

А. И. Зими́на

СШ № 1287, Москва

П. И. Беспалов, М. В. Дорофеев

Институт открытого образования, Москва

# ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ЛАБОРАТОРИЙ

## при проведении демонстрационного эксперимента



**В** учебные кабинеты химии современных школ поступают комплекты естественно-научных цифровых лабораторий (ЦЛ), которые позволяют организовать химический эксперимент на принципиально новом уровне, перейти к элементам научного исследования — от исключительно качественной оценки наблюдаемых явлений к анализу количественных характеристик. Определены ключевые принципы методики использования ЦЛ, выявлены условия их эффективного применения на уроках химии [1].

Цифровые лаборатории включают измерительные блоки и датчики, регистрирующие значения различных физических величин: температуры, давления, массы, pH, электропроводности, оптической плотности, напряжения, силы тока и др. В настоящее время на рынке учебного оборудования доступны ЦЛ как российских, так и зарубежных производителей:

- «Архимед», производитель — *Fourier Systems Inc.* (США, Израиль, [www.fourier-sys.com](http://www.fourier-sys.com)), распространитель — *Институт новых технологий* (Москва, [www.int-edu.ru](http://www.int-edu.ru));
- «L-микро», производитель — компания *Лаборатория L-микро®* (Россия, [www.l-micro.ru](http://www.l-micro.ru)), распространитель — *ООО «Школьный мир»* (Москва, [td-school.ru](http://td-school.ru));
- «Cobra», производитель — компания *Phywe LTD* (Германия, [www.phywe.com](http://www.phywe.com)), распространитель — *ООО «Резонанс»* (Москва, [www.resonance-ed.com](http://www.resonance-ed.com));
- *AFS (All For School)*, производитель и распространитель — компания «Всё для школы» (Москва, [afsedu.ru](http://afsedu.ru)).

В учебные кабинеты химии поступают отдельные (автономные) датчики, современные модели которых тоже можно подключать к компьютеру.

Систематическое использование ЦЛ на уроках химии не может быть целью химического образования, оно эффек-

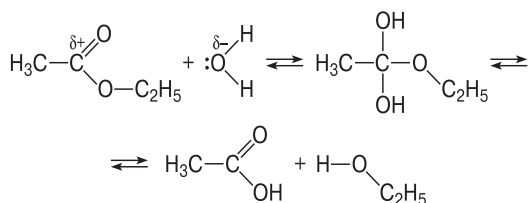
тивно лишь в случае объективной необходимости, если достижение поставленной педагогической задачи другими средствами невозможно. Необходимость применения ЦЛ на уроке в первую очередь связана с количественной стороной учебного химического эксперимента, динамикой изменения исследуемого параметра. ЦЛ можно использовать в учебном процессе для организации практических занятий и лабораторных опытов, исследовательских практикумов и учебных проектов. Вместе с тем интересно рассмотреть применение ЦЛ для проведения *демонстрационного химического эксперимента*, который, в зависимости от поставленной цели, может выполнять частные функции: информативную, эвристическую, критериальную, корректирующую, исследовательскую, обобщающую и мировоззренческую [2].

## ИНФОРМАТИВНАЯ ФУНКЦИЯ

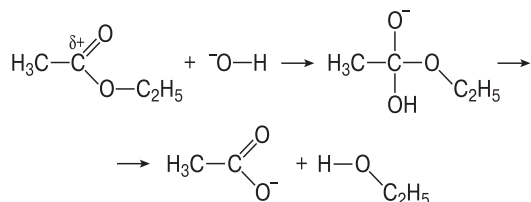
Химический эксперимент выполняет информативную функцию, если он служит источником познания предметов и явлений. С его помощью учащиеся узнают о свойствах и превращениях веществ, проникают в суть химического явления, осваивают его на эмпирическом уровне и используют усвоенный материал в качестве способа дальнейшего познания.

