

---

# **Х и м и я**

---

## **Интересные уроки**

### **Из зарубежного опыта преподавания**

Автор-составитель В.Н. Головнер

Москва  
«Издательство НЦ ЭНАС»  
2002

УДК 542(072.37)  
ББК 74.262.4  
Х46

**Х46** **Химия.** Интересные уроки: Из зарубежного опыта преподавания/Авт.-сост. В.Н. Головнер. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2001. – 136 с. – (Портфель учителя).

**ISBN 5-93196-134-8**

Из опыта работы учителей многих зарубежных стран собран уникальный материал по методике преподавания химии в школе. Эффективные и зрелищные опыты, тематические практикумы, интегративные формы обучения, проектные технологии и нестандартные подходы к преподаванию помогут сделать уроки химии интересными и разнообразными. Содержание включенных в книгу материалов в основном соответствует действующим в России учебным программам по химии.

Для широкого круга читателей: учителей, методистов, студентов педагогических вузов, учащихся общеобразовательных и профильных школ.

УДК 542(072.37)  
ББК 74.262.4

© В.Н. Головнер, автор и составитель, 2002  
© ЗАО «Издательство НЦ ЭНАС», 2002  
**ISBN 5-93196-134-8**

## Оглавление

Предисловие .....	5
Глава 1. Демонстрационный химический эксперимент .....	7
Самодельные рН-индикаторы из экстрактов растений (7). Кровь или кетчуп? (химия и судебно-медицинская экспертиза) (9). Плазма в школьной лаборатории (11). Пиротехника без кислорода (13). Как защитить архивные документы от пожелтения? (15). Демонстрация твердофазной реакции при комнатной температуре (16). Детектор трезвости (демонстрация окисления спиртов) (16). Демонстрация дегидратации углеводов (17). Демонстрация синтеза Вёлера (19). Демонстрация получения азокрасителей (20).	
Глава 2. Занимательные и зрелищные опыты по химии .....	22
Секретное послание (22). Съедобная свеча (22). Исчезнувшая вода (свойства полиакрилата натрия) (23). Зубная паста для великанов (23). Джинн в бутылке (23). Гвоздика-хамелеон (24). Дерево из серебра (25). Загадочная трубка (25). Ядра из углекислого газа (27). Желтый смерч (27). Расплющивание бутылки в результате реакции нейтрализации (27). Обнаружение полярности молекул воды (28). Катализатор-хамелеон (28). Получение и собирание газов по методу Али (28). Электролиз йодида калия в геле (30). «Ручной» газ (30). Волшебный ящик (31). Взрыв в консервной банке (31). Горящие шары (32). Метановый великан (32). Реактивный двигатель на спирте (33). Горение магния в углекислом газе (34). Танцующее пламя (34). Запуск водородной ракеты (35). Змея из вулкана (36).	
Глава 3. Химические практикумы .....	38
Занимательная химия с жидким азотом (химический практикум для младших школьников) (38). Семь превращений в одной пробирке (обобщающий эксперимент по общей химии с микроколичествами реактивов) (42). Экологический практикум (47): 1. Обнаружение свинца в предметах обихода (47); 2. Обнаружение хрома в сточных водах (49); 3. Исследование токсичности бытовых веществ (52). Синтез этилсалицилата из аспирина (56). Экстракция кофеина из чайных листьев (58).	

<b>Глава 4. Обучение химии методом аналогий</b> .....	60
Отношения между людьми как модель состояния вещества (60). Автодром как модель химического взаимодействия (66). Рождение детей как модель реакции первого порядка (67). Модель электронной плотности «Скитания студента» (68). Модель межмолекулярного взаимодействия «Купание в ванне» (70). Модель химического равновесия «Супермаркет» (71). Объясняем химические явления «на пальцах» (72). Шерлок Холмс устанавливает формулы веществ по продуктам сгорания (75).	
<b>Глава 5. Методическая мозаика</b> .....	79
Вся химия за две минуты (79). Изучаем химию с помощью электронной почты (81). Как овладеть вниманием класса? (82). Как сделать наглядным явление периодичности? (84). Периодическая система для самых младших (85). Химический детектив («Реакция замещения, или Убийство профессора Граундера») (89). Уравниваем до бесконечности (93). Метод произвольных степеней окисления для окислительно-восстановительных реакций (95). Моделирование физико-химических процессов с помощью кодоскопа (97). Вычисляем число Авогадро на компьютере (98). Склеиваем модели фуллеренов (99). Изучение методов очистки сточных вод (101).	
<b>Глава 6. Проектные технологии</b> .....	106
Проектируем товары бытовой химии (106).	
<b>Глава 7. Немного больше, чем в учебнике</b> .....	110
Все ли мы знаем об изомерах бензола? (110). Почему соединения азота взрывоопасны? (114).	
<b>Глава 8. Актуальные вопросы химического образования</b> .....	120
Научная этика в школьном курсе химии (120). Экзамен по химии в американской школе: новый подход? (122). Американский химик выбирает карьеру (128).	

## Предисловие

Отечественные традиции естественно-научного образования сохраняют за российской школой ведущие позиции в мире. Мы вправе гордиться тем, что российский школьник, как правило, знает об устройстве окружающего мира больше, чем его сверстники из многих развитых стран. Но и зарубежный опыт преподавания естественных наук также представляет большой интерес. В первую очередь уже потому, что это *другой* опыт. Известно, например, что в большинстве школ США нет обязательного курса химии, а основы химических знаний преподаются в составе интегрированного курса естественных наук. В отличие от российской школы, где упор делается на фундаментальные и систематические знания, американская система естественно-научного образования сориентирована в основном на обучение решению прикладных задач, связанных с широким кругом бытовых явлений.

В книге не ставится задача сравнить подходы к преподаванию химии в национальных школах, но представлены те формы зарубежного опыта, которые могут быть прямо адаптированы в нашей школе без нарушения ее исторически сложившегося своеобразия. Книга составлена главным образом на основе многолетних обзоров «Journal of Chemical Education» («Журнал химического образования», США) и является подборкой оригинальных методических разработок преподавания химии в школах и колледжах зарубежных стран. Для издания отобраны только материалы, соответствующие содержанию российских школьных программ по химии или близкие к ним, а потому могут использоваться на уроках химии в общеобразовательных и профильных классах, для организации внеклассной работы по предмету, на занятиях школьного кружка и др. Учитель-практик найдет здесь описание эффектных демонстрационных и лабораторных опытов, интересные модификации широко известных экспериментов, занимательные химические практикумы, сценарии деловых игр, интегративные уроки, лабораторные работы с экологическим содержанием.

Для удобства пользования материал книги объединен в тематические главы. Глава 1 посвящена демонстрационному химическому эксперименту. В главе 2 даны описания зрелищных и эффектных

химических опытов. В главе 3 – методики практических работ и практикумов, причем особо выделены работы интегративного, в том числе экологического, содержания. В главе 4 приведена уникальная подборка материалов по технологии обучения химии методом аналогий. В главе 5 – интересные методические приемы и разработки к отдельным темам и урокам химии, необычные подходы к организации контроля знаний по предмету. Особо отмечены те формы работы, которые могут быть использованы для пропедевтических курсов химии в младших классах. В главе 6 дан пример реализации проектной технологии. В главе 7 – дополнительный учебный материал, расширяющий информацию по отдельным темам курса. В последней, 8-й, главе обсуждаются актуальные проблемы химического школьного образования.

Данное издание поможет эффективно использовать зарубежный опыт в практике преподавания химии в российской школе, будет интересно и полезно учителям-предметникам и методистам.

В переводе материалов принимали активное участие учащиеся московской школы № 1259 с углубленным изучением иностранных языков. Фрагменты издания публиковались в журнале «Химия в школе».

*В.Н. Головнер*

## Глава 1 Демонстрационный химический эксперимент

В этой главе собраны описания демонстрационных опытов из практики работы учителей химии англоязычных стран. Содержание опытов в основном соответствует программам по химии, действующим в Российской Федерации, что позволяет использовать их на уроках или на внеурочных мероприятиях для иллюстрации соответствующих разделов школьной программы.

### Самодельные pH-индикаторы из экстрактов растений\*

Самодельные индикаторы из растительных экстрактов являются прекрасным пособием для изучения химического равновесия, поскольку способны обратимо менять окраску в зависимости от значения pH среды. Действие природных индикаторов основано на способности антоцианинов, представляющих смесь гликозидов, содержащихся в цветках и плодах растений, образовывать в разных средах равновесные структуры (рис. 1). При низких значениях pH характерной формой антоцианинов является оксониевый ион (1), придающий раствору розово-красный цвет. По мере уменьшения кислотности эта структура превращается в бесцветное соединение (2), а в щелочной среде – в хиноидное соединение (3), имеющее голубую

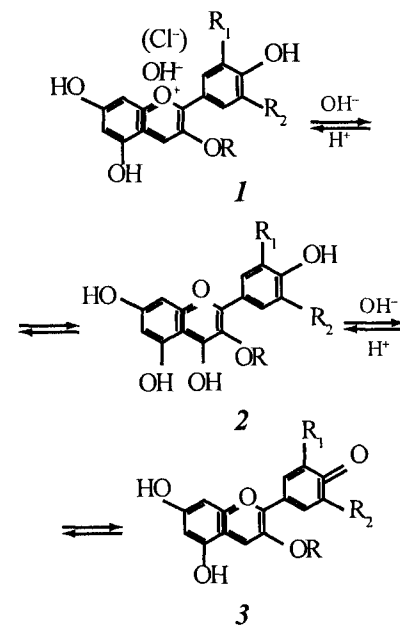


Рис. 1. Структуры антоцианинов

\* Journal of Chemical Education. 1995. № 12. P. 1131–1132.



окраску. Поскольку все эти процессы обратимы, то, изменяя pH среды, можно многократно наблюдать переходы цвета.

Однако восстановить исходный красный цвет антоцианинов довольно сложно ввиду того, что в сильно щелочной среде хиноидное соединение (3) необратимо окисляется кислородом воздуха в полимерное соединение коричневого цвета. Для предотвращения этого процесса рекомендуется защищать растительный индикатор полисахаридным гелем.

Ниже описана технология изготовления самодельных индикаторов в виде шариков, содержащих растительный экстракт и полисахаридный наполнитель из альгината кальция. Для получения последнего необходимы хлорид кальция и альгинат натрия (препарат, который используется в качестве стабилизатора и эмульгатора в пищевой, косметической и фармацевтической промышленности). Шарик-индикаторы могут быть изготовлены из пигментов разных растений (табл. 1) и способны многократно демонстрировать обратимое изменение окраски при изменении pH среды. Демонстрация поведения шариков-хамелеонов на уроке украсит рассмотрение темы «Химическое равновесие», а их изготовление может быть вынесено на занятия химического кружка.

Таблица 1

Характеристики растительных индикаторов

Растение (часть его)	Цвет индикатора при pH			Количество повторов до разрушения шарика
	1	7	13	
Темная фасоль	Красный	Фиолетовый	Желто-зеленый	4–5
Виноград (кожица)	Розовый	Сиреневый	Желто-зеленый	5–8
Краснокочанная капуста	Красный	Голубой	Желто-рыжий	5–8
Восковица (ягоды)	Розовый	Ярко-розовый	Оранжевый	3–4
Японский баклажан (кожица)	Розово-красный	Красно-фиолетовый	Желтый	4–5
Азалия (цветки)	Пурпурно-красный	Розовый	Желтый	4–5
Дуб (цветки)	Розовый	Ярко-оранжевый	Оранжевый	3
Астрагал (цветки)	Розовый	Темно-пурпурный	Желтый	3

## Технология изготовления шариков-индикаторов

100 г листьев краснокочанной капусты (или другого растительного сырья, см. табл. 1) в 400 мл кипящей воды выдержать 10 мин. Отвар остудить и профильтровать через бумажный фильтр. 30 мл полученного экстракта смешать с 20 мл 2%-ного водного раствора альгината натрия. В чистый стакан поместить 100 мл 1%-ного водного раствора хлорида кальция и при непрерывном перемешивании (лучше магнитной мешалкой) добавлять из пипетки по каплям приготовленный раствор экстракта с альгинатом натрия. Попадая в раствор  $\text{CaCl}_2$ , капли сразу свертываются в шарики. Шарик следует собрать и промыть несколько раз водой в мелком стальном ситечке. За день до демонстрации рекомендуется выдержать шарики в растворе  $\text{CaCl}_2$  в холодильнике при температуре около 4 °С.

