

УДК 378.147:544

**ТРИ ВИРТУАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ НА ТЕМУ  
«ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКАЯ ДИССОЦИАЦИЯ СЛАБЫХ КИСЛОТ»  
В ПРАКТИКУМЕ ПО ФИЗИЧЕСКОЙ ХИМИИ**

**О.Г. Поляченко, Е.Н.Дудкина, Л.Д. Поляченко**

Могилевский государственный университет продовольствия,  
г. Могилев, Республика Беларусь

Большинство продуктов питания содержат, в большей или меньшей концентрации, разнообразные кислоты (пищевые кислоты). Достаточно назвать такие широко известные вещества, как уксусная, муравьиная, яблочная, винная, щавелевая, лимонная, аскорбиновая и многие другие кислоты. Они во многом определяют органолептические свойства и пищевую ценность продуктов питания, их сохранность, участвуют в процессах пищеварения и в обмене веществ в организме.

Практически все пищевые кислоты являются слабыми, степень их диссоциации и рН водных растворов зависят как от их собственной концентрации, так и от присутствия и концентрации других веществ. Поэтому для будущего технолога и химика-технолога важно представлять себе основные законы химического поведения таких кислот в процессах производства продуктов питания, при их хранении и приготовлении пищи.

В разработанных 3-х виртуальных работах [1] студентам предлагается определить константу диссоциации и степень диссоциации какой-либо слабой кислоты на основании результатов потенциометрического определения рН растворов, проследить, измеряя рН, поведение этой кислоты при разбавлении раствора и при добавлении сильной кислоты (HCl) или щелочи (NaOH). Эти работы выполняются студентами виртуально, на компьютере, по разработанной нами программе "acid". Первый вариант такой программы был нами разработан в 2004 году [2], многолетний опыт использования показал ее высокую эффективность и полезность при обучении студентов. Однако она не была приспособлена для выполнения учебно-исследовательских работ, а небольшое количество рассматриваемых

кислот не позволяло дать каждому студенту группы свою кислоту. К настоящему времени эта программа была полностью переработана – созданы возможности для выполнения заданий учебно-исследовательского характера, увеличено с 8 до 20 число рассматриваемых слабых кислот, полностью изменен интерфейс программы.

Почему организацию выполнения виртуальных лабораторных работ можно считать одним из основных направлений совершенствования лабораторных практикумов по физической химии и по физической и коллоидной химии для студентов технологических и химико-технологических специальностей?

Дело, прежде всего, в том, что для таких студентов не требуется овладение практическими навыками физико-химических измерений, им такие измерения в их будущей практической деятельности, скорее всего, никогда не потребуются. Что отличает физико-химические исследования, скажем, с использованием рН-метра от таких же измерений, например, для аналитических целей? Прежде всего – при физико-химических исследованиях необходимо строго поддерживать постоянную температуру с помощью термостата, поскольку константы равновесий зависят от температуры. Для целей анализа это не требуется, так как аналитические результаты получаются сравнительным методом, с использованием стандартных растворов, имеющих ту же самую температуру. Установление постоянной температуры требует длительного времени и в лабораторном практикуме (4 академических часа) вряд ли может быть реализовано, особенно если учесть, что для получения достаточно достоверных физико-химических результатов измерения должны быть повторены, с использованием новых растворов, несколько раз.

Далее, при экспериментальном выполнении такой работы подготовительная химическая часть занимает 70–80% всего времени. Это – работа по приготовлению двух–трех растворов кислоты заданной концентрации (как правило, это единственная для всех студентов – уксусная кислота) и по ее точному определению титрованием готовым стандартным раствором NaOH. Эта рутинная и трудоемкая работа хорошо отрабатывается в лабораторном практикуме по аналитической химии, а в практикуме по физической химии она отвлекает от его основной задачи – научить студентов понимать смысл наблюдаемых химических явлений, думать, понимать и объяснять причины происходящих химических превращений. При этом сами по себе измерения рН раствора очень просты – в стаканчик с исследуемым раствором погружаются 2 электрода (индикаторный – стеклянный и сравнения – хлорсеребряный), и после выдержки в течение нескольких минут снимается показание рН-метра. Техника таких измерений также отрабатывается в практикуме по аналитической химии.

Далее, для уверенного наблюдения многих эффектов в растворах слабых кислот точность измерения рН должна находиться на уровне не хуже  $\pm 0,001$  единицы, тогда как для обычных лабораторных приборов она составляет  $\pm 0,02–0,05$ .

Наконец, многие физико-химические измерения, по-видимому, никогда не будут реализованы в лабораторных практикумах вследствие сложности и громоздкости оборудования, его высокой стоимости, необходимости высокой научной квалификации для работы на современных приборах и оборудовании. Это существенно обедняет физико-химические практикумы и снижает их научно-образовательный уровень.

Компьютерное моделирование физико-химических лабораторных работ снимает отмеченные выше недостатки в организации эксперимента и, в то же время, сохраняет их теоретическую и практическую ценность. Более того, появляется возможность усложнить эти работы. Например, в настоящей работе определение рН раствора чистой кислоты дополнено «измерением» рН ее смесей с сильной кислотой и со щелочью. Тем самым в процессе работы и при обработке результатов студенты знакомятся со значительно более широким кругом вопросов химического равновесия, чем это происходит при ее традиционном, экспериментальном выполнении.