### Опыт 1. Щелочной гидролиз этилацетата

Данный демонстрационный эксперимент нацелен на выявление закономерностей протекания гидролиза сложных эфиров, который в нейтральной среде идёт с низкой скоростью, поскольку вода обладает слабыми нуклеофильными свойствами, равновесие сильно смещено влево:



В щелочной среде гидролиз идёт гораздо быстрее, в этом процессе принимает участие сильный нуклеофил — гидроксид-ион  $\text{OH}^-$ . Щелочной гидролиз практически необратим, так как образующийся анион карбоновой кислоты не может быть атакован нуклеофилом:



О скорости протекания реакции судят по изменению pH. Для достижения поставленной цели перед демонстрацией опыта необходимо актуализировать опорные знания учащихся о водородном показателе pH, его зависимости от концентрации ионов водорода  $\text{H}^+$  в водном растворе. Графики зависимости pH от времени, которые строит компьютер на основании измерений, фиксируемых датчиком pH, целесообразно демонстрировать на большом экране.

**Реактивы и оборудование:** дистиллированная вода, известковая вода (насыщенный раствор  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), 10 мл, этиловый эфир уксусной кислоты (этилацетат), 10 мл; датчик pH\*, штатив с лапкой, 2 шт., конические колбы (500 мл), 2 шт.

### Ход работы

В коническую колбу наливают примерно 250 мл воды и добавляют 5 мл этилацетата, опускают в раствор датчик pH, закреплённый в лапке штатива. Наблюдают за изменением значения pH. Когда показания pH стабилизируются, учащиеся записывают фиксированное значение pH в тетради (заполняют табл. 1).

В другую колбу наливают 250 мл дистиллированной воды и добавляют 10 мл известковой воды, опускают в раствор датчик pH, закреплённый в лапке штатива. Когда пока-

\* Датчик pH комбинированный, состоит из двух электродов: стеклянного и хлорсеребряного (электрод сравнения).

зания pH стабилизируются, учащиеся также заносят значение pH в таблицу.

К полученному раствору гидроксида кальция приливают 5 мл этилацетата. Осторожно перемешивают содержимое. Наблюдают за изменением значения pH. Когда показания pH стабилизируются, учащиеся записывают значение pH в таблицу.

Таблица 1

### Гидролиз этилового эфира уксусной кислоты

Исходные вещества	Значение pH	Уравнение реакции
Вода + этилацетат		—
Вода + гидроксид кальция		—
Вода + гидроксид кальция + этилацетат		

Заполнив табл. 1, учащиеся отвечают на вопросы.

1. В какой среде гидролиз этилового эфира уксусной кислоты протекает быстрее? Почему?

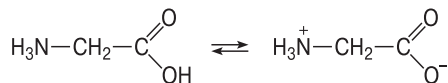
2. Как, анализируя значения pH в водном растворе, можно судить о скорости и степени гидролиза сложного эфира?

## ЭВРИСТИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ

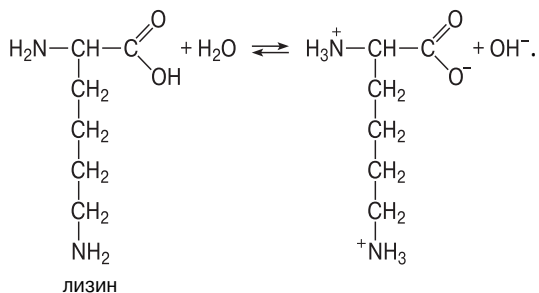
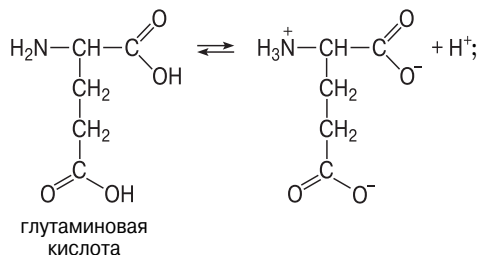
Эвристическая функция химического эксперимента не только проявляется в установлении фактов, но и служит активным средством формирования новых эмпирических понятий и закономерностей.