## Демонстрация обратимого изменения цвета

Налить в пробирку 0,1М раствор  $\text{HCl}$  и поместить в него несколько шариков-хамелеонов. Окраска индикатора становится ярко-красной. Добавлять 0,1М раствор  $\text{NaOH}$  сначала до нейтрализации раствора, а затем до образования избытка щелочи. Шарик меняет цвет сначала на голубой, а затем на рыже-желтый (при pH = 13). Минут через пять раствор можно вновь сделать кислотным, добавив избыток 0,1М раствора  $\text{HCl}$ . Шарик меняет цвет в обратной последовательности. Этот процесс можно продолжать многократно, пока шарики не разрушатся.

## Кровь или кетчуп? (химия и судебно-медицинская экспертиза)\*

Одним из важных практических приложений аналитической химии является судебно-медицинская экспертиза. Зачастую именно химические методы анализа позволяют восстановить правильную картину преступления.

Всегда ли можно считать красные пятна на месте преступления однозначным свидетельством кровопролития? В 1995 г. во время слушания дела об убийстве в уголовном суде Лос-Анджелеса защита прибегла к неожиданному трюку, заявив, что обнаруженные на вещественных доказательствах пятна крови являются на самом деле следами кетчупа.

\* Journal of Chemical Education. 1996. № 1. P. 60–61.

А как в действительности криминалисты идентифицируют кровь? Этот вопрос вполне может стать предметом обсуждения на уроках химии. Тем более, что его можно сопроводить простым и убедительным демонстрационным опытом.

Одним из методов экспресс-анализа на кровь в судмедэкспертизе является цветная реакция окисления фенолфталейна, которую несложно воспроизвести в школьной лаборатории. Метод основан на окислении фенолфталейна перекисью (пероксидом) водорода, катализируемом гемогруппой гемоглобина крови. При этом раствор фенолфталейна из бесцветного становится красным. Химизм процесса выражается реакциями, изображенными на рис. 2.

Основной раствор реагента готовят растворением 2 г фенолфталейна и 20 г гидроксида калия в 100 г дистиллированной воды. Затем при перемешивании добавляют 20 г порошкообразного цинка до обесцвечивания раствора. Основной раствор хранят в закрытой темной емкости с избытком цинка (это позволяет поддерживать фенолфталейн в восстановленной форме). Рабочий раствор реагента готовят разведением основного раствора этанолом в соотношении 1:5.

Для демонстрации опыта понадобится образец материала (ткань, древесина и др.) со следами крови (в качестве заменителя крови можно предложить смесь 0,5М раствора КОН с красным пищевым красителем). Имитируя действия криминалиста, учитель или лаборант хлопчатобумажным тампоном растирает исследуемое пятно, затем слегка смачивает тампон дистиллированной водой, добавляет две капли рабочего раствора фенолфталейна, а через 30 с – две капли свежего 3%-ного раствора пероксида водорода. Появление розового окрашивания считается положительным результатом, отсутствие окраски – отрицательным.

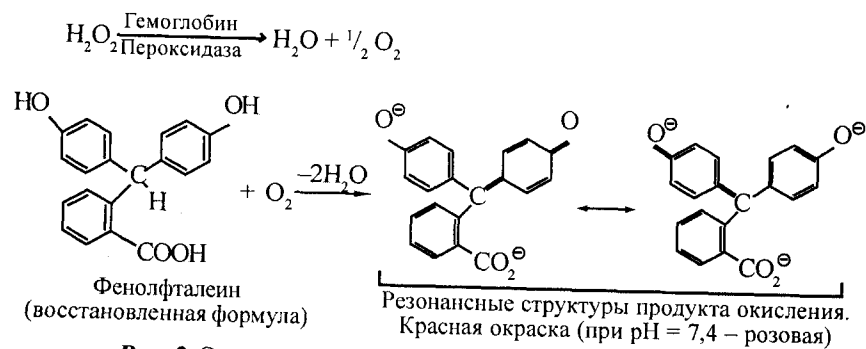


Рис. 2. Окисление фенолфталейна пероксидом водорода

Анализируя результаты опыта, стоит обсудить с учащимися границы его применимости в криминалистике. Обнаружению крови этим методом могут мешать многие вещества, которые дают похожую реакцию. К ним относятся йод, ржавчина, медь, перманганат и дихромат калия, нитраты никеля и кобальта, которые способны окислять фенолфталейн, а также многие продукты питания (яблоки, абрикосы, картофель, капуста, лук и др.), содержащие растительные пероксидазы – ферменты, которые, как и гемоглобин, способствуют разложению пероксида водорода.

Таким образом, в данном методе анализа окончательным является только отрицательный результат, который говорит об отсутствии крови. При положительном результате всегда может встать вопрос: «Кровь или кетчуп?», поскольку кетчуп содержит лук и мешает обнаружению крови.

Правда, специфичность метода можно повысить, если учесть, что все перечисленные неорганические окислители меняют окраску рабочего раствора фенолфталейна еще до добавления  $\text{H}_2\text{O}_2$ , а растительные пероксидазы дезактивируются при нагревании до  $100^\circ\text{C}$ , тогда как гемоглобин сохраняет при этой температуре каталитическую активность.

В любом случае демонстрация экспресс-анализа на кровь может стать не только ярким примером возможностей аналитической химии, но и поводом для интересной ролевой игры в классе.

## Плазма в школьной лаборатории\*

Плазма и плазмохимические реакции – интереснейшие природные явления. Следующий эксперимент позволяет в условиях школьной лаборатории продемонстрировать это особое состояние вещества.

Для опыта необходимы: два электрода (анод – из алюминия или тантала, катод – из нержавеющей стали, платины или алюминия), раствор электролита (табл. 2) и источник постоянного или импульсного тока с выходным напряжением не ниже 90 В. Для приготовления раствора электролита требуется дистиллированная вода, так как следовые количества хлора препятствуют генерации плазмы.

\* Journal of Chemical Education. 1996. № 8. P. 782.

Таблица 2

Условия эксперимента по генерации плазмы

Анод	Катод	Электролит, г/л	Напряжение, В	Ток
30-см Та-спираль, диаметр проволоки 1 мм	Pt (5 см <sup>2</sup> )	240 Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub>	≈ 80	Постоянный
50-см Al-спираль, диаметр проволоки 1 мм	Al	33 NaF	≈ 115	Постоянный
		225 Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·10H <sub>2</sub> O	≈ 110	Импульсный
Al-контур площадью 40 см <sup>2</sup>	Нерж. сталь	77 NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O 21 NaF 38 Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10 H <sub>2</sub> O	130	Импульсный

При демонстрации опыта электроды погружают в раствор электролита (рис. 3), а напряжение постепенно увеличивают до указанного в таблице значения. Вблизи поверхности анода формируется запирающий слой, и по достижении критического напряжения происходит диэлектрический пробой. При этом на границе раздела анод/электролит в результате плазмохимических реакций лавинообразно образуются свободные заряженные частицы (ионы и электроны). Наблюдается состояние плазмы со всеми характерными признаками: сильный разогрев, искрение анода, специфическое потрескивание в результате микровзрывов пузырьков газа.

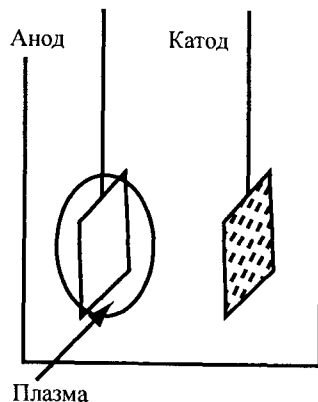


Рис. 3. Прибор для демонстрации плазмы

Еще эффектнее этот опыт, если анод изготовлен в виде проволочной спирали. В этом случае можно наблюдать движение плазмы по проволоке. Искрящееся облако покрывает анод как лава.

Особые указания:

- работа требует осторожности. Возможно разбрызгивание электролита;
- быстрое окисление анода в растворе приводит к прекращению плазмохимических реакций. Для возобновления процесса следует повысить напряжение на 5 В;

- рекомендуем демонстрировать эксперимент в затемненном помещении.

## Пиротехника без кислорода\*

Пиротехнические реакции – самое убедительное доказательство могущества химии для подростка. Еще бы: процесс сопровождается искрением, свечением, звуковыми эффектами, а то и взрывом! Однако пиротехника не только зрелищна. Как учебная демонстрация она может быть использована при изучении химизма окислительно-восстановительных процессов.

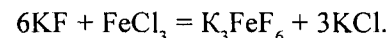
Наиболее распространенные пиротехнические составы обычно содержат вещество, являющееся источником кислорода (нитрат, хлорат, перхлорат и др.), и какой-либо горючий компонент (магний, алюминий, серу, фосфор и др.). Химизм процесса в этом случае сводится к тому, что первый компонент разлагается с выделением кислорода, который затем окисляет горючее. Иногда даже полагают, что чем больше массовая доля кислорода в рабочем веществе, тем эффективнее состав. В том, что это не так, можно убедиться простым сопоставлением, например, хлората и сульфата калия. По содержанию кислорода сульфат (36 %) почти не уступает хлорату (39 %), но практически не проявляет окислительных свойств, в отличие от бертолетовой соли.

Более того, окислителем в пиротехническом процессе может быть вещество, вовсе не содержащее кислород. По сути дела, пиротехнический процесс – окислительно-восстановительная реакция, отличающаяся высокой скоростью и выделением большого количества тепла и света.

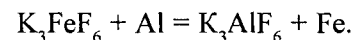
Предлагаемые пиротехнические рецепты интересны тем, что иллюстрируют окислительные свойства бескислородных соединений, а также показывают, какой мощный энергетический потенциал заключен в веществах, которые порой считаются инертными (например, тефлон).

### Состав № 1: смесь гексафторферрата (III) калия и алюминия

Окислителем в этом составе является гексафторферрат (III) калия, который получают при реакции фторида калия с хлоридом железа (III):



Взаимодействие  $\text{K}_3\text{FeF}_6$  с алюминием подобно известному алюмотермическому восстановлению оксида железа (III):



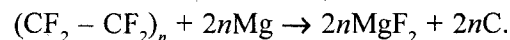
\* Journal of Chemical Education. 1994. № 3. P. 251–252.

Приготавливают гексафторферрат (III) калия следующим образом. В 200 мл воды растворяют 56,5 г (0,6 моля) дигидрата фторида калия ( $\text{KF} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) (в пластиковой емкости). В полученный раствор при постоянном перемешивании тонкой струйкой приливают раствор 27,0 г (0,1 моля) гексагидрата хлорида железа (III) ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) в 100 мл воды. Сразу же выпадает осадок комплексной соли. Смесь еще 10 мин перемешивают, а затем осадок отфильтровывают через четыре слоя фильтровальной бумаги в воронке Бюхнера, промывают тремя порциями воды по 50 мл, двумя порциями 95%-ного этилового спирта по 25 мл и оставляют сушиться на ночь. Затем продукт сушат в сушильной печи при 120 °С в течение суток и осторожно растирают в ступке. Цвет полученного гексафторферрата (III) калия варьируется от белого до желто-бурого. Выход – около 92 % (26,2 г).

Демонстрируют пиротехническую реакцию в следующем порядке. В небольшом бумажном стаканчике пластиковым или деревянным шпателем осторожно смешивают 14,35 г (0,05 моля)  $\text{K}_3\text{FeF}_6$  и 1,35 г (0,05 моля) порошкообразного алюминия. Полученную смесь помещают в стальной тигель на 30 мл и слегка утрамбовывают. Тигель закрепляют в кольце на штативе, под тигель помещают кристаллизатор с песком и в смесь устанавливают запал – магниевую ленту длиной около 8 см. После поджигания запала необходимо отойти на 3 м. Смесь слегка дымит и искрит, содержимое тигля докрасна раскаляется. После остывания смеси в тигле можно обнаружить небольшие округлые зерна железа.