При выполнении лабораторной работы № 1 студент вводит в компьютер номер слабой кислоты [1], а также заданные ему концентрации этой кислоты. При выполнении

лабораторных работ № 2 и 3 вводятся также заданные концентрации и объемы смешиваемых растворов слабой кислоты и растворов HCl или NaOH. Работа с программой осуществляется в соответствии с указаниями, появляющимися на экране монитора. Конечными результатами работы программы являются величины рН растворов, «приготовленных» студентом в соответствии с выданным ему заданием. Таким образом, при выполнении этих виртуальных работ компьютер играет роль очень точного и мгновенно действующего рН-метра.

«Измерив» рН всех растворов, студент производит физико-химическую обработку этих результатов – он должен получить для каждого раствора величину константы диссоциации слабой кислоты и степень ее диссоциации в растворе. Корректность проведенной обработки и точность математических вычислений студент может проверить, сравнив найденные величины константы диссоциации с табличными [1], а величины степени диссоциации – с показанными компьютером. Необходимый для этого теоретический материал содержится в [1, 3, 4].

Возможность быстро определить зависимость степени диссоциации от концентрации слабой кислоты (работа № 1) позволяет студентам в наглядной форме наблюдать закон разбавления слабых электролитов – с уменьшением концентрации степень диссоциации всегда возрастает. Известно, что для определения влияния различных факторов на положение химического равновесия очень полезным является принцип Ле-Шателье: если на систему, находящуюся в равновесии, оказывается внешнее воздействие, то равновесие смещается таким образом, чтобы уменьшить это воздействие. Однако применение этого принципа к процессу разбавления слабой кислоты, как показано в [1], требует его более глубокого осмысливания. Сравнение процессов диссоциации слабой кислоты с процессами газофазовой диссоциации [1] позволяет студентам впервые более точно сформулировать принцип Ле-Шателье для ионно-молекулярных равновесий: при разбавлении раствора равновесие таких процессов смещается в сторону увеличения общего числа частиц, т. е. в сторону увеличения суммарной концентрации и молекул, и ионов.

Ниже приведены несколько примеров возможных вариантов использования этой программы для выполнения студентами учебно-исследовательской работы.

При выполнении работы № 1 перед студентом может быть поставлена сравнительно простая задача – выяснить, существует ли предел увеличения степени диссоциации  $\alpha$  слабой кислоты при разбавлении раствора. Последовательно уменьшая концентрацию кислоты и построив соответствующий график, можно получить, что  $\alpha$  стремится к 100 %. Это означает, что любая слабая кислота, как и вообще любой слабый электролит, в бесконечно разбавленном растворе полностью диссоциирует на ионы, т.е. ведет себя как сильный электролит. С таким свойством слабых электролитов большинство студентов ранее, по-видимому, не были знакомы.

При выполнении работы № 2 студенту может быть предложено попытаться обработать результаты «эксперимента» с учетом диссоциации воды:  $\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$ , т.е. учесть, что ионы водорода получаются по трем реакциям – из HA, из HCl и из  $\text{H}_2\text{O}$ . Необходимо отметить, что программа “acid” учитывает диссоциацию воды, иначе в очень разбавленных растворах HA получался бы совершенно неправильный результат:  $\text{pH} > 7$ . Студент должен также попытаться выяснить, при каких условиях учет диссоциации воды обязателен, а при каких – не требуется.

При выполнении работ № 2 и 3 конечный результат смешивания растворов слабой кислоты и сильной, или слабой кислоты и щелочи ( $\alpha$  возрастает или уменьшается) зависит от многих параметров – от величины K диссоциации HA и от соотношения объемов и концентраций смешиваемых растворов. Можно ли здесь установить какие-то общие закономерности? Одновременно студенты наблюдают на своих результатах очень важный закон постоянства константы равновесия реакции и ее независимость от наличия других реакций.

### Список литературы

1. Поляченко, О.Г. Электролитическая диссоциация слабых кислот. Методические указания к выполнению виртуальных лабораторных работ в практикуме по физической химии и по физической и коллоидной химии для студентов технологических и химико-технологических специальностей / О.Г. Поляченко, Е.Н. Дудкина, Л.Д. Поляченко // Могилев: МГУП, 2018 –16 с.

2. Поляченко, О.Г. Моделирование на ЭВМ процессов диссоциации слабых кислот в лабораторном практикуме по физической химии / О.Г. Поляченко, Е.Н. Дудкина, Л.Д. Поляченко // Качество подготовки специалистов в техническом университете: проблемы, перспективы, инновационные подходы: Материалы I Международной научно-методической конференции, 22-23 ноября 2012 г., Могилев / редкол.: А.С. Носиков (отв. ред.) [и др.]. – Могилев: УО «МГУП», 2012. – 408 с. – С.281–285.

3. Поляченко, О.Г. Физическая и коллоидная химия. Практикум. / О.Г. Поляченко, Л.Д. Поляченко / Учебное пособие. // Минск: Лаб. полиграфии УО «БГТУ», 2006. – 380 с.

4. Поляченко, О.Г. Физическая и коллоидная химия. Методические указания и контрольные задания для студентов технологических специальностей заочной формы обучения. Часть 1. / О.Г. Поляченко, Е.Н. Дудкина, Л.Д. Поляченко // Могилев: МГУП, 2010 – 44 с.