

ДАТЧИКИ ЦИФРОВЫХ ЛАБОРАТОРИЙ

на уроках химии

Школьные лабораторные работы в основном связаны с проведением разнообразных пробирочных опытов. Но химическая наука давно не делается сливанием растворов в пробирках. Не отрицая пользы простых опытов, которые необходимы на начальном этапе обучения химии, хотелось бы заметить, что они формируют неверное представление о том, как работают современные учёные. Это представление бывшие учащиеся проносят потом с собой через всю жизнь: в частности, авторы художественных фильмов любят показывать учёных или криминалистов, занимающихся переливанием из одной пробирки в другую или наблюдением за разноцветными жидкостями в колбах. Тем самым подобный образ исследовательской деятельности химика ещё больше укореняется в массовом сознании.

С другой стороны, осознавая эту проблему, легко удариться в другую крайность. В последнее время модным трендом становится оснащение школ серьёзными приборами: хроматографами, атомно-силовыми микроскопами, ИК-спектрометрами и т. п. Получат ли учащиеся благодаря этому верное впечатление о работе учёного? Но если даже в школе есть преподаватели с достаточной квалификацией, чтобы грамотно работать с данными приборами, вряд ли каждый учащийся овладеет необходимыми для этого разделами химии и физики и будет допущен к использованию дорогостоящего оборудования. А без глубокого понима-

ния действие кажется неподготовленному зрителю магией — точно не тот результат, на который нацелено образование. Подобные приборы — хорошее подспорье для выполнения проектных работ с продвинутыми школьниками. Однако в школьном курсе химии нет ни тем, которые нуждаются в иллюстрации с помощью экспериментов на таких приборах, ни времени на это.

Надо искать золотую середину, чтобы показать, что химия — это не только пробирки, но при этом избежать чрезмерного усложнения. Хорошим компромиссом являются разнообразные компьютерно-измерительные системы (они же датчиковые системы, или цифровые лаборатории). Сейчас компьютерно-измерительные системы есть во многих школах, поставки продолжают и расширяются, например в рамках московских проектов предпрофессионального образования [1].

Цифровые лаборатории представляют собой набор подсоединяемых к компьютеру или смартфону датчиков разных физических и химических параметров, например температуры, электропроводности, pH, оптической плотности на разных длинах волн, напряжения, содержания углекислого газа и др. Они компактны, мобильны, их легко переносить из класса в класс и даже проводить анализы на местности. Применяется интуитивно понятный интерфейс, данные удобно сохранять, обрабатывать, сравнивать, одновременно снимать несколько параметров и сразу строить корреляции.

Датчики относительно недороги и просты в обращении, школьнику не страшно давать их в руки, принцип работы каждого отдельного датчика несложно объяснить.

Тем не менее использование датчиковых систем остаётся весьма ограниченным. Учителя часто жалуются на то, что не знают, что с ними делать, кроме каких-нибудь специальных проектов. Действительно, проектные работы — очевидное поле применения цифровых лабораторий [2–4]. Однако, вопреки общему мнению, датчики весьма удобны и в классных лабораторных работах, и в демонстрационном эксперименте. Например, в [5] предлагается множество работ по общей химии с использованием датчиков.

Какие датчики наиболее актуальны на уроках химии?

При упоминании об электронных измерительных системах в химии многие учителя на первое место поставят датчик pH. Он, разумеется, широко используется, но круг задач, где необходимо измерение и контроль температуры, гораздо больше. Поэтому прежде всего мы рекомендовали бы иметь в комплекте *датчик температуры для растворов (0–100 °C)*. Демонстрация температур кипения веществ или тепловых эффектов растворения с помощью большого термометра не всегда удобна: как бы он ни был велик, с задней парты видно плохо, к тому же, чтобы посмотреть показания, его надо извлечь из раствора. Датчик лишён этих недостатков. Кроме того, возможно увидеть малые изменения температуры (доли градуса), которые на термометре незаметны. На рис. 1 отражён проблемный эксперимент по теплоте растворения сульфата бария. Измерить тепловой эффект напрямую невозможно из-за крайне малой растворимости BaSO_4 , поэтому измеряют теплоту обратного процесса — осаждения. Величина эффекта невелика, но выбор масштаба позволяет его наблюдать.