#### Состав № 2: смесь тетрафторэтилена (тефлона) и магния

В этой смеси окислителем служит органическое соединение – тефлон:



В бумажном стаканчике пластиковым или деревянным шпателем осторожно смешивают 5,0 г (0,05 моля) порошкообразного тефлона и 2,43 г (0,1 моля) порошкообразного магния. Качество смешивания не влияет на ход реакции. Дальнейшую подготовку и зажигания смеси проводят так же, как описано выше.

Срабатывание состава сопровождается ослепительной вспышкой, искрением и сильным потрескиванием. Тигель окутывают клубы черного дыма.

*Техника безопасности.* Демонстрацию обеих реакций следует проводить в защитных очках и перчатках вне досягаемости от воспламеняющихся и горючих материалов, по возможности – вне помещения. В тексте указаны минимальные количества реагентов, дающие пиротехнический эффект.

#### Как защитить архивные документы от пожелтения?\*

Пожелтение газетной бумаги – неизбежный процесс образования хромофоров в результате разложения компонентов бумажной массы под действием окружающей среды. Особенно нестойк к окислению лигнин, составляющий до 40 % бумажной массы.

Предлагаем простой способ отбеливания газетных вырезок и документов, пожелтевших от времени. Опыт может быть поставлен в школьной лаборатории (на занятиях химического кружка) или в домашних условиях.

*Реактивы и оборудование:* боргидрид натрия ( $\text{NaBH}_4$ ), насыщенный (0,2%-ный) раствор  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , дистиллированная вода, отрезок пенопласта (например, от упаковочного материала), кювета или поддон, резиновые перчатки.

*Методика эксперимента.* Закрепить газетную вырезку на пенопластовой подложке освещаемой стороной вверх. Поместить подложку в кювету и залить дистиллированной водой. Придавить подложку куском стекла так, чтобы вырезка оказалась в воде. Через 15 мин извлечь подложку из кюветы и слить побуревшую воду. Вновь поместить подложку с вырезкой в кювету и залить 1%-ным отбеливающим раствором  $\text{NaBH}_4$ . Через 15–20 мин слить раствор отбеливателя и промыть вырезку в кювете несколькими сменами дистиллированной воды. Последнее промывание – насыщенным раствором  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

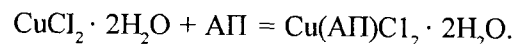
Боргидрид натрия восстанавливает окрашенные хромофором формы в бесцветные и нейтрализует накопленную кислотность бумаги. Известкование бумаги гидроксидом кальция создает буфер, препятствующий дальнейшему накоплению кислотности. Эффективность метода может быть оценена сопоставлением значений pH бумаги до и после отбеливания. В газетных вырезках 14-летней давности удастся понизить кислотность с  $\text{pH} = 4,8$  до  $\text{pH} = 7,4$ . Предложенный метод не рекомендуется использовать для отбеливания образцов бумаги, содержащих надписи цветными чернилами или другими цветными пигментами.

\* Journal of Chemical Education. 1995. № 7. P. 651.

## Демонстрация твердофазной реакции при комнатной температуре\*

Хорошо известно, что твердые вещества могут взаимодействовать при повышенной температуре. Но в некоторых случаях твердофазная реакция при комнатной температуре идет даже быстрее. Для демонстрации этого парадоксального факта мы предлагаем эксперимент, легко осуществимый в школьной лаборатории.

Свежеприготовленный просеянный кристаллогидрат  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и 2-аминопиримидин (АП), взятые в эквимольном соотношении, помещают в небольшую пробирку с пробкой. Реагенты тщательно перемешивают встряхиванием пробирки. Цвет смеси при этом меняется с голубого на желто-зеленый, что указывает на протекание реакции:



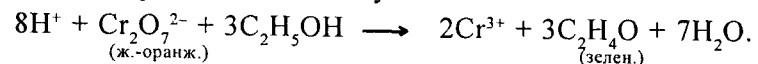
Образование продукта реакции (комплексного соединения меди) особенно наглядно при сравнении с другой пробиркой, содержащей чистый кристаллогидрат.

Для ускорения процесса исходные вещества перетирают 2 мин в ступке. В этом случае все превращение занимает около 15 мин.

## Детектор трезвости (демонстрация окисления спиртов)\*\*

В школьном курсе органической химии окисление спиртов в альдегиды обычно демонстрируют на примере реакции этилового спирта с оксидом меди (II). При погружении в спирт раскаленной медной спирали происходит восстановление меди, образующей на поверхности спирали нежно-розовый налет.

Не менее красивой будет демонстрация окисления спирта в альдегид соединениями шестивалентного хрома. Эта реакция особенно интересна тем, что на ее основе действовали приборы первых поколений для определения трезвости автомобилистов. Если подышать в трубочку, содержащую подкисленный раствор дихромата калия, то при наличии паров этанола в достаточной концентрации происходит восстановление хрома. Окраска раствора в этом случае меняется с желто-оранжевой на зеленую:



\* Journal of Chemical Education. 1996. № 11. P. 1018.

\*\* Journal of Chemical Education. 1996. № 2. P. 135.

На уроке химии можно ограничиться демонстрацией принципа действия прибора. Выполняя лабораторный опыт, учащиеся наливают в пробирку 2–3 мл подкисленного раствора дихромата калия (готовится растворением 2 г  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  и 20 мл концентрированной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в 80 мл дистиллированной воды) и добавляют по каплям около 0,5 мл (примерно 10 капель) этилового спирта, наблюдая изменение окраски раствора. Если опыт проводится как демонстрационный эксперимент, количества реагентов могут быть пропорционально увеличены.

## Демонстрация дегидратации углеводов\*

Явление дегидратации углеводов хорошо известно на примере обугливания сахара под действием концентрированной серной кислоты. Аналогичным образом серная кислота действует и на другие углеводы и углеводсодержащие продукты. Причем скорость протекания реакции и ее внешние признаки в большой степени определяются типом углевода. Поэтому демонстрация этой реакции может послужить не только примером характерного свойства углеводов, но и методом распознавания разных представителей этого класса, а также способом исследования зависимости скорости реакции от природы вещества и условий проведения процесса.

*Методика эксперимента.* В стакан на 400 мл помещают 40 г образца углевода или углеводсодержащего продукта, добавляют 40 мл концентрированной (18 М) серной кислоты и аккуратно размешивают до образования однородной массы. Из соображений безопасности стакан следует установить в чашу с песком. Через некоторое время появляются признаки реакции: смесь приобретает желтоватый оттенок, затем темнеет и становится черной, вслед за этим начинается вспенивание: в стакане образуется пористый углеродистый столб черного цвета. Вспенивание происходит вследствие выделения газообразных продуктов разложения реагентов. По данным химического анализа образующаяся смесь газов содержит около 66 %  $\text{CO}$ , 17 %  $\text{CO}_2$  и 17 %  $\text{SO}_2$  (в случае обугливания сахарозы).

Исследуя зависимость скорости дегидратации от условий протекания реакции, в стакан перед добавлением серной кислоты помещают определенный объем воды (табл. 3).

\* Journal of Chemical Education. 1995. № 10. P. 927–929.

Таблица 3

Кинетические параметры дегидратации углеводов

Исследуемое вещество	Исходная форма	Объем добавленной воды, мл	$t_1$ , с	$t_2$ , с
Сахароза	Гранулят	—	160	180
	Пудра	—	5	12
	Раствор	7,5	10	14
	»	15	1	2
	»	25	1	2
	»	50	2	4
Фруктоза	»	100	—	—
	Пудра	—	11	15
	Раствор	7,5	5	7
	»	15	1	2
	»	25	1	2
	»	50	2	4
Мальтоза	»	100	—	—
	Пудра	—	49	82
	Раствор	7,5	35	37
	»	15	15	17
	»	25	5	7
	»	50	—	—
Лактоза	»	100	—	—
	Пудра	—	71	92
	Раствор	7,5	20	25
	»	15	16	18
	»	25	7	10
	»	50	—	—
Глюкоза	»	100	—	—
	Пудра	—	75	100
	Раствор	7,5	23	25
	»	15	18	22
	»	25	60	70
	»	50	—	—
Декстрин	»	100	—	—
	Порошок	—	56	397
Крахмал	Порошок	—	10	24
Мед	Жидкий	—	9	11
Попкорн	Твердый	—	180–600	—
Мука пшеничная	Порошок	—	16	25
Белый хлеб	—	—	14	96
Спагетти	Порошок	—	60	—

В процессе выполнения опыта фиксируют характерные кинетические параметры реакции:  $t_1$  – время появления первых признаков почернения и  $t_2$  – время, когда высота углеродистого столба достигает отметки 300 мл на стакане.

**Обсуждение результатов.** В табл. 3 приведены результаты, полученные при дегидратации ряда углеводов в разных ситуациях. Параметры  $t_1$  и  $t_2$  довольно индивидуальны для каждого углевода, однако использовать их непосредственно для идентификации разных сахаров затруднительно, так как кинетика реакции во многом определяется исходной формой реагента (гранулят, порошок) и количеством добавляемой воды. Например, в случае сахарозы наибольшая скорость разложения достигается для сахарной пудры, увеличение объема воды сначала повышает скорость реакции, а затем (свыше 50 мл) снижает ее до нуля. Однако если процесс проводить в однотипных условиях, то кинетические характеристики в определенной степени пригодны для распознавания углеводов. К примеру, проводя дегидратацию углевода в растворе с объемом воды 50 мл, можно отличить сахарозу и фруктозу от мальтозы, лактозы и глюкозы. Для первых двух сахаров в этих условиях достигается очень высокая скорость разложения ( $t_1 = 2$  с,  $t_2 = 4$  с), а дегидратация остальных трех в таком количестве воды подавляется.

Таким образом, дегидратация сахаров в качестве учебной демонстрации не только зрелищна и эффектна, но и позволяет сформировать у учащихся навыки экспериментального определения простейших кинетических характеристик и практического приложения результатов эксперимента (для распознавания углеводов).

**Техника безопасности.** Опыт выполняется в защитных очках и резиновых перчатках. Если пена выходит за пределы стакана, необходимо накрыть его сверху большим стаканом. Для нейтрализации остатков кислоты реакционную смесь помещают в большую емкость и обрабатывают небольшими порциями гидрокарбоната натрия (на 40 мл концентрированной серной кислоты – около 121 г пищевой соды).

### Демонстрация синтеза Вёлера\*

Как известно, получив в 1828 г. мочевины нагреванием цианата аммония, Ф. Вёлер доказал возможность небиологического синтеза органических веществ.

\* Journal of Chemical Education. 1996. № 6. P. 539.

Демонстрация этого знаменитого опыта в школьной лаборатории интересна как иллюстрация к одному из важнейших этапов в истории химии. Метод основан на нагревании концентрированных растворов хлорида аммония и цианата калия. Образующаяся при этом мочевины обнаруживается действием раствора щавелевой кислоты (выпадает белый осадок оксалата мочевины).

**Реактивы и оборудование:** твердые  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{KOCN}$ , щавелевая кислота, мочевины; горелка, пробирки.

**Приготовление рабочих растворов:**

*A* – 2 г мочевины в 10 мл воды;

*B* – 1М раствор щавелевой кислоты;

*B* – 2 г  $\text{NH}_4\text{Cl}$  и 3 г  $\text{KOCN}$  в 10 мл воды при перемешивании.

**Методика эксперимента:**

1. Демонстрация метода обнаружения мочевины. К 3–4 мл раствора *B* добавить 2–3 мл раствора *A*. Наблюдать образование осадка кристаллического оксалата мочевины.

2. Демонстрация синтеза Вёлера. 2–3 мл свежеприготовленного раствора *B* нагревать 30–60 с в пламени горелки. Охладить, добавить 3–4 мл раствора *B*. Примерно через полминуты выпадает белый осадок, доказывающий образование мочевины.

3. Контрольный опыт. К 2–3 мл свежеприготовленного раствора *B* добавить 2–3 мл раствора *B*. Осадок не выпадает (возможно небольшое помутнение раствора), что доказывает отсутствие мочевины в исходном растворе.

### Демонстрация получения азокрасителей\*

Класс азокрасителей составляет главную часть промышленного производства синтетических красителей. Метод их получения основан на реакции азосочетания солей диазония с разными азокомпонентами (например, фенолами).

