

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Олимпиада школьников по химии и химической
технологии
«Потомки Менделеева»
2024/2025 учебный год**

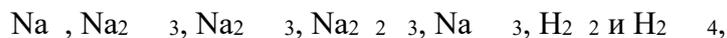
Комплект заданий экспериментального тура

Контактные данные
сайт: <https://malun.kpfu.ru/mendeleev>
telegram: <https://t.me/potomkimendeleeva>
email: ammoniy.olimpiada@mail.ru
тел.: +7(843)233-72-12

9 класс

Задания

Молодой м.н.с. химик Колбочкин Бюретка Индикаторович нашел в своей неубранной лаборатории семь растворов в бутылках с испорченными этикетками:



где каждый пропуск $_$ соответствует обозначению элемента.

Вам предлагается вместе с Колбочкиным Б. И. определить неизвестные вещества в пронумерованных пробирках, осуществляя различные реакции между веществами. При этом известно, что шесть соединений из семи содержат одинаковый элемент. Другой элемент содержится в трёх из семи соединений.

Экспериментальная часть

Используя выданное оборудование, идентифицируйте неизвестные вещества в пробирках.

Оборудование: штатив с пробирками, пипетка Пастера, промывалка с дистиллированной водой, стакан с дистиллированной водой для промывания пипетки.

Теоретическая часть

1. Напишите уравнения всех реакций, которые могут протекать с видимыми изменениями при попарном смешивании неизвестных соединений, а также при действии на растворы солей натрия смеси $\text{H}_2__2$ и $\text{H}_2___4$, с указанием признаков реакций.
2. Из имеющихся реактивов можно приготовить окрашенный раствор, обесцвечивающийся двумя из неизвестных соединений. Напишите уравнения соответствующих реакций.
3. Запишите по одному способу получения неизвестных соединений в лаборатории.
4. Среди приведенных реактивов есть два соединения, смесь которых в воде широко используется в синтетических лабораториях для очистки лабораторной посуды от серьезных загрязнений. Укажите, какие соединения входят в состав данной смеси, и приведите ее тривиальное название.

10 класс

Задания

Гидрохинон – важный продукт химической промышленности, имеющий массу применений: его используют в органическом синтезе красителей и лекарств, в качестве проявителя в фотографии, как антиоксидант для каучуков и т.д. Самое известное применение гидрохинона – использование его в паре с его окисленной формой, бензохиноном, для определения показателя кислотности растворов. В данной работе мы предлагаем вам получить бензохинон из гидрохинона по реакции окисления.

Техника безопасности

Прочитайте это ПЕРЕД НАЧАЛОМ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ. В данном эксперименте присутствует работа с окислителями, растворами кислот, порошками органических соединений, а также работа при пониженном давлении. Все это требует тщательного соблюдения правил техники безопасности: все операции с реактивами должны выполняться в халате и перчатках, а при работе с раствором серной кислоты необходимо надевать защитные очки. Работать при пониженном давлении или находиться рядом с установкой, находящейся при пониженном давлении, разрешается только в защитных очках.

Методика эксперимента

На бумажке взвесьте 2.00 г гидрохинона и отложите в сторону. В стаканчике на 25 мл взвесьте 1.10 г бромата калия и налейте в него 10 мл дистиллированной воды и 1 мл 5% раствора серной кислоты. Стакан с полученной смесью поместите на водяную баню, разогретую до 40 °С, и помешивайте стеклянной палочкой до полного растворения. Когда содержимое стакана полностью растворится, аккуратно добавьте к нему гидрохинон при перемешивании. В течение следующих 10 минут будет наблюдаться постепенное потемнение реакционной смеси. Перемешивайте реакционную смесь до тех пор, пока она не почернеет полностью. Далее попросите координатора в вашей лаборатории повысить температуру водяной бани до 70 °С. Продолжайте перемешивать реакционную смесь до полного исчезновения черных вкраплений, при необходимости их можно будет смыть со стенок небольшой порцией дистиллированной воды. После завершения реакции достаньте стакан из водяной бани и оставьте остывать на столе в течение 5 минут. После этого поместите стакан в ледяную баню на 15-20 минут.

Для фильтрования при пониженном давлении используется воронка Бюхнера. Вырежьте из фильтровальной бумаги круг любым удобным для вас способом. Фильтр должен перекрывать все отверстия воронки, но не должен загибаться на вертикальные стенки воронки. Поместите полученный фильтр на воронку и смочите ее несколькими каплями дистиллированной воды. Плотное присоедините воронку Бюхнера к колбе Бунзена. НЕ ЗАБУДЬТЕ НАДЕТЬ ОЧКИ ПЕРЕД ВКЛЮЧЕНИЕМ НАСОСА! Включите водоструйный насос поворотом крана ДО УПОРА и присоедините шланг к отводу колбы Бунзена. Максимально перенесите содержимое стакана на фильтр и дождитесь, пока жидкость не перестанет скапывать с носика воронки. По окончании фильтрации СНАЧАЛА АККУРАТНО ОТСОЕДИНИТЕ ШЛАНГ от отвода воронки Бюхнера и после выключите водоструйный насос. Отсоедините воронку от колбы, аккуратно извлеките фильтр с продуктом и заверните

его в два слоя фильтровальной бумаги. На верхнем слое напишите вашу фамилию, инициалы и номер аудитории, в которой проходила работа, и оставьте сушиться в вытяжном шкафу.

