

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Олимпиада школьников по химии и химической
технологии
«Потомки Менделеева»
2025/2026 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)206-54-04

10 класс

Одним из методов очистки органических и неорганических соединений является перекристаллизация. В настоящей работе вам предстоит провести очистку загрязнённого примесями образца бензойной кислоты с использованием этого метода.

Экспериментальная часть

Оборудование: стакан на 50 мл, весы электронные, стеклянная палочка, шпатель, круглодонная колба на 100 мл, воронка стеклянная, фильтровальная бумага, электрическая плитка, штатив с лапкой, кристаллизатор со снегом, колба Бунзена, воронка Бюхнера, ножницы, водоструйный насос, очки, перчатки, промывалка с дистиллированной водой, мерный цилиндр на 10 мл.

Реактивы: загрязненная бензойная кислота, NaOH (5 М), серная кислота (6 М), дистиллированная вода.

В стеклянный стакан объемом 50 мл отвешивают 2.0 г загрязнённой бензойной кислоты, добавляют 3 мл дистиллированной воды и раствор NaOH до полного растворения белых кристаллов бензойной кислоты при перемешивании. От нерастворимых остатков избавляются фильтрованием. Для этого на штативе с лапкой закрепляют круглодонную колбу, в горлышко воронки помещают воронку со складчатым фильтром, фильтруемый раствор аккуратно несколькими порциями переносят на фильтр. После окончания фильтрования стакан с нерастворимым остатком ополаскивают 5 мл дистиллированной воды, взбалтывают и переносят в воронку так, чтобы всё содержимое стакана оказалось на фильтре. К фильтрату добавляют 2 мл раствора H_2SO_4 . Наблюдают выпадение белых кристаллов.

Для дальнейшей очистки бензойной кислоты проводят перекристаллизацию. Для этого полученный фильтрованием раствор нагревают до кипения в круглодонной колбе, держа её лапкой от штатива и направляя горлышко вертикально вверх или под углом 45° от себя. В колбу небольшими порциями добавляют дистиллированную воду в таком количестве, чтобы бензойная кислота растворилась в минимальном количестве воды при температуре кипения. В случае, если количество воды оказалось слишком большим, смесь продолжают кипятить до тех пор, пока на стенках колбы не начнут появляться кристаллы. После этого снова небольшими порциями добавляют дистиллированную воду в необходимом для полного растворения количестве. После полного растворения лапку вместе с колбой снимают с барашка, содержимое колбы быстро переносят во второй стеклянный стакан объемом 50 мл. Наблюдают выпадение осадка. Смесь охлаждают в течение 15-20 минут при комнатной температуре, затем стенки стакана охлаждают в кристаллизаторе со льдом. Выпавший осадок отделяют на воронке Бюхнера. Для этого вырезают плоский фильтр размером чуть меньше, чем внутренний диаметр воронки Бюхнера. Фильтр укладывают на воронку так, чтобы он закрывал все её отверстия, но не загибался об стенки воронки, и смачивают несколькими каплями дистиллированной воды. Вставляют воронку в колбу Бунзена. В присутствии лаборанта медленно открывают кран, подключённый к водоструйному насосу. Присоединяют шланг насоса к колбе Бунзена. На фильтр с помощью шпателя переносят осадок, жидкая часть отфильтровывается под действием пониженного давления. Полученный осадок промывают несколькими небольшими порциями дистиллированной воды для очистки от окрашенных примесей. После окончания фильтрования сначала отсоединяют насос, затем снимают воронку и

заворачивают осадок вместе с фильтром в кусок подписанной фильтровальной бумаги. Сушат осадок до следующего дня в вытяжном шкафу, определяют массу полученной кислоты и рассчитывают выход перекристаллизации.

Теоретическая часть

Бензойная кислота обладает прекрасными консервирующими и антисептическими свойствами, что обуславливает её применение в пищевой промышленности и медицине. Бензойная кислота блокирует ферменты и замедляет обмен веществ во многих одноклеточных микроорганизмах и грибах. Она подавляет рост плесени, дрожжей и некоторых бактерий и при разумном применении остается совершенно безопасной для человека. Салициловая кислота является важным *орто*-гидроксипроизводным бензойной кислоты. Она не только составляет основу для производства многих лекарственных препаратов, в том числе аспирина, но и сама обладает противовоспалительными свойствами. Бензойная и салициловая кислоты часто применяются вместе при создании различных дерматологических мазей.