Группа преподавателей из Австралии предлагает простой и эффективный способ получения трех красителей этого ряда в школьной лаборатории, основанный на реакции диазотирования 4-нитроанилина и последующем взаимодействии с фенолами.

В колбу Эрленмейера емкостью 25 мл помещают 50–100 мг 4-нитроанилина, 1 мл концентрированной соляной кислоты и 2 мл воды. Полученный раствор хлорида нитрофениламмония охлаждают льдом и медленно добавляют из капельной воронки раствор нитрита натрия (100 мг на 2 мл воды), следя, чтобы температура не поднималась выше 5 °С. В результате образуется хлорид нитрофенилдиазония (рис. 4).

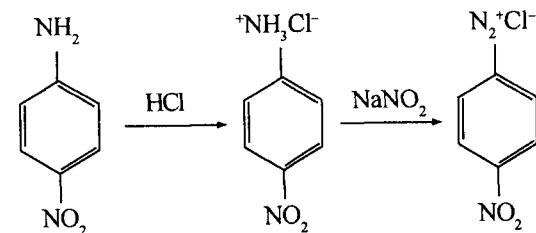


Рис. 4. Получение азокрасителей

Далее в три стакана на 250 мл помещают по 50–100 мг соответственно фенола, нафтола-1 и нафтола-2 и растворяют добавлением 10 мл этилового спирта и 5 мл 2М раствора гидроксида натрия.

При демонстрации получения красителей три стакана с приготовленными растворами устанавливают на стекло эпидиаскопа. В каждый из них добавляют 1–2 капли раствора хлорида нитрофенилдиазония. Образуются красители трех цветов: ярко-красного, синего и фиолетового.

**Техника безопасности.** Все операции с ароматическими аминами и фенолами проводят под вытяжкой и в перчатках.

\* Journal of Chemical Education. 1996. № 6. P. 529.

## Глава 2

### Занимательные и зрелищные опыты по химии

В этой главе собраны описания зрелищно-эффектных опытов, способных увлечь и заинтересовать химией школьников разного возраста. В то же время большинство изложенных здесь экспериментов могут быть использованы в познавательных целях, а их химическое содержание может быть интерпретировано с разной степенью глубины в зависимости от уровня подготовки аудитории. Опыты могут быть рекомендованы для проведения на занятиях химического кружка, на школьных химических вечерах, на уроках пропедевтического курса химии.

#### Секретное послание

Около 1 г кристаллов полиакриламида замочить в воде в течение нескольких часов (еще лучше – оставить на ночь). Водостойким маркером нанести на дне кристаллизатора, химического стакана или другого сосуда с плоским дном короткую надпись (например, «Да здравствует химия!» и т.п.). Надпись закрыть слоем гидратированных кристаллов. Продемонстрировать, что на свету надпись не видна. Осторожно добавить в сосуд воды – надпись проступает.

Эффект объясняется просто: кристаллы полиакриламида имеют очень высокую адсорбирующую способность и поглощают объем воды, в 400–900 раз превосходящий их собственный. В результате они после замачивания на 99 % состоят из воды. Неудивительно, что и показатель преломления у них почти такой же, как у воды. Именно поэтому гидратированные кристаллы полиакриламида при добавлении в сосуд воды становятся невидимыми и не мешают прочтению надписи. Демонстрируя этот опыт, нелишне напомнить зрителям, что полиакриламид совершил настоящую революцию в быту: именно он был использован в качестве адсорбента в памперсах первого поколения.

#### Съедобная свеча

Вырезать из брынзы или картофеля болванку свечи, просверлить в ней отверстие и вставить фитиль, выструганный бритвой из зерен миндаля. Миндальный фитиль способен ярко гореть в течение нескольких секунд при отсутствии сквозняков в помещении.

### Исчезнувшая вода (свойства полиакрилата натрия)

В один из трех непрозрачных сосудов, стоящих на демонстрационном столе, поместить 2,5 г полиакрилата натрия. Начиная демонстрацию, вылить в сосуд с реактивом 200–250 мл воды и несколько раз поменять одинаковые на вид емкости местами. Предложить учащимся определить заполненный сосуд. При попытке вылить содержимое окажется, что ни в одной емкости воды нет, так что не имеет значения, на какой сосуд укажут.

Дождавшись последней неудачной попытки отыскать воду, познакомить аудиторию со свойствами полиакрилата натрия, способного за 5 с абсорбировать до 250 мл жидкости и широко используемого в качестве адсорбента для памперсов благодаря этому свойству.

#### Зубная паста для великанов

Для опыта понадобится 30%-ный раствор пероксида водорода, жидкое мыло и тонкодисперсный йодид калия. Поместить 50 мл  $\text{H}_2\text{O}_2$  в цилиндр объемом 1 л. (При отсутствии большой емкости можно провести опыт в цилиндре емкостью 100 мл, уменьшив объем  $\text{H}_2\text{O}_2$  до 10 мл.) Добавить в цилиндр 5 мл жидкого мыла. Энергично перемешать смесь. Добавить немного йодида калия. В цилиндре тут же образуется гигантская змея из пены, вылезаящая из цилиндра, словно зубная паста из гигантского тюбика.

*Техника безопасности.* Учащиеся часто хотят потрогать пену. Это может быть опасно, так как пена обычно содержит остатки  $\text{H}_2\text{O}_2$ . По этой же причине следует проводить опыт в защитных перчатках.

#### Джинн в бутылке

Для опыта понадобятся раствор пероксида водорода, порошкообразный  $\text{MnO}_2$ , кусочек марли, корковая пробка и 2-литровая бутылка из-под газированной воды. Вырезать из марли квадрат  $5 \times 5$  см. В центр квадрата поместить 1 г (примерно 1/2 чайной ложки) тонкодисперсного  $\text{MnO}_2$  (крупные частицы могут помешать проведению опыта). Собрать марлю с четырех концов и, держа ее одной рукой, другой немного одернуть марлю снизу, чтобы сформировать небольшой мешочек с оксидом марганца. Перевязать мешочек ниткой, а концы марли обрезать. Затем подготовить пробку: сделать на ней узкий вертикальный срез (как показано на рис. 5). Через это отверстие будет удаляться газ, если прибор заработает



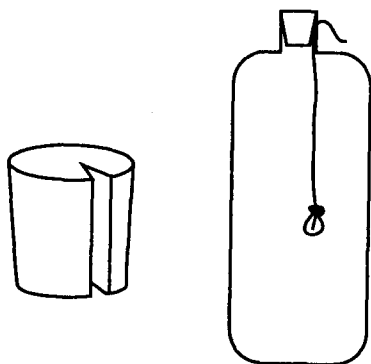


Рис. 5. Джинн в бутылке

появлении джинна, торжественно выдернуть пробку из бутылки. Мешочек с  $MnO_2$  падает в пероксид водорода, катализируя его разложение. При этом образуется большое количество паров воды, мощным потоком выходящих из бутылки. Джинн на свободе! Для большего эффекта можно открыть подряд целую батарею заранее подготовленных бутылок.

### Гвоздика-хамелеон

Для опыта взять четыре одинаковых квадратных отрезка ткани. Положить их один на другой. Сложить пополам и обрезать по линии сгиба острым ножом или бритвой (рис. 6). Полученную 8-слойную заготовку собрать в гармошку с шагом складок 6 мм. Гармошку перехватить в середине проволокой и расправить каждую складку так, чтобы получился макет гвоздики. Пропитать «цветок» 5%-ным раствором фенолфталеина и подсушить. Непосредственно перед демонстрацией опыта «гвоздику» обработать из пульверизатора 5%-ным раствором аммиака. Материал становится ярко-красным. Демонстрируя опыт, подуть на «гвоздику». Она бледнеет и обесцвечивается на глазах.

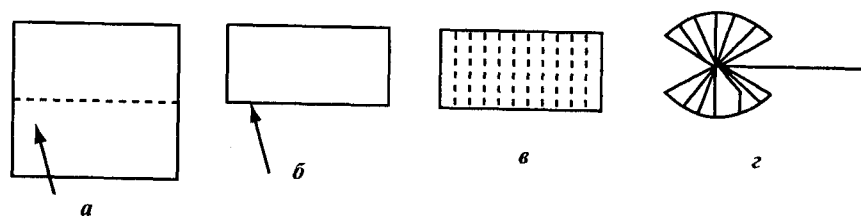


Рис. 6. Гвоздика-хамелеон:

а – сложить пополам; б – обрезать по сгибу; в – сложить в гармошку; г – перехватить проволокой

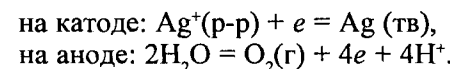
преждевременно (например, если несколько крупинок  $MnO_2$  просыпятся из мешочка). В бутылку налить около 25 мл пероксида водорода, опустить мешочек с  $MnO_2$  и закрепить его пробкой примерно на половине высоты бутылки над раствором  $H_2O_2$ . Свободный конец нити обрезать (собранный прибор показан на рис. 5).

Демонстрируя опыт, следует так установить бутылку, чтобы нить с мешочком были не видны аудитории. Предупредив о предстоящем

Эффект объясняется летучестью аммиака, усиливаемой принудительной циркуляцией воздуха. Кроме того, выдыхаемый воздух обогащен углекислым газом, который в водной среде нейтрализует гидроксид аммония – окраска фенолфталеина исчезает.

### Дерево из серебра

Растворить 0,34 г  $AgNO_3$  в 20 мл воды. Добавить по каплям насыщенный раствор аммиака до выпадения осадка ( $AgOH$ ). Продолжать добавление аммиака при перемешивании до растворения осадка. Образуется 0,1М раствор аммиачного комплекса  $Ag(NH_3)_2^+$ . Поместить раствор в чашку Петри, поставив ее на виду у класса. К клеммам стандартной 9-В батарейки подключить электроды (можно использовать обычную проволоку). Конец положительного электрода погрузить в раствор, а концом отрицательного электрода лишь слегка коснуться поверхности раствора. На катоде начинают на глазах расти длинные дендриты серебра. Еще большего эффекта можно добиться, соединив последовательно две батарейки – увеличив напряжение до 18 В. Таким образом можно вырастить особенно большие «гроздья». Химизм опыта объясняется электродными реакциями:



### Загадочная трубка

Этот опыт моделирует ситуацию «черного ящика». Зрителям демонстрируется прибор, устройства которого они не знают. Анализируя работу прибора, они должны разгадать принцип его устройства. Именно такие умозрительные задачи приходится решать ученым, исследуя невидимые объекты, например атомы.

Для опыта потребуется пластиковая трубка длиной около 60 см, в которой на расстоянии 4 см от каждого из концов просверлить по два сквозных отверстия диаметром 6 мм, а в центре трубки поместить кольцо. По отрезку бечевки, каждый вдвое длиннее трубки, пропустить с разных концов ее через внутреннее кольцо, а концы вывести наружу через просверленные отверстия. Внутреннее устройство собранного прибора показано на рис. 7.

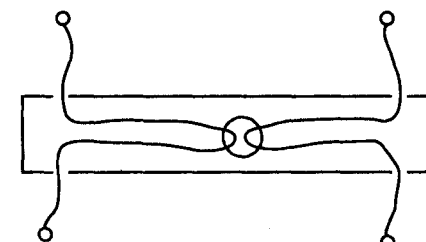


Рис. 7. Загадочная трубка

К концам бечевки, чтобы исключить проскальзывание через отверстия, прикрепить шайбочки разных цветов: к одной – красную и желтую, к другой – синюю и зеленую. Прибор готов к демонстрации.

Напомним, главным в этой демонстрации является то, что зрителям *неизвестно* внутреннее устройство трубки. Поэтому она должна быть либо из непрозрачного пластика, либо покрашена. Зрителям должны быть видны только концы бечевки с разноцветными шайбочками.

Далее зрителям демонстрируется серия манипуляций с трубкой (рис. 8).