### Опыт 2. Определение среды растворов аминокислот

Цель данной демонстрации — организация познавательной деятельности учащихся, в ходе которой они приходят к выводу о зависимости кислотно-основных свойств аминокислот от их строения. Благодаря наличию двух функциональных групп:  $-\text{COOH}$  и  $-\text{NH}_2$  — аминокислоты проявляют двойственные, амфотерные, свойства, их водные растворы обладают буферными свойствами. Значение pH растворов нейтральных аминокислот, например глицина, близко к 7:



Растворы дикарбоновых аминокислот имеют кислотную среду, а диаминомонокарбоновых — щелочную:



Для достижения поставленной цели перед демонстрацией опыта необходимо актуализировать опорные знания учащихся о функциональных группах карбоновых кислот и аминов, водородном показателе pH.

**Реактивы и оборудование:** дистиллированная вода, 0,01 М растворы аминокислот (по 30 мл) глицина, аланина, глутаминовой кислоты, лизина; датчик pH, стаканы (50 мл), 3 шт., штатив с лапкой, промывалка.

### Ход работы

Наливают в стакан примерно 30 мл раствора глицина, опускают в раствор датчик pH, закреплённый в лапке штатива. Наблюдают за изменением значения pH. Когда показания pH стабилизируются, учащиеся записывают значение pH в табл. 2. Датчик тщательно промывают водой и опускают в раствор глутаминовой кислоты. Порядок выполнения работы соблюдают при исследовании всех остальных растворов.

Таблица 2

**Значения pH в растворах аминокислот**

№	Название аминокислоты	Формула аминокислоты (справочник)	Соотношение числа карбоксильных групп и аминогрупп ( $-\text{COOH} : -\text{NH}_2$ )	Значение pH
1	Глицин		1 : 1	
2				
3				
4				

После заполнения табл. 2 учащиеся выполняют задания и отвечают на вопросы.

1. На основе полученных данных сформулируйте вывод о зависимости значения pH от состава аминокислоты.

2. Предложите способ идентификации аминокислот на основании измерения pH их водных растворов. Все ли аминокислоты можно отличить таким методом? Почему?

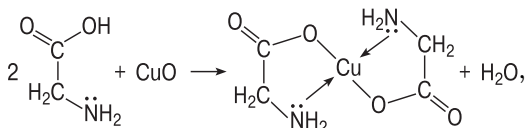
3. Проанализируйте состав и строение аминокислот, формулы которых приведены в учебнике (справочнике). Сделайте предположение о реакции среды в их водных растворах, ответ обоснуйте.

**КРИТЕРИАЛЬНАЯ ФУНКЦИЯ**

Демонстрационный химический эксперимент выполняет критериальную функцию, если результаты опытов подтверждают или опровергают предположения (гипотезы) школьников, т. е. служат той «практикой, что является критерием истины».

**Опыт 3. Получение медной соли аминокусусной кислоты**

Аминокусусная кислота (глицин) реагирует с оксидом меди(II), образуя прочное внутрикомплексное (хелатное, от лат. *chelate* — клешня) соединение:



раствор которого имеет характерную интенсивно-синюю окраску.

Обсуждая вопрос о возможности взаимодействия аминокислоты с основным оксидом, учащиеся выдвигают предположение о протекании реакции обмена с участием карбоксильных групп  $-\text{COOH}$ , в результате которой в раствор должны переходить гидратированные ионы меди  $\text{Cu}^{2+}$ , имеющие голубую окраску. Катионы  $\text{H}^+$ , образующиеся при диссоциации кислоты, должны связываться с образованием воды, а pH раствора из-за превалирования аминогрупп  $-\text{NH}_2$ , соответственно, смещаться в щелочную область.

Однако демонстрация взаимодействия оксида меди(II) с раствором глицина опровергает первоначальное предположение учащихся. Полученный раствор имеет характерную ярко-синюю окраску, существенно отличающуюся от цвета растворов, например,  $\text{CuSO}_4$  или  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ . Растворение оксида меди(II) практически не приводит к изменению pH. Для объяснения возникшего противоречия выдвигается гипотеза об образовании комплексного соединения меди, в строении которого важную роль играют аминогруппы глицина.