Для создания одной из таких мазей химику Васе Колбочкину необходимо было перекристаллизовать бензойную и салициловую кислоты. Однако с поиском салициловой вышли трудности. На трех обнаруженных баночках этикетки выцвели и были практически нечитаемы.

«Гґ - Гўфрқ...бэн...аґ қзлқ» – прочитал Вася на одной из этикеток.

«Кажется, здесь лежат все три изомера салициловой кислоты, но как мне понять, где какой? Весов нет, плавильного столика тоже, даже показатель преломления у раствора определить не смогу... Один лишь старый рН-метр да пара мерных колб. Придумал! Приготовлю насыщенные растворы каждой кислоты, узнаю их показатель кислотности и все пойму! Кажется, и таблица с растворимостями где-то была!»

1. Используя таблицу, составленную Васей Колбочкиным, рассчитайте константы кислотности веществ из каждой банки. Ввиду низкой растворимости изомеров салициловой кислоты при 25 °С плотности насыщенных растворов можете принять равными 1 г/мл.

Номер банки	Объем (мл)	рН насыщенного раствора	Растворимость в воде при 25 °С (мас. %)
1	25	2.99	0.49
2	5	1.95	1.80
3	50	2.59	1.07

2. Определите, какой изомер салициловой кислоты находится в каждой из банок.
3. Какая кислота оказалась самой кислой и почему?
4. Предположите, есть ли среди изомеров салициловой кислоты такие соединения, чья константа кислотности была бы выше, чем у бензойной кислоты? Ответ обоснуйте.
5. Почему при повышении температуры растворимость большинства кристаллических соединений в воде возрастает? Как будет изменяться растворимость газов в воде при повышении температуры? Дайте развернутый ответ.
6. Для чего при очистке бензойной кислоты от нерастворимых примесей необходим этап с добавлением щелочи?

11 класс

Построение изотермы адсорбции на границе раздела фаз жидкость-твёрдое тело

Адсорбцией называется самопроизвольное изменение концентрации вещества на границе раздела фаз по сравнению с равновесной концентрацией в объёме одной из граничащих фаз. Вещество, на поверхности которого происходит адсорбция, называют адсорбентом. Вещество, которое переходит из объёма фазы на поверхность, – адсорбтивом, а после перехода в адсорбированное состояние – адсорбатом.

Адсорбция широко применяется в промышленности и быту. Адсорбенты используются в фильтрах для получения питьевой воды, в противогазах для очистки воздуха от токсинов, в медицине при отравлении и во многих других аспектах нашей современной жизни.

В зависимости от природы граничащих фаз различают несколько типов адсорбций. Одним из них является адсорбция на поверхности твёрдого тела из раствора, то есть адсорбция на границе фаз жидкость-твёрдое тело.

В этом случае твёрдое тело выступает в роли адсорбента, а растворённое вещество – в роли адсорбтива. Количество вещества, поглощаемое единицей массы адсорбента при постоянной температуре, зависит от равновесной концентрации адсорбтива в растворе. Графическое выражение этой зависимости называют изотермой адсорбции.

Для описания изотермы адсорбции на границе фаз твёрдое тело-жидкость используется эмпирическое уравнение Фрейндлиха-Бедеккера:

$$A = k \cdot C^n$$

где A – величина адсорбции (моль/г), C – равновесная концентрация адсорбтива в растворе (моль/л), k и n – эмпирические константы.

Для определения констант уравнение приводят к линейному виду:

$$\ln A = \ln k + \frac{1}{n} \ln C$$

В координатах $\ln A$ – $\ln C$ экспериментальные точки описываются прямой линией. Отрезок, отсекаемый прямой на оси ординат, равен $\ln k$, а тангенс угла наклона прямой – $1/n$.

