока электрода, а также физической и химической природы поверхности электрода. Таким образом

$$V_d = E + \eta_A + \eta_B + IR \quad (2)$$

где E является величиной обратной электродвижущей силы гальванического элемента (см. Уравнение 1), а η_A и η_C представляют собой перенапряжения на аноде и катоде, соответственно. Поддерживая постоянство анода (графита) и раствора электролита (1 М HCl), изменение напряжения разложения вещества катода можно использовать для обеспечения приблизительной индикации относительных размеров катодного перенапряжения η_C , необходимого для получения водорода. Результаты изображены на Рис. 4-7. Поскольку все градиенты похожи, можно сразу определить порядок водородных перенапряжений при электролизе 1 М соляной кислоты следующим способом:

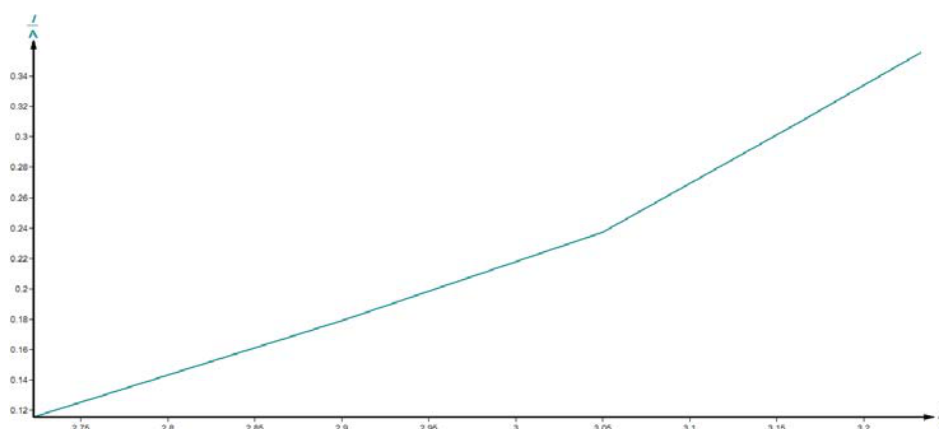
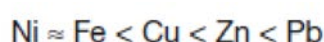


Рис. 4: Вольтамперная кривая для электролиза 1,0 М раствора HCl с использованием графитного анода и свинцового катода

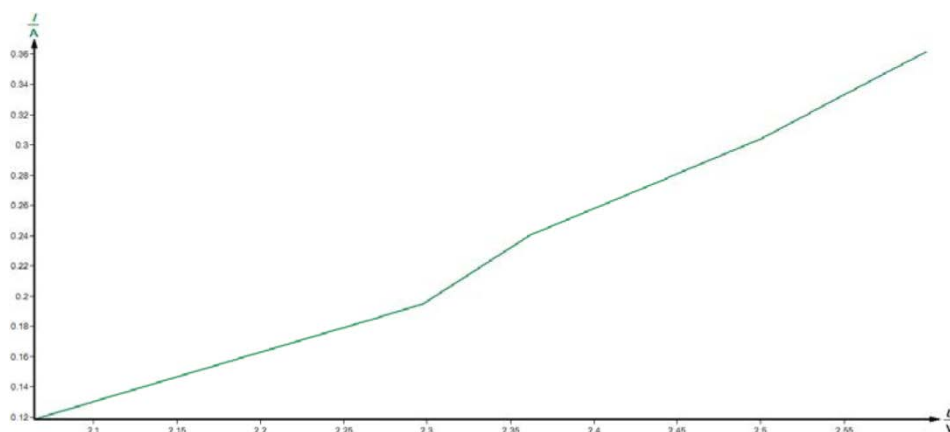


Рис. 5: Вольтамперная кривая для электролиза 1,0 М раствора HCl с использованием графитного анода и никелевого катода