Теоретическая часть

- 1) Напишите полное уравнение реакции окисления гидрохинона.
- 2) Можно ли использовать в качестве окислителя перманганат калия, а не бромат калия?

Почему?

Эквимольная смесь хинона и гидрохинона (хингидрон) является труднорастворимым в воде темно-зеленым молекулярным соединением. Хингидрон активно применяется для определения рН растворов. Для приготовления хингидронного электрода исследуемый раствор взбалтывают со щепоткой хингидрона и таким образом получают его насыщенный раствор. В результате диссоциации гидрохинона устанавливается равновесие между окисленной и восстановленной формой. В полученный раствор погружают платиновую пластинку. В диапазоне рН от 0 до 8 потенциал хингидронного электрода быстро устанавливается и обратимо реагирует на изменение концентрации ионов водорода.

3) Электродная полуреакция записывается как $Q + 2H^+ + 2e = QH_2$, где Q – это хинон, а QH_2 – гидрохинон. Активности хинона и гидрохинона в растворе примерно равны ($a_Q \approx a_{QH_2}$), так как они образуются эквимольно в результате диссоциации хингидрона. Используя уравнение Нернста, запишите зависимость потенциала хингидронного электрода от рН в общем виде.

Уравнение Нернста:

$$E = E^\circ + \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_{Ox}}{a_{Red}} \text{ или } E = E^\circ + \frac{2.3RT}{nF} \lg \frac{a_{Ox}}{a_{Red}}$$

где a_{Ox} и a_{Red} – активности окисленной и восстановленной форм вещества, участвующего в электродной реакции

E° – стандартный потенциал электрода (при $a_{Ox} = a_{Red} = 1$)

R – 8.314 Дж/(моль·К) (газовая постоянная)

F – 96485 Кл·моль⁻¹ (постоянная Фарадея)

n – число электронов, участвующих в процессе

T – абсолютная температура

4) Чем можно объяснить насыщенный темно-зеленый цвет хингидрона?

5) Хингидронный электрод позволяет определять рН кислых и слабощелочных растворов с достаточной точностью, однако мало применим при рН > 8 и при наличии в растворе сильных окислителей и восстановителей. Почему?

Электродвижущая сила (ЭДС) элемента равна разности потенциалов составляющих его электродов.

6) ЭДС элемента $Ag | AgCl | HCl | Q \times QH_2 | Pt$ равна +0.322 В. Чему равен рН раствора HCl?

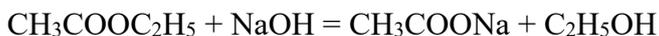
$E^\circ (AgCl/Ag) = +0.222$ В, стандартный потенциал хингидронного электрода равен $E^\circ (Q/QH_2) = +0.699$ В. Коэффициенты активности принять равными единице.

11 класс

Задания

Изучение кинетики омыления сложных эфиров

Реакция омыления сложных эфиров, например этилацетата, является классическим примером реакции второго порядка, протекающей в растворе:



Равновесие реакции сильно смещено в сторону продуктов, что позволяет считать ее практически необратимой. Скорость данной реакции рассчитывается по уравнению:

$$v = -\frac{dC}{dt} = k(C_{\text{щел}}^0 - x)(C_{\text{эфир}}^0 - x) \quad (1),$$

где $C_{\text{щел}}^0$ и $C_{\text{эфир}}^0$ – начальные концентрации щелочи и сложного эфира, выраженные в моль/л; x – концентрация эфира, прореагировавшего к моменту времени t , моль/л; k – константа скорости, л/(моль·мин).

Экспериментальное исследование кинетики реакции омыления эфира с щелочью в водном растворе проводится при неравных начальных концентрациях эфира и щелочи, при этом количество щелочи берется с небольшим избытком относительно количества эфира. Для определения скорости реакции анализируют изменения концентрации щелочи в ходе реакции. С этой целью через определенные промежутки времени отбираются пробы реакционной смеси, которые титруются раствором кислоты известной концентрации для вычисления концентрации щелочи. Реакция омыления сложного эфира щелочью завершается практически полностью примерно за 12–14 часов при комнатной температуре. Чтобы ускорить процесс и определить избыток непрореагировавшей щелочи, после 40 минут наблюдений за ходом реакции смесь нагревают до 90 °С и держат при этой температуре в течение 10–15 минут с использованием обратного холодильника. Количество прореагировавшей щелочи равно количеству использованного эфира (они реагируют в соотношении один к одному). Значение константы скорости реакции омыления сложного эфира при этом определяется следующим образом:

$$k = \frac{1}{t(C_{\text{щел}}^0 - C_{\text{эфир}}^0)} \ln \frac{C_{\text{эфир}}^0 (C_{\text{щел}}^0 - x)}{C_{\text{щел}}^0 (C_{\text{эфир}}^0 - x)} \quad (2),$$

где t – время, прошедшее с момента начала реакции, мин.