Вследствие своего эмпирического характера уравнение Фрейндлиха-Бедеккера имеет ряд ограничений. В частности, оно неприменимо в области малых концентраций и не описывает участок насыщения, когда поверхность адсорбента полностью покрыта молекулами адсорбата.

В тех случаях, когда возникает необходимость определить удельную поверхность адсорбента по значению предельной адсорбции, можно обратиться к теории мономолекулярной адсорбции Лэнгмюра. Данная модель имеет строгое теоретическое обоснование для адсорбции на границе раздела фаз жидкость-газ, однако также может использоваться для системы жидкость-твёрдое тело.

При выполнении некоторых условий равновесная зависимость величины адсорбции A от равновесной концентрации C описывается уравнением:

$$A = \frac{A_\infty \cdot (bC)}{1 + bC} \text{ или } \frac{1}{A} = \frac{1}{A_\infty} + \frac{1}{A_\infty \cdot b} \cdot \frac{1}{C}$$

где A_{∞} – предельная адсорбция вещества в мономолекулярном слое, моль/г; b – константа адсорбционного равновесия, л/моль.

Экспериментальная часть

Оборудование и реактивы: раствор щавелевой кислоты, 0.1 М раствор NaOH, фенолфталеин, древесный уголь (адсорбент), фильтровальная бумага, электронные весы, стеклянный стакан объёмом 250 мл, коническая колба для титрования объёмом 250 мл (8 шт.), бюретка объёмом 25 мл, мерный цилиндр объёмом 100 мл, пипетка на 25 мл, пипетка на 10 мл, стаканчик на 25 мл, стаканчик на 100 мл (4 шт.), стеклянная воронка (2 шт.), резиновые перчатки, шпатель, промывалка с дистиллированной водой, пробка резиновая (4 шт.), миллиметровая бумага.

Ход работы:

1. Путём смешивания исходного раствора щавелевой кислоты с дистиллированной водой в пропорциях, указанных в таблице 1, приготовьте четыре раствора щавелевой кислоты разных концентраций в четырёх плоскодонных колбах с номерами 1-4. Используйте для этого пипетки на 25 и 10 мл и мерный цилиндр на 100 мл.

Таблица 1.

Номер раствора	V (исх. р-ра к-ты), мл	V (дист. воды), мл	V (аликвоты), мл
1	105	0	5
2	33	77	10
3	15	135	50
4	5	145	50

2. Для определения точных концентраций щавелевой кислоты в полученных растворах необходимо провести кислотно-основное титрование. Для этого отберите из полученных растворов аликвоты с объемами, указанными в таблице 1, и перелейте их в колбы 1'-4'. После этого в колбах 1' и 2' доведите объём растворов до 50 мл путём разбавления дистиллированной водой.

3. В колбах 1-4 после отбора аликвот останется по 100 мл раствора. В эти колбы аккуратно добавьте по 4 грамма древесного угля, закройте их чистыми пробками, перемешайте раствор путём взбалтывания и оставьте на сорок минут для достижения равновесия.

4. В это время можно провести титрование растворов 1'-4' для определения начальных концентраций щавелевой кислоты. Бюретку, закреплённую на лабораторном штативе, заполните 0.1 М раствором NaOH до верхней метки, используя стаканчик на 25 мл. Перед началом титрования добавьте в титруемый раствор 1-2 капли фенолфталеина в качестве индикатора. Постепенно приливая NaOH малыми порциями (желательно по каплям), определите объём щелочи, израсходованный для получения слабо розовой окраски.

Ориентироваться при определении объёма при этом следует по нижнему мениску. Стоит отметить, что при титровании щавелевой кислоты с использованием фенолфталеина в качестве кислотно-основного индикатора фиксируется реакция нейтрализации щавелевой кислоты по второй ступени. Израсходованный при титровании объём NaOH используйте для расчёта концентрации щавелевой кислоты.

5. Спустя сорок минут отфильтруйте с помощью стеклянной воронки и фильтровальной бумаги каждый раствор в соответствующий пронумерованный стаканчик на 100 мл. Первые порции фильтратов при этом отбрасываются. Промойте колбы 1-4 дистиллированной водой из промывалки. Из каждого стакана отберите в соответствующую ему по номеру колбу такой же объём фильтрата, как и при предыдущем титровании (таблица 1). Определите содержание щавелевой кислоты после адсорбции в полученных растворах путём титрования раствором NaOH. Результаты запишите в Таблицу 2.