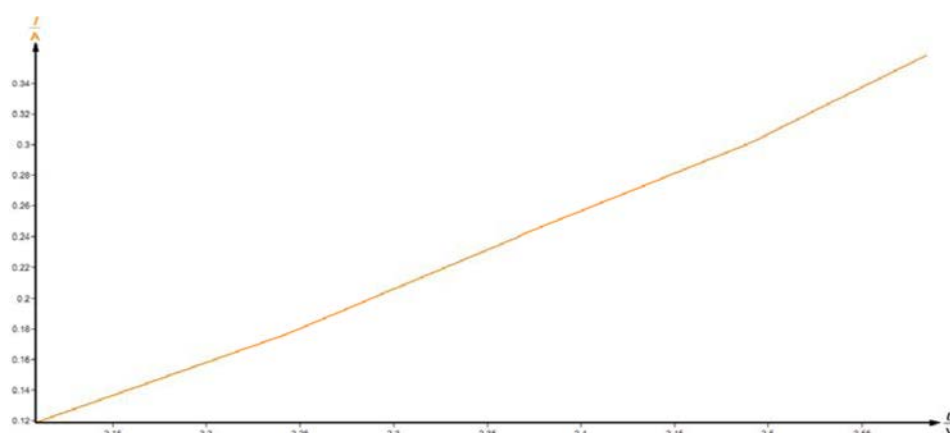


Рис. 6: Вольтамперная кривая для электролиза 1,0 М раствора HCl с использованием графитного анода и железного катода

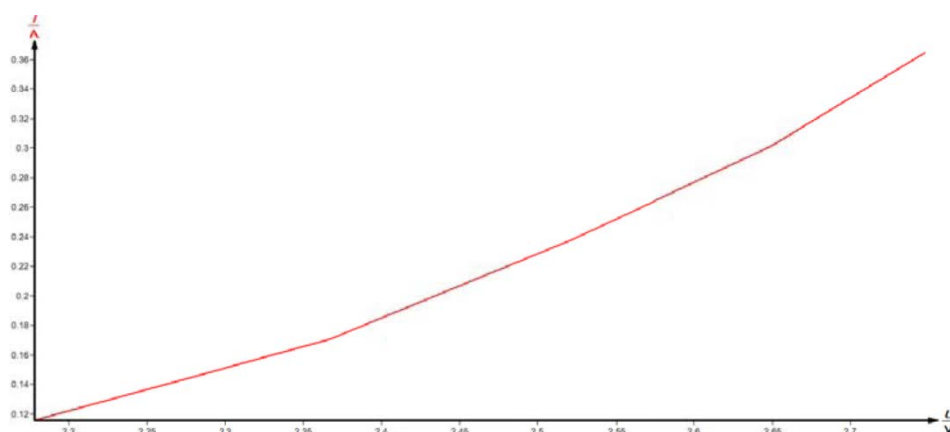



Рис. 7: Вольтамперная кривая для электролиза 1,0 М раствора HCl с использованием графитного анода и медного катода

Утилизация

Разведенные и нейтрализованные растворы используемых кислот и оснований можно вылить в канализацию.

Приложение

Предупреждающий знак, сигнальное слово	Краткая характеристика опасности	Меры предосторожности
<p>Соляная кислота 1,0 Н</p>  <p>Опасно</p>	<p>290: Может вызывать коррозию металлов. 314: Вызывает серьезные кожные ожоги и глазные травмы. 335: Может вызвать раздражение дыхательных путей.</p>	<p>234: Хранить только в оригинальной упаковке. 260: Не вдыхать пыль/дым/газ/распыление/пары/аэрозоль. 304 + 340: ПРИ ВДЫХАНИИ: Вывести пострадавшего на свежий воздух и обеспечить для него полный покой в удобном для дыхания положении. 303 + 361 + 353: ПРИ ПОПАДАНИИ НА КОЖУ (волосы): Немедленно снять всю загрязненную одежду. Промыть кожу водой/принять душ.</p>

ДЛЯ ЗАМЕТОК

КОНТАКТЫ

Разработчик методических рекомендаций –

компания «Нобель Технологии»

Адрес: 127273 Россия, г. Москва, ул. Олонецкая, д.23

**По всем вопросам, связанным с проведением экспериментов и оборудованием,
просьба обращаться по электронной почте:**

experiment@nobeltechno.com