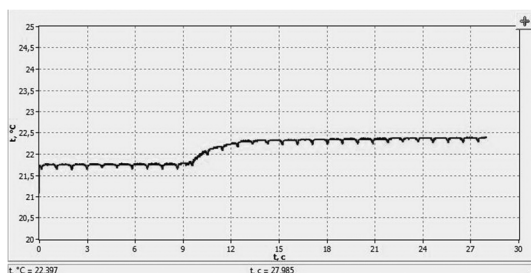


Рис. 1. Изменение температуры при осаждении BaSO_4 (датчик «НауПа»)

Помимо демонстрации и изучения собственно тепловых эффектов растворения, датчик температуры можно использовать в различных лабораторных работах на закон Гесса — в частности, на примере реакции нейтрализации. Если даны твёрдый гидроксид натрия и 1 М соляная кислота, то мы можем ввести их в реакцию непосредственно, а можем вначале растворить NaOH , а потом провести реакцию с кислотой. Тепловой эффект реакции твёрдого NaOH с HCl должен быть равен сумме тепловых эффектов растворения NaOH и реакции NaOH с HCl в растворе.

Интересна работа по применению закона Гесса к определению теплоты гидратации солей. При растворении твёрдого вещества в воде происходит два процесса: разрушение его кристаллической решётки и гидратация. Но в кристаллогидратах ионы уже находятся в гидратированном состоянии, поэтому вклад гидратации в растворение кристаллогидрата будет очень мал и можно им пренебречь. Приблизительное значение теплоты гидратации находят как разность экспериментально определённых теплот растворения безводной соли и соответствующего кристаллогидрата. Безводную соль получают из кристаллогидрата прокаливанием.

При прокаливании полноту дегидратации можно контролировать по изменению температуры с помощью другого датчика — *термопары (0–1000 °C)*. Во время

дегидратации температура остаётся постоянной или почти постоянной, далее резко увеличивается (рис. 2). Термопару можно использовать для определения температур плавления и кристаллизации веществ (например, таких как парафин, сера, свинец). Она незаменима для работы или демонстрационного эксперимента по изучению строения пламени.

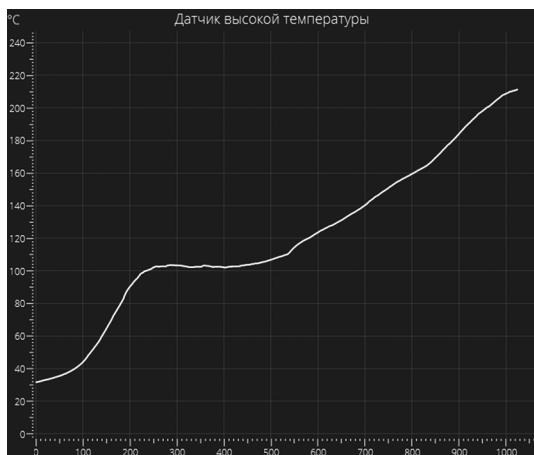


Рис. 2. Изменение температуры при прокаливании $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (датчик «Релеон»)

Работая с датчиками температуры, имеет смысл поговорить о том, как температура преобразуется в электрический сигнал. Термопара состоит из разных металлов, при контакте которых возникает разность потенциалов. Так как температура влияет на электрические свойства этих металлов неодинаково, то разность потенциалов в месте измерения отличается от таковой в месте сравнения, и возникает ток. Это простое объяснение не вдаётся в терминологию термоэлектрического эффекта и понятно учащимся.

Множество лабораторных работ по электролитической диссоциации требует применения датчика электропроводности. Это может быть исследование зависимости степени диссоциации от природы растворённого вещества (используются растворы

сильного электролита, слабого электролита и неэлектролита одинаковой концентрации) и растворителя (одно и то же вещество в спирте и воде; можно измерять электропроводность, постепенно добавляя воду к спиртовому раствору). Как нетрудно догадаться, электропроводность в данном случае пропорциональна степени диссоциации.

Более сложная работа — изучение зависимости степени диссоциации от концентрации вещества. При разбавлении концентрированного раствора электропроводность сначала возрастает из-за роста степени диссоциации, а затем уменьшение концентрации носителей заряда начинает преобладать, и электропроводность падает (рис. 3).