Таблица 2.

Номер раствора	V_0	V_1	C_0	C	$x = (C_0 - C) \cdot 100 \text{ мл}$	$x/m = A$	$\ln C$	$\ln A$
1								
2								
3								
4								

В Таблице 2: V_0 – объём NaOH, израсходованный на титрование начальных растворов (в колбах 1'-4'); V_1 – объём NaOH, израсходованный на титрование равновесных растворов после адсорбции на угле (в колбах 1-4); C_0 – начальная концентрация щавелевой кислоты (в колбах 1'-4'); C – равновесная концентрация щавелевой кислоты (в колбах 1-4); x/m – количество кислоты, адсорбированной навеской угля массой m грамм.

6. Для проверки применимости уравнения Фрейндлиха-Бедеккера постройте график зависимости $\ln A$ от $\ln C$ на миллиметровой бумаге. Определите параметры уравнения Фрейндлиха-Бедеккера на основе построенного графика. Также постройте графики изотермы адсорбции в обычных ($A - C$) и обратных ($1/A - 1/C$) координатах. Определите значение предельной адсорбции A_∞ по уравнению Лэнгмюра.

Теоретическая часть

В некоторых заданиях из следующего списка необходимо будет использовать данные, полученные в ходе эксперимента или в результате расчётов в предыдущих пунктах теоретической части. Доносим до сведения участников, что правильность решения задания будет оцениваться только на основании вычислений в рамках данного пункта и не будет зависеть от ранее полученных значений.

1. Одной из важнейших характеристик твёрдых адсорбентов является удельная поверхность – величина поверхности раздела фаз, приходящаяся на единицу массы адсорбента. В случае мономолекулярной адсорбции эту величину можно определить согласно следующему уравнению:

$$S_{\text{уд}} = A_{\infty} \cdot N_A \cdot S_0$$

где A_{∞} – максимально возможное число моль вещества, поглощённое 1 г адсорбента, S_0 – площадь, занимаемая одной молекулой адсорбированного вещества при максимальной упаковке молекул в адсорбционном слое.

С использованием значения предельной адсорбции (A_{∞}), полученного в ходе эксперимента, определите удельную поверхность выданного вам древесного угля, принимая площадь, занимаемую одной молекулой щавелевой кислоты, равной 30 \AA^2 .

2. Высокая удельная поверхность древесного угля обусловлена наличием в его структуре многочисленных пор нанометрового размера. Рассчитайте средний диаметр пор в частицах выданного вам активированного древесного угля, используя величину удельной поверхности, полученную в предыдущем пункте и предположив, что поры имеют цилиндрическую форму ($h \gg r$), а их суммарный объём составляет $1.5 \text{ см}^3/\text{г}$.

3. Чаще всего в адсорбентах присутствуют поры различного диаметра, который может варьироваться от 1 до 200 нм. Предложите способ, с помощью которого можно приблизительно оценить распределение пор по размерам в адсорбенте, используя несколько разных адсорбтивов.

4. В растворе щавелевой кислоты в присутствии частиц адсорбента устанавливается сложное равновесие между диссоциацией и адсорбцией. В результате комбинации этих процессов поверхность частиц активированного угля приобретает отрицательный заряд из-за адсорбции образующихся при диссоциации анионов кислоты. Рассчитайте поверхностную плотность заряда (σ) на частицах древесного угля (в Кл/м²) при концентрации щавелевой кислоты, равной C из вашего раствора №1. Используйте построенную вами изотерму адсорбции, значение удельной поверхности, полученное в пункте 1, и предположение о том, что мольные доли нейтральной и анионных форм кислоты на поверхности адсорбента такие же, как в растворе. Константы диссоциации щавелевой кислоты по первой и второй ступени равны $5.6 \cdot 10^{-2}$ и $5.4 \cdot 10^{-5}$, соответственно.