Для проверки выдвинутой гипотезы демонстрируется реакция с раствором щёлочи, которая не приводит к видимым изменениям, что доказывает практически полное отсутствие в растворе гидратированных ионов  $\text{Cu}^{2+}$  и подтверждает образование прочного комплексного соединения меди.

**Реактивы и оборудование:** 15%-ный раствор аминокусусной кислоты, 30 мл, оксид меди(II), 0,5 г, 10%-ный раствор гидроксида натрия; датчик pH, пробирка демонстрационная, стакан химический (50 мл), держатель для пробирок, спиртовка.

**Ход работы**

В раствор глицина опускают датчик pH. Когда его показания стабилизируются, отмечают значение pH в растворе аминокислоты. Помещают в пробирку немного оксида меди(II) и приливают около 5 мл раствора аминокусусной кислоты. Осторожно нагревают смесь. Затем дают отстояться избытку чёрного порошка  $\text{CuO}$ , переливают раствор в другую пробирку, охлаждают до комнатной

температуры (можно под струёй холодной воды) и снова измеряют значение pH в полученном растворе с помощью датчика pH.

Извлекают электрод из пробирки и добавляют в неё несколько капель раствора гидроксида натрия.

По ходу демонстрации и при обобщении её результатов учащиеся отвечают на вопросы.

1. Каково значение pH в растворе аминокислоты? Почему?

2. Наличие каких групп обуславливает кислотные свойства глицина?

3. Будет ли аминокислота реагировать с оксидом меди(II)? Какие явления должны сопровождать данную реакцию?

4. Что наблюдается при нагревании смеси оксида меди(II) и раствора аминокислоты? Какую окраску принимает раствор? Почему?

5. Каково значение pH в растворе после взаимодействия с оксидом меди(II)? Как можно объяснить этот факт?

6. Что наблюдается при добавлении раствора щёлочи? Как это можно объяснить?

7. Что происходит при взаимодействии оксида меди(II) с раствором аминокислоты? Какие факты на это указывают?

## КОРРЕКТИРУЮЩАЯ ФУНКЦИЯ

Демонстрационный эксперимент позволяет учащимся преодолевать трудности в освоении теоретических знаний, исправлять ошибки, контролировать качество приобретённых знаний. При этом учебный эксперимент выполняет корректирующую функцию.

### Опыт 4. Зависимость электропроводности раствора от растворителя

На первых этапах изучения механизма диссоциации электролитов демонстрационный эксперимент, как правило, ограничивается иллюстрацией наличия или отсутствия заметной электропроводности растворов электролитов и неэлектролитов. Учитель вполне резонно акцентирует внимание учащихся на природе веществ, способных рас-

падаться на ионы. При этом учащиеся могут упустить значение роли растворителя, в частности воды, не придать значения полярности её молекул, высокой диэлектрической проницаемости этого вещества. Следствием такого подхода может стать формирование ошибочного представления о том, что электролиты могут диссоциировать на ионы в любом растворителе.

С целью коррекции теоретических знаний учащихся целесообразно предложить им объяснить результаты количественного демонстрационного эксперимента, в ходе которого измеряется электропроводность растворов хлороводорода в воде и в толуоле. Для достижения поставленной цели необходимо актуализировать известные учащимся из курса физики сведения об электрическом сопротивлении ( $R$ ), единицах его измерения — омах (Ом). Также следует ввести понятие о физической величине, обратной сопротивлению, — электропроводности (электропроводности), которая, соответственно, измеряется в Ом<sup>-1</sup> или сименсах (См).

*Реактивы и оборудование:* дистиллированная вода, толуол, 20 мл; шприц, заполненный хлороводородом (10–20 мл), 2 шт., датчик электропроводности, стакан (50 мл), 2 шт., штатив с зажимом, фильтровальная бумага, промывалка.

### Ход работы

В стакан наливают 20 мл дистиллированной воды. Опускают в воду датчик электропроводности. Наблюдают за изменением значения электропроводности. Когда показания электропроводности стабилизируются, учащиеся записывают значение электропроводности в тетради (заполняют табл. 3). В другой стакан наливают 20 мл толуола. Опускают датчик электропроводности, предварительно высушив его фильтровальной бумагой. Наблюдают за изменением значения электропроводности. Когда показания электропроводности стабилизируются, учащиеся записывают значение в тетради.