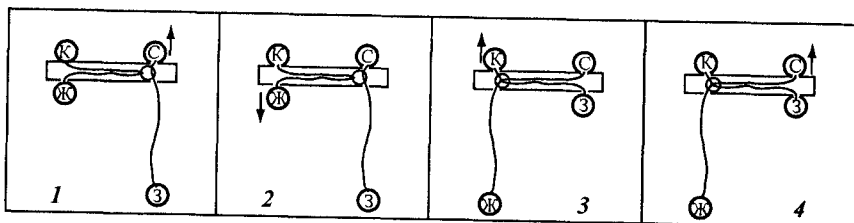


Рис. 8. Манипуляции с загадочной трубкой

1. Держа одной рукой трубку перед собой, потянуть другой за *синюю* шайбочку вверх. Поскольку при этом *зеленая* шайбочка приходит в движение, зрители убеждаются, что синяя и зеленая шайбочки связаны одна с другой. Затем потянуть за зеленую шайбочку вниз до исходного положения.

2. Теперь потянуть вниз за *желтую* шайбочку. При этом опять приходит в движение *зеленая* шайбочка (остальные неподвижны). Получается, что *зеленая* шайбочка связана теперь уже не с *синей*, а с *желтой*.

3. Потянуть вверх за *красную* шайбочку – приходит в движение *желтая*. Значит, на самом деле связаны *красная* и *желтая* шайбочки! Вернуть желтую шайбочку в исходное положение.

4. Потянуть вверх за *синюю* шайбочку. Приходит в движение опять *желтая* (остальные по-прежнему неподвижны). И зрители окончательно запутываются в порядке соединения шайбочек между собой.

Задача зрителей – предложить модель внутреннего устройства трубки, объясняющую возможность продемонстрированных действий (иначе говоря, им нужно догадаться о существовании внутреннего кольца).

## Ядра из углекислого газа

Бутылку из-под пива или воды заполнить горячей водой и положить в нее несколько кубиков сухого льда. Соединить с бутылкой стеклянную воронку посредством резинового шланга и пробки. Для демонстрации опыта придется встать на край кафедры, а еще лучше – стола (рис. 9).

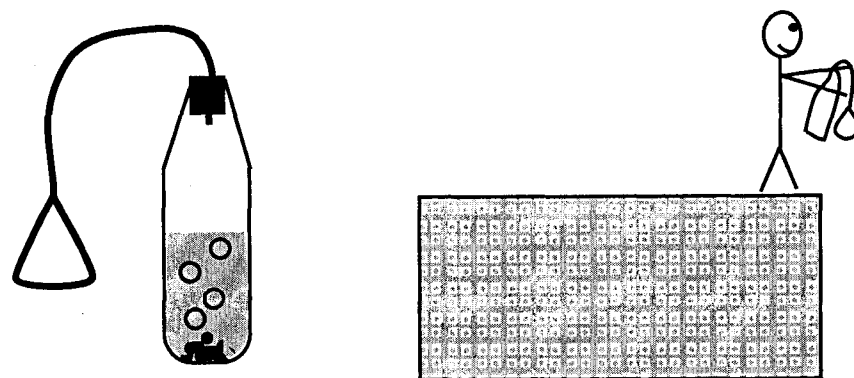


Рис. 9. Ядра из углекислого газа

Вследствие интенсивного испарения  $\text{CO}_2$  из воронки начинают вылезать огромные пузыри, заполненные углекислым газом. При аккуратном стряхивании с воронки они, подобно тяжелым ядрам, падают на пол и разрываются.

## Желтый смерч

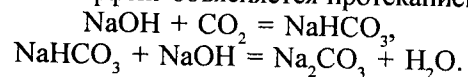
Растворить 1 г  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  (нитрат свинца) в 1 л воды. Заполнить раствором большую емкость (он может храниться годами и использоваться для демонстрации многократно). На дно емкости поместить лопасть магнитной мешалки. Емкость хранить закрытой.

Для демонстрации опыта приготовить 10 мл концентрированного раствора йодида калия. Установить емкость с раствором  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  на магнитную мешалку. Отрегулировать скорость вращения лопасти так, чтобы в растворе создавался небольшой водоворот с размером воронки около 1 см. Пипеткой добавлять в центр воронки раствор йодида калия. В сосуде образуется красивый желтый смерч.

## Расплющивание бутылки в результате реакции нейтрализации

Для опыта потребуется 2-литровая пластиковая бутылка, источник углекислого газа (сухой лед или баллон со сжатым  $\text{CO}_2$ ) и раствор едкого натра концентрацией  $\geq 1 \text{ M}$ .

Заполнить бутылку углекислым газом (можно бросить на дно несколько кусочков сухого льда и дожидаться, пока он испарится). При демонстрации опыта снять с бутылки крышку и добавить 100 мл раствора NaOH. Быстро завернуть крышку и энергично встряхнуть бутылку для увеличения скорости реакции. На глазах учащихся бутылка сжимается. Эффект объясняется протеканием реакций:



В результате поглощения углекислого газа раствором щелочи в сосуде происходит разрежение.

### Обнаружение полярности молекул воды

Закрепить бюретку с водой в штативе на высоте 40–50 см над приемным сосудом. Отрегулировать положение крана так, чтобы вода выливалась из бюретки тонкой струйкой. Зарядить стеклянный или эбонитовый шарик статическим электричеством (например, потерев его о сукно) и поднести к струйке воды примерно на 10 см ниже выходного отверстия бюретки. Наблюдать отклонение струи под действием сил притяжения.

### Катализатор-хамелеон

Опыт демонстрирует обратимое изменение окраски хлорида кобальта, катализирующего окисление сегнетовой соли пероксидом водорода.

В 400-миллилитровом стакане смешать 200 мл 3%-ного раствора  $\text{H}_2\text{O}_2$  с раствором виннокислого натрия-калия (сегнетовой соли). Нагреть смесь до 75 °С, разлить в два стакана (один – контрольный); в отсутствие катализатора окисление идет медленно. Во второй стакан добавить  $\text{CoCl}_2$ : катализатор резко ускоряет реакцию. При этом розовый цвет хлорида кобальта изменяется на зеленый, а по окончании реакции вновь становится розовым.

### Получение и собирание газов по методу Али

Оригинальный газометр может быть сконструирован из пластикового шприца, колпачка и резиновой пробки. Сущность метода Али в том, что газ получается прямо в газометре при взаимодействии двух реагентов: *А* – жидкости и *В* – твердого вещества (такие пары могут быть подобраны для получения многих газов). В правильно собранном газометре реагенты пространственно разделены и смешиваются при получении газа в результате простого встряхивания.

Применительно к получению углекислого газа реагент *А* – уксусная кислота (жидкость), реагент *В* – пищевая сода  $\text{NaHCO}_3$  (твердая).

Газометр собирается следующим образом. (Все операции выполняются в защитных очках.) В колпачок (можно взять крышку от аптечного пузырька, по размерам проходящую в шприц) насыпать до половины пищевой соды. (Указанного количества достаточно для получения примерно 50 мл  $\text{CO}_2$ ; кроме того, колпачок не теряет плавучести при помещении на поверхность жидкости.) Вынуть из шприца поршень и заполнить его водой, закрыв пальцем выходное отверстие. На поверхность воды поместить колпачок с содой (рис. 10, *а*). Регулируя пальцем поток воды, осторожно спустить воду из шприца так, чтобы не опрокинуть колпачок. По мере понижения уровня воды колпачок оседает и в конце концов опускается на дно. В чашку Петри налить реагент *А* – уксус, установить в ней шприц в вертикальном положении, вставить поршень и втянуть в шприц некоторый объем уксуса так, чтобы колпачок начал плавать (рис. 10, *б*). Газометр готов к работе. Для получения газа на дно широкой пластмассовой чашки установить резиновую пробку. Не выпуская содержимого шприца, перенести его в чашку и поставить плотно на пробку в вертикальном положении (рис. 10, *в*).

Встряхнуть шприц, продолжая упираться им в пробку. При встряхивании волна уксусной кислоты попадает в колпачок и вступает в реакцию с гидрокарбонатом натрия. Начинается выделение  $\text{CO}_2$ , давление в шприце растет, и поршень начинает подниматься. Когда

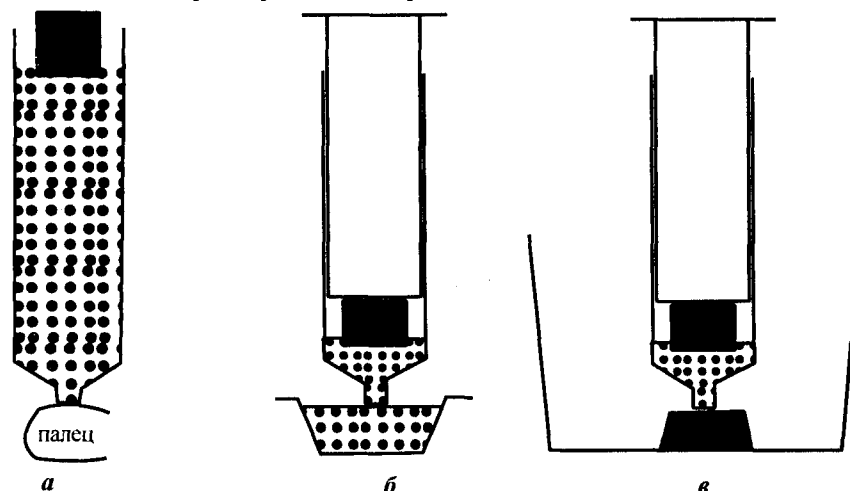


Рис. 10. Собирание газа по методу Али

поршень достигнет отметки 50 мл, приподнять шприц над пробкой и слить остатки уксусной кислоты в чашку. Быстро закрыть выходное отверстие шприца специальным колпачком. Газометр заполнен заданным количеством газа. Теперь для подачи собранного газа надо всего лишь снять защитный колпачок и нажать на поршень. Метод прост в исполнении, но требует известной сноровки. Некоторую трудность поначалу вызывают правильная установка шприца на пробку для получения герметичного уплотнения, а также техника встряхивания для соединения реагентов.

### Электролиз йодида калия в геле

Накануне демонстрации опыта собрать прибор для электролиза: взять стакан на 400 мл, в качестве электродов использовать графитовые стержни или нихромовую (возможно и платиновую) проволочку. В стакане приготовить 1%-ный раствор KI (на 100 мл воды – 1 г KI). Добавить 1 ст. ложку прозрачного желатина или агар-агара. Поместить смесь в холодильник и довести ее до гелеобразной концентрации.

Электроды опустить в стакан так, чтобы они находились у противоположных его краев, но при этом не соприкасались с ними. Наличие желатина в смеси поможет зафиксировать положение электродов.

Начиная демонстрацию, поместить прибор для электролиза на эпидиаскоп. Соединить концы электродов с 9-вольтовой батарейкой при помощи зажимов типа «крокодил». Сразу же начнется выделение водорода и кислорода:

на катоде (восстановление):  $2\text{H}_2\text{O} + 2e = \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$

на аноде (окисление):  $2\text{H}_2\text{O} = 4\text{H}^+ + \text{O}_2 + 4e$

или  $2\text{I}^- (\text{раствор}) = \text{I}_2 + 2e$ .

Через некоторое время после появления первичных признаков реакции процесс выделения газов наберет силу, и на экране эпидиаскопа будут отчетливо видны причудливые дорожки из многочисленных прозрачных пузырьков газов, прокладывающих путь вверх сквозь мутное фиолетовое облако йода.

### «Ручной» газ

250-миллилитровый стакан доверху наполнить раствором фенолфталеина в дистиллированной воде и установить на демонстрационный стол. Рядом поставить сосуд с концентрированным раствором аммиака. Открыть сосуд. Сомкнув ладони перевернутой чашей над сосудом, собирать в нее испаряющийся аммиак. Ладони с собранным аммиаком переместить к стакану с раствором фенолфталеина.

Благодаря диффузии и хорошей растворимости в воде аммиак постепенно перейдет в раствор. Вода в стакане приобретет розовую окраску. Транспортировка газа ладонями и изменение окраски раствора «наложением рук» смотрятся очень эффектно.

### Волшебный ящик

Аккуратно срезать одну из сторон небольшой картонной коробки. На ее место установить лист индикаторной бумаги, предварительно сделав на ней с внутренней стороны надпись липкой лентой или пастелью. Надпись не должна быть видна на просвет. Места стыков листа с коробкой загерметизировать скотчем. В днище коробки вырезать отверстие точно под размер горлышка бутылки с аммиаком. Волшебный ящик (рис. 11) готов!