Экспериментальная часть

Оборудование:

- коническая колба для титрования на 250 мл, 3 шт;
- бюретка на 25 мл с краником, 1 шт;

- резиновая груша, 1 шт;
- штатив, 1 шт;
- лапка для колб, 2 шт;
- лапка для бюретки, 1 шт;
- зажим-крепление для штатива, 3 шт;
- пипетка на 10 мл для отбора аликвоты, 3 шт;
- промывалка на 500 мл с дистиллированной водой, 1 шт;
- стакан на 500 мл для промывания, 1 шт;
- стеклянная воронка;
- стаканчик на 25 мл для раствора соляной кислоты;
- перчатки.

Реактивы:

- 50 мл раствора этилацетата в круглодонной колбе;
- 50 мл раствора гидроксида натрия в круглодонной колбе;
- раствор соляной кислоты (0.01 М);
- капельница Страшейна с фенолфталеином;
- фильтровальная бумага.

Методика выполнения работы:

1. Приготовьте установку для титрования. Для этого промойте бюретку дистиллированной водой, а затем 0.01 М раствором соляной кислоты. Далее залейте в бюретку раствор соляной кислоты до нулевой отметки (ориентируйтесь по нижнему мениску жидкости). В коническую колбу для титрования налейте около 30 мл дистиллированной воды.

2. После приготовления установки для титрования начинайте измерения. Для этого быстро, но аккуратно перелейте раствор щелочи в колбу с эфиром и тщательно его перемешайте. Сразу после этого надо отобрать первую аликвоту 10 мл полученной смеси с помощью пипетки, прилить ее в коническую колбу с водой и отметить время начала реакции. Время взятия первой пробы условно принимается за ноль, то есть за начало реакции.

3. Круглодонную колбу с реакционной смесью эфира и щелочи плотно закройте пробкой для дальнейшего протекания реакции.

4. Добавьте в коническую колбу для титрования с отобранной аликвотой реакционной смеси 2–3 капли фенолфталеина (при этом раствор должен окраситься в малиновый цвет) и титруйте бюреткой с 0.01 М раствором соляной кислоты до полного обесцвечивания раствора (достижения точки эквивалентности). Количество кислоты, пошедшей на титрование первой пробы, соответствует V_0 .

5. Так как по мере протекания реакции количество щелочи непрерывно уменьшается, то о скорости процесса можно судить по уменьшению объема раствора кислоты, использованной для титрования проб реагирующей смеси. Через 15, 30, 45 и 60 минут от начала отсчета времени необходимо последовательно отбирать по 10.0 мл аликвот реакционной смеси эфира и щелочи и так же титровать их 0.01 М раствором соляной кислоты

с фенолфталеином в качестве индикатора (не забывайте добавлять ~30 мл дистиллированной воды в плоскодонные колбы перед отбором аликвот). Результаты каждого титрования V_t запишите в таблицу 1.

6. Для ускорения процесса сразу после отбора пятой пробы (через 60 минут с момента начала реакции) отнесите круглодонную колбу с реакционной смесью лаборантам. Они выдержат реакционную смесь при температуре 90 °С в течение 10–15 минут для обеспечения полного завершения реакции.

7. После окончания химической реакции охладите нагретую колбу под проточной водой, снова отберите 10.0 мл пробы и оттитруйте 0.01 М раствором соляной кислоты. Полученное значение используется для расчета избытка щелочи после полного омыления эфира. Количество кислоты, пошедшее на последнее титрование, обозначается как V_∞ .

8. Для каждого измерения (15, 30, 45 и 60 минут) рассчитайте константу скорости реакции омыления этилацетата щелочью с использованием следующей формулы:

$$k = \frac{10}{tV_\infty C_{\text{HCl}}} \ln \frac{V_t(V_0 - V_\infty)}{V_0(V_t - V_\infty)} \quad (3),$$

где C_{HCl} – концентрация раствора соляной кислоты.

9. Рассчитайте среднее значение константы скорости и внесите полученные результаты в таблицу:

Время от начала опыта, мин	V_t , мл	k , л/(моль·мин)	Среднее значение k
0		–	–
15			
30			
45			
60			
∞		–	–

Теоретическая часть

1. С использованием полученной при комнатной температуре средней константы скорости и её значения при $T = 50$ °С определите энергию активации реакции омыления этилацетата щелочью.

$$k_{50\text{ °C}} = 18.8 \text{ л/(моль·мин)}$$

Уравнение Аррениуса:

$$k = Ae^{\frac{-E_a}{RT}}$$

2. При каких условиях можно наблюдать псевдопервый порядок реакции?
3. С какой целью аликвота разбавляется дистиллированной водой?
4. По какой причине резиновая пробка не используется для закупоривания колбы с эфиром?
5. Напишите механизм реакции омыления этилацетата щелочью.