Опускают в стакан с водой шприц и медленно пропускают через воду ток хлороводорода. В полученный раствор опускают датчик

электропроводности. Учащиеся записывают значение электропроводности в тетради. Тщательно промывают датчик водой и высушивают фильтровальной бумагой. В стакан с толуолом опускают шприц и медленно пропускают через жидкость хлороводород. В полученный раствор опускают датчик электропроводности. Учащиеся записывают значение электропроводности в тетради.

Если в школе имеются два датчика электропроводности, то их можно одновременно подключить к компьютеру, опыт целесообразно проводить параллельно, что существенно экономит время на демонстрацию.

Таблица 3

**Значения электропроводности чистых растворителей и растворов**

№	Жидкость	Значение электропроводности, См
1	Вода	
2	Толуол	
3	Раствор хлороводорода в воде	
4	Раствор хлороводорода в толуоле	

По окончании демонстрации учащиеся анализируют полученные значения электропроводности и делают вывод о влиянии растворителя на диссоциацию хлороводорода в воде и в толуоле.

## ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ФУНКЦИЯ

Химический эксперимент, включающий применение ЦЛ, может выполнять исследовательскую функцию, связанную с самостоятельным поиском знаний о свойствах веществ, изучением их количественных признаков. В этом случае демонстрационный опыт служит исходным моментом, побуждающим учащихся к самостоятельной поисковой деятельности, в ходе которой они получают новые знания.

На первом этапе исследования учащиеся наблюдают демонстрируемое явление, подходят к постановке познавательной проблемы,

определяют цели и алгоритм предстоящей работы. На втором этапе они приступают к самостоятельному поиску, который может включать лабораторный эксперимент, работу со справочной и учебной литературой. Заключительный, третий, этап — рефлексия результатов исследования, способствующая осмыслению учащимися собственных действий, контроль качества приобретённых теоретических знаний и практических умений.

### Опыт 5. Изучение силы предельных одноосновных карбоновых кислот

Предельные одноосновные карбоновые кислоты — слабые электролиты, сила которых зависит от величины радикала, связанного с карбоксильной группой, и уменьшается с увеличением числа атомов углерода в нём. Цель работы заключается в установлении зависимости силы карбоновой кислоты от величины углеводородного радикала. Перед началом учебного исследования важно актуализировать знания учащихся о функциональной группе карбоновых кислот, водородном показателе pH и факторах, влияющих на его значение.

*Реактивы и оборудование:* 0,1 М растворы муравьиной, уксусной и масляной кислот, по 30 мл; датчик pH, стакан (50 мл), 3 шт., штатив с лапкой, промывалка.

#### Ход работы

Наливают в стакан около 30 мл раствора муравьиной кислоты, опускают в него датчик pH, закреплённый в лапке штатива. Когда значение pH стабилизируется, учащиеся записывают его в тетради (заполняют табл. 4). Тщательно промывают электрод водой и повторяют измерение в растворе уксусной кислоты.

Таблица 4

**Значения водородного показателя в растворах карбоновых кислот**

№	Название кислоты	Концентрация кислоты, моль/л	Значение pH
1			
2			
3			

Затем учащимся предлагается выполнить задания и ответить на вопросы.

1. Сопоставьте силу муравьиной и уксусной кислот. От чего может зависеть сила кислоты в данном случае?

Учащиеся изображают структурные формулы кислот, видят, что с увеличением радикала происходит уменьшение кислотности, рассматривают взаимное влияние атомов в молекулах, высказывают предположение (формулируют гипотезу) о влиянии углеводородного радикала на силу кислоты.

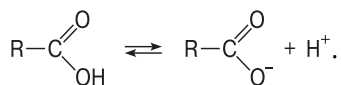
2. Как можно проверить выдвинутую гипотезу?

Для подтверждения выдвинутого предположения проводится измерение pH в растворе масляной кислоты. Формулируя гипотезу, учащиеся используют имеющиеся знания, а в результате проверки гипотезы получают новые.