При демонстрации «волшебных» свойств ящика к отверстию в днище приставить бутылку с концентрированным раствором аммиака. Пары аммиака постепенно заполняют коробку, цвет индикаторной бумаги на свободных от текста участках изменится, и надпись станет видна на просвет.

«Волшебные» свойства ящика после демонстрации не утрачиваются. После проветривания пары аммиака улетучиваются, цвет индикаторной бумаги восстанавливается, и ящик вновь готов к демонстрации.

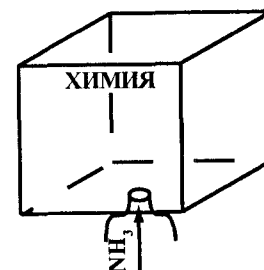


Рис. 11. Волшебный ящик

### Взрыв в консервной банке

Для опыта понадобится цилиндрическая консервная банка с картонными стенками и жестяной крышкой. У основания банки проделать несколько отверстий диаметром карандаша (рис. 12). В центре крышки тоже проделать узкое отверстие диаметром 1 мм (для качественного проведения опыта требуется строго выдержать этот размер). Временно закрыв верхнее отверстие скотчем, через одно из нижних отверстий заполнить банку водородом. По мере наполнения банки легким газом появляется характерный усиливающийся со временем свист. Как только этот

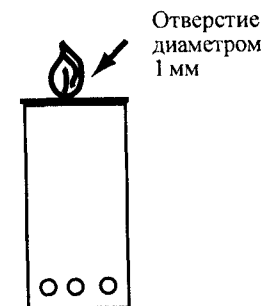


Рис. 12. Взрыв в консервной банке

звук станет равномерным, можно считать, что банка заполнена водородом. (Хранить заполненный прибор нельзя! Демонстрацию следует начинать сразу же после заполнения банки.)

Предупредив аудиторию о предстоящем эффекте и затемнив помещение, снять скотч с верхнего отверстия банки, поджечь струйку водорода и отойти на безопасное расстояние. Некоторое время наблюдается равномерное горение газа (желтоватое пламя), а затем происходит оглушительный взрыв, и банка взмывает в воздух.

Эффект объясняется постепенным образованием в банке гремучей смеси. В отсутствие кислорода водород вообще не горит. На выходе из банки он горит за счет соприкосновения с кислородом воздуха. По мере прогорания водорода в банку через нижние отверстия засасывается воздух. Как только объемное содержание водорода и кислорода в банке достигнет соотношения 2:1, смесь взорвется.

### Горящие шары

Этот опыт удобно проводить вместе с лаборантом. В чашку Петри налить раствор для выдувания мыльных пузырей. Резиновой трубкой соединить стеклянную воронку с газовым краном.

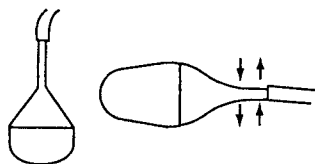


Рис. 13. Горящие шары

Пустить легкий ток метана. Погрузить воронку в мыльный раствор, вынуть и, держа перевернутой, выдуть пузырь. Когда пузырь будет готов оторваться от воронки, повернуть ее горизонтально (рис. 13) и резким движением стряхнуть пузырь, который, отделившись от воронки, начнет мед-

ленно подниматься (метан легче воздуха). Когда он поднимется примерно на 1,8 м от пола, лаборант подносит к нему горящую свечу и поджигает.

### Метановый великан

Для опыта требуются 2-литровая пластиковая бутылка из-под газированной воды, резиновая пробка № 3 с отверстием, стеклянная трубка, резиновый шланг и 3%-ный раствор мыла. Обрезав днище у бутылки, собрать прибор (рис. 14).

Раствор мыла перед демонстрацией тщательно перемешать и залить в бутылку так, чтобы уровень его был на 2 см выше

стеклянной трубки. Подключить шланг к газовому рожку и пустить слабый ток газа. Метан, проходя через раствор мыла, образует мыльные пузыри, которые постепенно вылезают из бутылки. На глазах учащихся постепенно вырастает громадная башня из пузырей. (Для удачного проведения опыта важно правильно отрегулировать ток газа. Если пузыри будут слишком велики, они быстро лопаются, если слишком маленькими –

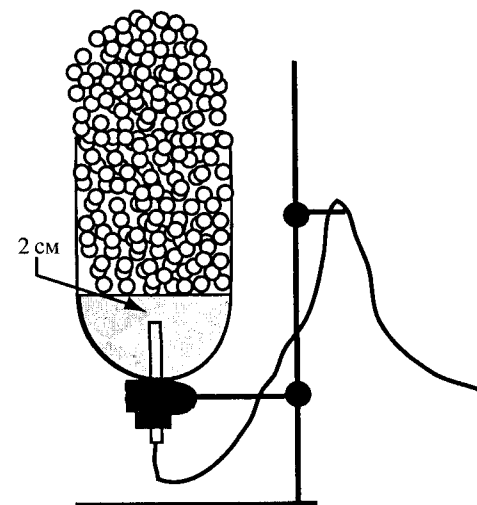


Рис. 14. Метановый великан

сооружение из пузырей оказывается неустойчивым и рушится. Предварительная тренировка позволит воздвигать устойчивые вертикальные колонны из пузырей газа.)

Когда метановый великан достигнет достаточно внушительной высоты (1 м), можно отделить его от бутылки, перехватив у основания влажными пальцами. Поддерживая снизу, можно пройтись с ним по аудитории, а затем заставить его продемонстрировать некоторые трюки. Например, капнув великану на «голову» немного воды, опытный дрессировщик метановых великанов заставит его изогнуться в виде красивой радужной арки, а затем сложиться наподобие громадной змеи и т. д. Необходимо помнить, что при всей послушности великана у него очень крутой нрав (ведь его заполняет горючий газ). Напоследок можно показать аудитории, каков он «в гневе». Отнеся колонну из пузырей в безопасное место, поднести к вершине достаточно длинную(!) горящую лучину. Великан моментально превратится в эффектный огненный шар.

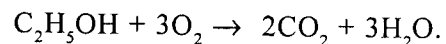
### Реактивный двигатель на спирте

Модель ракеты – 2-литровая пластиковая бутылка. Топливо – спирто-воздушная газовая смесь. Готовится она следующим образом. Содержание кислорода в объеме бутылки следует довести примерно до 50 % (вместо обычного 21 %). (Один из вариантов

обогащения воздуха кислородом: залить в бутылку 5 мл 30%-ного раствора  $\text{H}_2\text{O}_2$ , добавить кристаллик  $\text{MnO}_2$ , дожидаться полного разложения пероксида, остатки жидкости слить.) Затем поместить в бутылку 10 мл этанола, закрыть пробкой и дать 10 мин отстояться. За это время парциальное давление паров спирта достигнет равновесного значения, и в бутылке образуется равновесная смесь воздуха и паров спирта в стехиометрическом отношении. Остатки спирта слить. Бутылку проволоочной петлей прикрепить к длинной веревке. «Ракета» готова к запуску!

При демонстрации снять с бутылки пробку и поджечь длинной лучиной газовую смесь. Произойдет направленный взрыв, и «ракета» взмоет в воздух! Опыт смотрится особенно эффектно, если предварительно затемнить помещение.

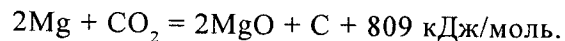
Наблюдаемое явление объясняется реактивным действием паров воды и углекислого газа, образующихся при сгорании спирта:



После приземления «ракеты» можно продемонстрировать признаки проведенной химической реакции: бутылка ощутимо нагрелась, на стенках ее сконденсировалась вода.

### Горение магния в углекислом газе

Для опыта требуются два куска сухого льда. В одном из них – основании высверлить лунку диаметром 4 см и глубиной около 2 см. Второй кусок – крышку обработать так, чтобы он плотно прикрывал углубление. Лунку наполовину заполнить магниевой стружкой. Подготовить запал: магниевую ленту длиной около 15 см свернуть в спираль. Держа спираль пинцетом, поджечь ее конец горелкой, опустить в лунку и сразу же прикрыть крышкой. Затемнить помещение и наблюдать красивую реакцию – горение магния в углекислом газе:



### Танцующее пламя\*

Основа прибора – диск диаметром около 25 см, свободно вращающийся вокруг центральной оси. В частности, прибор может быть собран на базе обычного демонстрационного столика, если

\* Описания этого и предыдущих опытов взяты из «Effective Use of Chemistry Demonstration Program» Брюса Мэтсона (Крейтонский университет, шт. Небраска) и Эдварда Кэбери (Юго-Западный университет, шт. Миннесота).

шарнирное соединение допускает свободное вращение основания столика. По окружности столика следует закрепить прозрачный пластиковый лист так, чтобы образовался полый открытый цилиндр высотой примерно 20 см, дном которого является основание столика.

При демонстрации опыта (рис. 15) в центр столика поместить чашку Петри с песком, пропитанным ацетоном (5 мл). Бросив в цилиндр спичку, поджечь ацетон. Наблюдается равномерное горение с пламенем высотой около 25 см.

Осторожно начать раскручивать столик. Пламя по мере вращения образует причудливые фигуры, и вскоре в цилиндре начинается «зажигательный» танец, в котором сплетаются и возносятся огненные всполохи.

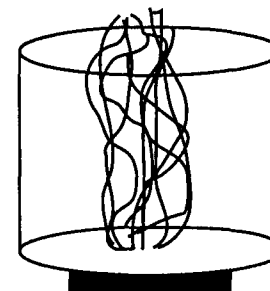


Рис. 15. Танцующее пламя

### Запуск водородной ракеты \*

В основу опыта положена реакция взрыва гремучей смеси. Аппаратурное оформление опыта очень несложно и в то же время делает реакцию особенно эффектной и зрелищной. Для проведения опыта требуются только бытовые реактивы и оборудование, а также гидроксид натрия.

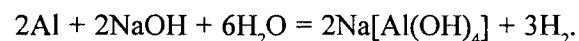
**Реактивы и оборудование:** алюминий (30–40 г, можно использовать обрезки алюминиевой фольги, продуктовой обертки, крышки молочных бутылок), гидроксид натрия (15–20 г); стеклянная бутылка для получения водорода, пластиковое ведро с водой для ее охлаждения, 2-литровая пластиковая бутылка («ракета») и большая банка из-под кофе («стартовая площадка»).

**Методика эксперимента.** С пластиковой бутылки снять этикетку и проделать в дне острым ножом отверстие диаметром 5 см. Заменить пластмассовую крышку металлической (например, с водочной бутылки), в центре последней проделать 2-мм отверстие гвоздем. Отверткой пробить в дне банки из-под кофе несколько широких отверстий, чтобы через них свободно проходил воздух.

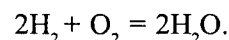
Алюминиевую фольгу измельчить и засыпать в стеклянную бутылку. Туда же поместить твердый гидроксид натрия и добавить полстакана (100 мл) воды. Перемешать смесь, осторожно

\* Journal of Chemical Education. 1995. № 12. P. 1128–1129.

покачивая бутылку. Для предотвращения перегрева поместить бутылку в ведро с водой. Через 1–2 мин пойдет бурная реакция, сопровождаемая резким повышением температуры и выделением водорода:



После начала реакции горлышко бутылки вставить в отверстие в основании «ракеты», предварительно заклеив отверстие в крышечке «ракеты» липкой лентой, чтобы водород, собираясь в пластиковой бутылке, не выходил через него. Примерно через полминуты воздух будет вытеснен, а «ракета» – готова к запуску. Перенести «ракету» в вертикальном положении на «стартовую площадку», снять липкую ленту с отверстия в крышке, поджечь выделяющийся водород и тут же отойти. По мере прогорания водорода через отверстие в днище в «ракету» поступает воздух:



Как только содержание водорода в смеси уменьшится примерно до 74 %, произойдет взрыв и «ракета» взмоет в воздух.

Время от поджигания до старта зависит в основном от величины отверстия в днище «ракеты».

### **Змея из вулкана\***

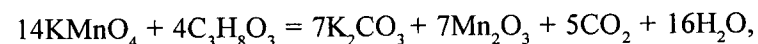
Опыт демонстрирует появление «змей» из «яйца» под слоем «вулканического пепла». В основу опыта положены известные реакции – «вулканчик» и «фараоновы змеи».