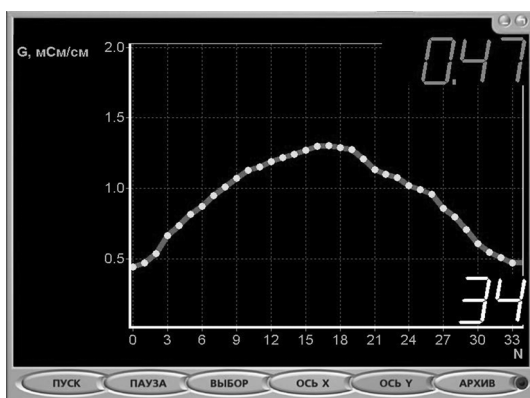


Рис. 3. Изменение электропроводности при постепенном разбавлении концентрированного раствора аммиака (датчик L-micro)

Работа по изучению зависимости степени диссоциации от температуры интересна тем, что требует одновременного использования датчиков электропроводности и температуры (0–100 °C).

Не будем специально останавливаться здесь на описании работы с датчиком pH, применение которого очевидно: изучение гидролиза, реакций нейтрализации, кислотно-основное титрование и т. д. Отметим лишь, что данный датчик не только

самый известный, но и самый капризный: необходимо заранее готовить его к работе и обязательно калибровать по буферным растворам. В ином случае результат измерений может оказаться не просто недо-стоверным, но и противоположным ожи-даемому.

И, наконец, очень полезны *датчики оптической плотности*. Обычно при-обретают набор датчиков для трёх длин волн — «бюджетный вариант фотоэлектро-колориметра». Принцип прост: чем больше концентрация окрашенного вещества, тем больше поглощение света, т. е. выше опти-ческая плотность. Проводить измерение следует на той длине волны, которая ближе к максимуму полосы поглощения для дан-ного вещества. Можно начать с изучения этого вопроса: провести измерения для раз-ноцветных растворов, чтобы определить, как цвет связан с длиной волны поглощаемого света. Можно предложить учащимся иссле-довать смещение равновесия (например, в растворе хлорида меди(II) или роданида железа(III)) с датчиком, выбранным преподавателем. С помощью датчиков оптической плотности удобно контролировать скорость химических реакций с окрашенными реа-гентами (перманганат, дихромат) или про-дуктами, а также с помутнением раствора (разложение тиосерной кислоты), изучать зависимость скорости таких реакций от тем-пературы и концентраций разных реагентов. Ещё одна возможная задача — определение концентрации раствора по его оптической плотности на основании заранее постро-енной калибровочной прямой. Но этот вариант целесообразно использовать для учебно-исследовательского проекта, а не для обычной лабораторной работы.

Мы перечислили далеко не полный на-бор выпускаемых датчиков. Разработчики

компьютерно-измерительных систем пред-лагают для работ по химии датчики элек-трохимического потенциала, содержания кислорода и углекислого газа, концентраций определённых ионов (ионоселективные электроды) и др. Однако возможности для их использования на уроках ограничены (по 1–2 работы за весь курс химии), и, ес-ли не планируется массовое выполнение проектных работ по химии, можно не рас-сматривать их приобретение.

Эксперименты, описанные в статье, были апробированы в качестве демонстраций или лабораторных работ на обычных уроках. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Колясников О. В., Малашихина А. А., Морозова Н. И. Особенности использования цифровых лабора-торий по химии в регулярном преподавании в СУНЦ МГУ и на Летних школах. // Использование цифровых средств обучения и робототехники в общем и профес-сиональном образовании: опыт, проблемы, перспективы: сборник научных статей II Международной научно-практической конференции, Барнаул, 5–6 ноября 2015 г. — Барнаул: Изд-во Алтайского государственного универ-ситета, 2015. — С. 87–90.
2. Колясников О. В., Морозова Н. И. Химический эксперимент в проектной деятельности // Естественно-научное образование: химический эксперимент в выс-шей и средней школе: методический ежегодник хими-ческого факультета МГУ им. М. В. Ломоносова. Т. 16. — М.: Изд-во Московского университета, 2020. — С. 150–161.
3. Борунова Е. Б. Из опыта использования цифро-вых лабораторий // Химия в школе. — 2022. — № 6. — С. 66–70.
4. Бухарова А. В. Цифровая лаборатория на уроках и во внеурочной деятельности // Химия в школе. — 2018. — № 9. — С. 60–65.
5. Морозова Н. И. Лабораторные работы по общей химии: методическое пособие. — Калуга: Изд-во АКФ «Политоп», 2021.

Ключевые слова: лабораторные работы по химии, цифровые лаборатории, датчиковые системы.

Key words: laboratory work in chemistry, digital laboratories, sensor systems.