3. Сделайте вывод о силе предельных одноосновных кислот.

Учащиеся обобщают полученные теоретические знания.

4. Силу карбоновой кислоты можно охарактеризовать константой равновесия:



Чем сильнее кислота, тем легче она диссоциирует на ионы, тем больше данное равновесие смещено вправо, тем больше значение константы. Используя установленную в ходе исследования зависимость, предположите, как будут изменяться константы диссоциации первых пяти представителей гомологического ряда предельных одноатомных кислот. Проверьте свою гипотезу, используя справочные данные.

Выполнение данного задания требует от учащихся применения новых знаний и установления внутрипредметных связей с положениями теории электролитической диссоциации, учением о химическом равновесии, межпредметных связей с математикой (сравнение комплексных чисел).

## ОБОБЩАЮЩАЯ ФУНКЦИЯ

Демонстрационный химический эксперимент может создать условия для построения различных эмпирических обобщений, в этом выражается его обобщающая функция.

### Опыт 6. Сравнение основных свойств аминов

Амины — слабые органические основания, сила которых зависит от строения углеводородных радикалов и их числа. На этапе обобщения целесообразно провести эксперимент, нацеленный на изучение гидролиза солей, образованных аминами и аммиаком. Для объяснения результатов данной демонстрации учащимся потребуются теоретические представления, как сформированные при изучении данной темы, так и полученные ранее. Перед экспериментом необходимо актуализировать знания учащихся о гидролизе, факторах, влияющих на его степень, водородном показателе pH.

**Реактивы и оборудование:** дистиллированная вода, насыщенный раствор анилина в воде, 20 мл, 0,1 М растворы хлоридов фениламмония, метиламмония и аммония, по 20 мл; датчик pH, стакан (50 мл), 4 шт., штатив с зажимом, промывалка.

### Ход работы

Наливают в стакан 20 мл насыщенного раствора анилина, опускают в него датчик pH, закреплённый в лапке штатива. Наблюдают за изменением значения pH. Когда показания датчика стабилизируются, учащиеся записывают значение водородного показателя в тетради (заполняют табл. 5). Электрод тщательно промывают водой, проводят измерения

Таблица 5

### Значения водородного показателя в водных растворах анилина, хлоридов фениламмония, метиламмония и аммония

№	Исследуемый раствор	pH
1	Насыщенный раствор анилина	
2	Раствор хлорида фениламмония, 0,1 моль/л	
3	Раствор хлорида метиламмония, 0,1 моль/л	
4	Раствор хлорида аммония, 0,1 моль/л	



в разбавленных растворах хлоридов фенил-аммония, метиламмония и аммония.

Затем учащимся предлагается выполнить задания и ответить на вопросы.

1. В каком из рассмотренных растворов щелочная среда, а в каких — кислотная? Почему?

2. Почему исследуемые соли подвергаются гидролизу? Почему степень гидролиза во всех трёх случаях различная?

3. Расположите вещества (анилин, метиламин, аммиак) в порядке возрастания основных свойств. Объясните своё решение на основе анализа полученных значений pH.

Применение ЦЛ для организации демонстрационного химического эксперимента создаёт условия, в которых практически

каждый учащийся может развивать свои способности к самостоятельному поиску и получению новых знаний, приобретать и развивать умения решать задачи как предметного, так и надпредметного уровня. При этом осуществляется переход от репродуктивных форм учебной деятельности к поисково-исследовательским видам работы; в зависимости от поставленной задачи демонстрация опыта выполняет различные дидактические функции. ■

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Дорофеев М. В., Зимина А. И., Стунеева Ю. Б.** Принципы эффективного применения цифровых лабораторий // Химия в школе. — 2010. — № 2. — С. 55–63.

2. **Злотников Э. Г.** Химический эксперимент в условиях развивающего обучения // Химия в школе. — 2001. — № 1. — С. 60–64.

---

**Ключевые слова:** цифровые лаборатории, датчики, химический эксперимент, демонстрационный эксперимент, функции эксперимента.

**Key words:** digital laboratory, detectors, training experiment, chemical experiment, demonstration experiment, didactic functions.