*Реактивы и оборудование.* Дихромат аммония (30 г), тиоцианат ртути (II) (10 г), декстрин (1 г), перманганат калия в порошке (1 г), глицерин (несколько капель), дистиллированная вода, огнеупорная подставка.

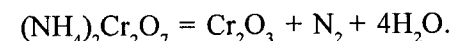
*Методика эксперимента.* Для приготовления «яйца» следует тщательно перемешать шпателем тиоцианат ртути и декстрин, затем, продолжая размешивание, постепенно добавить 4–6 капель дистиллированной воды до получения пастообразной массы (избыток воды делает пасту слишком жидкой). Скатать (в перчатках!) пасту в шарик-«яйцо» и оставить сохнуть на несколько дней.

При демонстрации опыта положить «яйцо» на огнеупорную подставку и засыпать дихроматом аммония так, чтобы над «яйцом» образовалась горка. На вершине сделать ямку, куда на кончике

шпателя поместить перманганат калия. Сверху капнуть несколько капель глицерина (для ускорения реакции глицерин можно подогреть). Через 10–30 с смесь воспламенится вследствие сильноэкзотермической реакции глицерина с марганцовкой:



а затем начнется термическое разложение дихромата аммония («извержение вулкана»):



Через некоторое время после угасания «вулкана» из кучи теплого пепла эффектно выползет «змея» длиной около метра, состоящая из углерода с примесью сульфида ртути.

*Техника безопасности.* Соединения ртути ядовиты. Все операции по приготовлению и манипулированию «яйцом» и остатками «змей» выполняются в перчатках. После опыта помещение хорошо проветрить!

\* Journal of Chemical Education. 1995. № 12. 1995. P. 1128.

## Глава 3

### Химические практикумы

В этой главе даны инструкции к практическим и лабораторным работам по курсам неорганической, органической и общей химии из учебных программ средних школ и колледжей США. Они отличаются от российских аналогов, но интересны тем, что позволяют усилить практическую, прикладную направленность курса химии, развить его экологическую составляющую. В то же время содержание практикумов в основном не выходит за пределы программных школьных требований по химии в России.

#### Занимательная химия с жидким азотом (химический практикум для младших школьников)\*

Вот уже пять лет в муниципальном колледже округа Окленд (штат Мичиган, США) проводят День естественных наук для школьников в возрасте от 6 до 13 лет. Одно из мероприятий этого праздника – однодневный химический практикум, к участию в котором привлекаются учащиеся в возрасте 12–13 лет, только начинающие знакомство с естественными науками, и потому особенно важно сделать для них этот процесс увлекательным. Как показал опыт проведения практикума, при должном контроле со стороны организаторов (как правило, это преподаватели и один–два ассистента) и обязательном инструктаже участников манипуляции с жидким азотом вполне по силам школьникам этого возраста. Зато какие феерические превращения могут быть совершены с его помощью!

Практикум включает шесть опытов, которые учащиеся выполняют в группах по два человека. По мере выполнения опытов они записывают свои наблюдения и отвечают на вопросы преподавателя. Всем участникам мероприятия выдаются:

- бланк отчета о проделанной работе;
- инструкция по технике безопасности;

– инструкции о порядке выполнения работ (в том числе иллюстрации, поясняющие устройство приборов и сущность некоторых физико-химических явлений);

– словарь основных химических понятий (участники практикума еще не имеют никакого химического образования).

Перед началом опытов проводится инструктаж по технике безопасности. Учащимся выдаются защитные очки и 300-миллилитровый стакан для жидкого азота (один на группу) в пенопластовом подстаканнике. Отрабатывается техника переливания жидкого азота (ребята учатся держать пробирки с жидким азотом бумажным полотенцем) и заодно обсуждаются его свойства. (В лаборатории жидкий азот хранят в сосудах Дьюара.)

#### Опыт 1, в котором происходят только физические явления

Каждой группе участников выдается образец жидкого азота. Их задача – наблюдать за его поведением и ответить на вопросы преподавателя.

От контакта с теплым стаканом жидкий азот начинает кипеть. В верхней части стакана образуется белый налет, а над ним – легкий туман. Вид кипящей жидкости однозначно ассоциируется у ребят с кипящей водой и вызывает иллюзию высокой температуры в стакане.

**Вопрос 1.** *Какова реальная температура в стакане?* (Ответ сразу же сменяет иллюзию жары ощущением ледящего холода.)

**Вопрос 2.** *Что представляют собою белый налет и туман?* Ребята выдвигают свои версии, в частности предполагая, что это соответственно иней и водяной пар. (Попутно обсуждается состав воздуха.) Ребята узнают, что такие предположения в науке принято называть *гипотезами*.

**Вопрос 3.** *Как можно проверить гипотезу о том, что белый налет и туман – это вода в разных агрегатных состояниях?* При обсуждении следует подвести ребят к мысли, что идентифицировать вещество можно по его свойствам. Например, соскрести со стакана немного белого налета, измерить температуру его плавления и сравнить с температурой плавления льда. Таким образом они знакомятся с простейшими методами химического анализа.

\* Journal of Chemical Education. 1996. № 7. P. 651–653.



## **Опыт 2. в котором вода обнаруживает свои необычные свойства**

Одно из интереснейших свойств воды — увеличение ее объема при замерзании. Знакомясь с этим явлением, ребята наливают в пробирку (примерно до половины) воду и отмечают ее уровень полоской скотча. Затем осторожно опускают пробирку в стакан с жидким азотом (бумажное полотенце!) и оставляют ее там на минуту. Вода быстро замерзает и поднимается на несколько миллиметров над зафиксированным уровнем. Достав пробирку из стакана и обнаружив изменение объема, ребята записывают разницу в тетрадь.

**Вопрос 1.** *Что такое объем вещества и что означает его увеличение?* Сам по себе факт расширения вещества при охлаждении не является для младших школьников удивительным. Они ведь еще не знают, что должно быть наоборот. Зато следующий эксперимент, в котором мы вновь сталкиваемся с тем же свойством воды, уже никого не оставит равнодушным. Ребята погружают в жидкий азот живой цветок (например, гвоздику), а достав его, обнаруживают, что он стал хрупким как стекло!

**Вопрос 2.** *Какое вещество, содержащееся в лепестках цветка, могло увеличиться в объеме и стать хрупким при температуре жидкого азота?* Сделанные в опыте наблюдения мы связываем со знакомыми явлениями. Например, присутствующая в клетках человека вода при замерзании тоже увеличивается в объеме, что может привести к разрыву тканей. То же самое происходит в клетках однолетних растений при заморозках. И наконец, это же свойство воды является причиной растрескивания дорожных покрытий зимой.

## **Опыт 3. в котором получают всего одну каплю, но зато какую!**

В этом опыте учащимся предоставляется редкая возможность наблюдать жидкий кислород.

Ребята осторожно опускают в стакан с жидким азотом две пустые пробирки и оставляют их там на 5 мин. Пока пробирки охлаждаются, проводим с ребятами небольшую беседу.

**Вопрос 1.** *Можно ли считать пробирку абсолютно пустой?* Выясняем, что пробирка наполнена воздухом, и попутно вспоминаем, что в его состав входят азот, кислород, углекислый газ и влага. Достав одну из пробирок из стакана, ребята обнаруживают на дне каплю жидкости красивого голубого цвета и фиксируют в отчете ее окраску и время, требующееся до полного ее исчезновения (к сожалению, образующийся на стенках пробирки иней затрудняет наблюдения).

**Вопрос 2.** *Какая жидкость образовалась в пробирке?* Как правило, ребята предполагают, что это вода. Чтобы рассеять это заблуждение, напоминаем им о поведении воды в жидком азоте в предыдущем опыте. В итоге приходится предположить самое невероятное — перед нами жидкий кислород! Для пояснения этого парадоксального факта предлагаем ребятам рассмотреть схемы, на которых показано, что все различия между газообразным и конденсированным состоянием вещества заключаются в порядке расположения молекул.

## **Опыт 4. в котором происходят превращения веществ**

До сих пор мы рассматривали только физические явления. Теперь же ученикам предлагается провести несложную химическую реакцию.

Достав из стакана с жидким азотом вторую пробирку и дав ей слегка нагреться, вносим в нее горящую лучинку. Жидкий кислород, сконцентрировавшийся на дне пробирки, успевает частично испариться, образовав в нижней части пробирки слой воздуха, обогащенного кислородом. Лучинка в нем разгорается. Ребята записывают наблюдения.

Обсуждая результаты опыта, подчеркиваем разницу между физическими и химическими явлениями. Если при физических явлениях изменяется только расположение молекул, то при горении лучинки изменяется внутреннее строение молекул, составляющие их атомы образуют новые комбинации. Поясняем это иллюстрациями, изображающими устройство молекул исходных веществ (кислорода и метана, которым для ясности рисунка заменяем целлюлозу) и продуктов реакции (углекислого газа и воды).

В заключение ребята подносят горящую лучинку к горловине стакана с жидким азотом и убеждаются, что азот, в отличие от кислорода, не поддерживает горения — лучинка гаснет.

## **Опыт 5. в котором воздушный шарик то увеличивается, то уменьшается**

Выполняя опыт, ребята надувают воздушный шарик до размеров средней величины эксикатора, плотно завязывают его и помещают в эксикатор.

**Вопрос 1.** *Какие газы (назовите не менее трех) наполняют шарик?* Затем шарик охлаждают, поливая небольшими (по 5 мл) порциями жидкого азота через короткие промежутки времени. Когда объем шарика ощутимо уменьшится, охлаждение прекращают. Нагреваясь, он опять увеличивается в объеме.

Вопрос 2. С чем связано изменение объема шарика? Обсуждая опыт, приходим к выводу о взаимосвязи объема и температуры газа. Этот вывод является развивающим содержанием опыта, но ребят в нем увлекает, конечно, внешняя сторона. Они готовы повторять его без конца, каждый раз удивляясь тому, что, не теряя воздуха, шарик то уменьшается, то увеличивается в размерах.

### Опыт 6, в котором получают лимонное мороженое

Этот опыт приводит ребят в восторг, особенно когда они узнают, что полученное мороженое можно будет попробовать.

Для приготовления мороженого требуются 2 л молока, 3 стакана сахара, 1,5 стакана свежесжатого лимонного сока и 1 ст. ложка цедры. Все это, кроме сока, смешивается в деревянной кружке, затем туда же выливают сок и медленно, при перемешивании добавляют 3 л жидкого азота. (Опыт выполняет преподаватель. Во избежание попадания загрязнений используют новый сосуд Дьюара.)

Мороженое получается мягкое, воздушное и очень холодное. Через 3–4 мин ребята с удовольствием съедают по стаканчику.

Этот опыт наполняет их столь горячей любовью к жидкому азоту, что уходить из лаборатории они уже не хотят. Однако программа практикума исчерпана. На память всем участникам выдают почетные дипломы следующего содержания: «Настоящий диплом выдан ученику(це) (указываются фамилия, имя) в подтверждение того, что он(а) успешно освоил(а) курс магии с использованием жидкого азота, не отморозив себе при этом ушей, носа и других частей тела, и направляется для дальнейшего обучения волшебным законам химии».

### Семь превращений в одной пробирке (обобщающий эксперимент по общей химии с микроколичествами реактивов)\*

Оригинальный химический эксперимент по свойствам металлов побочных подгрупп разработан на основе методики Дианы Эпп, преподавателя химии из США. Особенность методики – проведение серии последовательных превращений соединений исследуемого элемента в одной и той же пробирке. Для каждого опыта реактивы берутся в микроколичествах, поэтому суммарный объем использованных растворов по завершении серии не превышает 1/8 пробирки.

\* Journal of Chemical Education. 1995. № 6. P. 545–546.

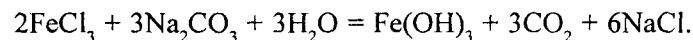
Набор необходимого оборудования также минимален: пробирка, пипетка, емкости с реагентами.

Каждая серия превращений охватывает широкий круг химических явлений и закономерностей, исследуя их на примере соединений металлов побочных подгрупп (в том числе условия протекания реакций ионного обмена, кислотно-основное равновесие, гидролиз, окислительно-восстановительные реакции, комплексообразование). Таким образом, предлагаемый эксперимент – прекрасное средство обобщения материала по курсу общей химии, к тому же наглядное, интересное и простое в исполнении.

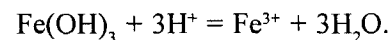
Форму проведения эксперимента выбирает учитель. Это может быть и демонстрационный эксперимент, и лабораторный опыт, и практическая работа. Последний вариант, с нашей точки зрения, предпочтителен.

### Первая серия: превращения иона железа

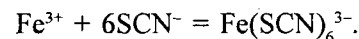
**Методика эксперимента.** В пробирку помещают 30 капель 0,1М раствора  $\text{FeCl}_3$  и пять капель 2М раствора  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . В результате образования нестойкой кислоты и нерастворимого гидроксида железа происходит необратимый гидролиз соли:



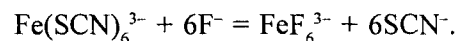
К полученному осадку кирпично-красного цвета добавляют семь капель 3М раствора  $\text{HCl}$ . В результате связывания оставшихся карбонат-ионов и растворения осадка раствор становится прозрачным:



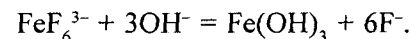
Добавление четырех капель 0,05М раствора  $\text{KSCN}$  приводит к окрашиванию раствора в кроваво-красный цвет вследствие образования комплексного иона:



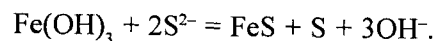
При добавлении 20 капель 1М раствора  $\text{NaF}$  раствор обесцвечивается вследствие образования более стабильного фторидного комплекса:



Последующее добавление 10 капель 1М раствора  $\text{NaOH}$  разрушает комплексный ион и приводит к выпадению кирпично-красного осадка:

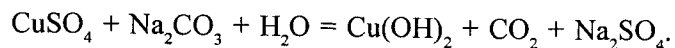


При добавлении к полученному раствору двух капель 1М раствора  $\text{Na}_2\text{S}$  трехвалентное железо восстанавливается в двухвалентное, переходит из одной осажденной формы (гидроксид) в другую – более прочную (сульфид). В пробирке образуется осадок черного цвета:

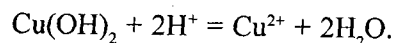


### Вторая серия: превращения иона меди

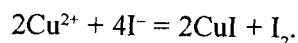
*Методика эксперимента.* В пробирку помещают стартовый раствор – 20 капель 0,1М раствора  $\text{CuSO}_4$ . При добавлении 10 капель 0,2М раствора  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  происходит необратимый гидролиз и образуется осадок синего цвета:



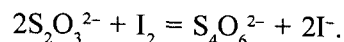
Далее 5 капель 1М раствора  $\text{HCl}$  приводят к растворению выпавшего осадка:



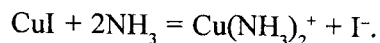
Добавление в пробирку пяти капель 1М раствора  $\text{KI}$  восстанавливает  $\text{Cu}^{2+}$  в  $\text{Cu}^+$  и вызывает образование осадка коричневого цвета – смеси белого йодида меди I и свободного йода:



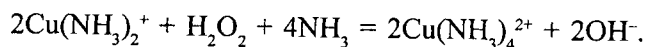
Еще одна окислительно-восстановительная реакция происходит при помещении в образовавшийся раствор пяти капель 1М раствора  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ . Тиосульфат натрия связывает свободный йод, в результате чего цвет осадка становится белым – это оставшийся  $\text{CuI}$ :



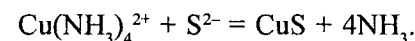
При добавлении 20 капель 3М раствора  $\text{NH}_3$  осадок растворяется вследствие образования бесцветного комплексного соединения меди:



Добавление одной капли 3%-ного раствора пероксида водорода вновь окисляет  $\text{Cu}^+$  в  $\text{Cu}^{2+}$  и приводит к окрашиванию раствора в глубокий синий цвет вследствие образования окрашенного комплекса  $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ :



Наконец, добавление четырех капель 0,5М раствора  $\text{Na}_2\text{S}$  приводит к разрушению комплекса вследствие образования черного осадка  $\text{CuS}$  с очень низким произведением растворимости:



Рекомендованные концентрации и количества реагентов подобраны экспериментально, но могут потребовать некоторой корректировки в зависимости от условий хранения и чистоты реактивов.

В зависимости от подготовленности учеников и целей, которые ставит учитель, обсуждение результатов эксперимента можно дифференцировать в очень широком диапазоне. Например, рассмотренные серии превращений могут быть использованы на занятиях химического кружка в начальной стадии изучения химии. В этом случае следует ограничиться эффектной внешней частью эксперимента. Резкие и многочисленные изменения окраски раствора при добавлении всего нескольких капель реагентов всегда вызывают у ребят интерес.

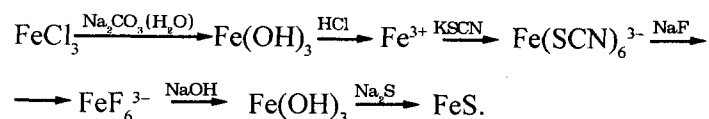
В старших профильных классах результаты эксперимента могут стать поводом обсудить интересные физико-химические явления, такие, например, как природа окраски раствора. Один и тот же ион (например,  $\text{Fe}^{3+}$ ) придает соединениям разные окраски по мере изменения связанных с ним анионов.

Кроме того, каждая серия превращений является еще и иллюстрацией термодинамической стабильности образующихся соединений. Как известно, реакции в растворах идут в направлении связывания ионов. По мере добавления в пробирку все новых и новых реагентов в растворе накапливается пестрая смесь ионов, из которых исследуемые ионы железа или меди каждый раз «выбирают» анион, образующий наиболее устойчивое соединение. Таким образом, каждое последующее соединение в разобранных сериях превращений стабильнее в растворе, чем предыдущее, независимо от сущности протекающей при его образовании реакции.

Наконец, в классах базового уровня подготовки рассмотренный эксперимент может послужить, как уже говорилось, средством обобщения материала по курсу общей химии, поскольку позволяет в едином экспериментальном цикле затронуть целый спектр явлений (окислительно-восстановительные реакции, гидролиз, реакции ионного обмена, комплексообразование, особенности металлов побочных подгрупп и др.). Ниже приведены варианты инструкций и контрольные вопросы к разработанной нами практической работе. (Молекулярные уравнения реакций в данной работе, как правило, не записываются ввиду большого числа разных ионов, присутствующих в растворе.)

### В а р и а н т: превращения иона железа

Предлагается проследить за поведением иона железа в разных системах, осуществив следующие превращения:



(Все опыты выполняются последовательно в одной пробирке.)

1. Поместите в пробирку 30 капель раствора  $\text{FeCl}_3$ . Добавьте пять капель раствора  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Запишите уравнение реакции гидролиза.

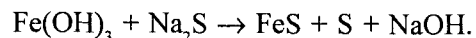
2. Добавьте к выпавшему осадку  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  семь капель раствора  $\text{HCl}$  до растворения осадка. Запишите ионное уравнение реакции.

3. В полученный раствор, содержащий ионы  $\text{Fe}^{3+}$ , добавьте четыре капли раствора роданида калия  $\text{KSCN}$ . При этом ион  $\text{Fe}^{3+}$  превращается в комплексный ион  $[\text{Fe}^{3+}(\text{SCN})_6]^{3-}$ . Запишите ионное уравнение этой реакции.

4. В полученный раствор добавьте 20 капель раствора  $\text{NaF}$ . При этом происходит обмен: комплексный ион  $\text{Fe}(\text{SCN})_6^{3-}$ , окрашивающий раствор в красный цвет, превращается в более устойчивый комплексный ион  $\text{FeF}_6^{3-}$  (раствор становится бесцветным). Запишите ионное уравнение этой реакции обмена.

5. В полученный раствор добавьте 10 капель раствора  $\text{NaOH}$ . При этом комплексный ион  $\text{FeF}_6^{3-}$  разрушается, образуя кирпичного цвета осадок  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Запишите ионное уравнение этой реакции обмена.

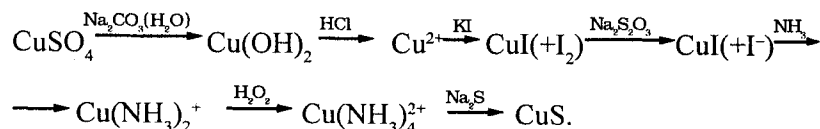
6. В полученный раствор добавьте 10 капель раствора  $\text{Na}_2\text{S}$ . При этом ионы  $\text{Fe}^{3+}$  восстанавливаются до  $\text{Fe}^{2+}$ :



Подберите коэффициенты для этого уравнения методом электронного баланса, запишите ионное уравнение.

### В а р и а н т: превращения иона меди

Предлагается проследить за поведением иона меди в разных системах, осуществив следующие превращения:

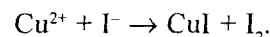


(Все опыты выполняются последовательно в одной пробирке.)

1. Поместите в пробирку 20 капель раствора  $\text{CuSO}_4$ . Добавьте 10 капель раствора  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Запишите уравнение гидролиза.

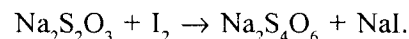
2. Добавьте к образовавшемуся осадку  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  пять капель раствора  $\text{HCl}$  до растворения осадка. Запишите ионное уравнение реакции.

3. В полученный раствор, содержащий ионы  $\text{Cu}^{2+}$ , добавьте пять капель раствора  $\text{KI}$ . При этом ионы меди восстанавливаются в  $\text{Cu}^+$ , образуя белый осадок  $\text{CuI}$ , и выделяется свободный йод бурого цвета:



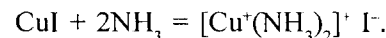
Подберите коэффициенты для этого ионного уравнения методом электронного баланса.

4. Добавьте в полученный раствор пять капель раствора тиосульфата натрия  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  для удаления свободного йода. В растворе остается белый осадок  $\text{CuI}$ :



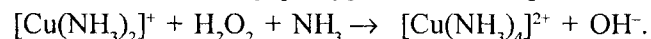
Расставьте коэффициенты и запишите сокращенное ионное уравнение этой реакции.

5. Добавьте в раствор 20 капель раствора аммиака. При этом осадок  $\text{CuI}$  растворяется, образуя бесцветное комплексное соединение меди:



Запишите сокращенное ионное уравнение этой реакции.

6. Добавьте в раствор каплю раствора пероксида водорода. При этом ион  $\text{Cu}^+$  вновь окислится до  $\text{Cu}^{2+}$ , образуя окрашенное комплексное соединение. В ионной форме уравнение этой реакции:



Подберите коэффициенты для этого ионного уравнения методом электронного баланса.

7. Добавьте в полученный раствор четыре капли раствора  $\text{Na}_2\text{S}$ . При этом комплексное соединение разрушается вследствие образования осадка  $\text{CuS}$ . Попробуйте записать ионное уравнение этой реакции.

## Экологический практикум

### 1. Обнаружение свинца в предметах обихода\*

Это одна из лабораторных работ, предлагаемых студентам колледжа Сан Джоз (штат Калифорния, США), имеющая ярко выраженную практическую направленность. Она проста в исполнении

\*Journal of Chemical Education. 1996. V.73. № 7. P. 669–670.



(где хромовая кислота используется в качестве антикоррозионного средства), а также некоторые бытовые химикаты (красители, чернила, пищевые консерванты, фунгициды). Допустимый уровень содержания  $\text{Cr}^{6+}$  в воде составляет 50 мкг/л (здесь и дальше указаны нормативы, принятые в США), однако реально он редко превышает 3 мкг/л даже в сточных водах промышленных предприятий.

Предлагаемую лабораторную работу поставила Мэри Херрманн – преподавательница химии из штата Огайо (США) с целью ознакомления учащихся с экологическим мониторингом на примере определения содержания хрома в сточных водах и способами нейтрализации его токсического действия. Метод определения – визуальный колориметрический анализ, основанный на цветной реакции между соединениями  $\text{Cr}^{6+}$  и дифенилкарбазидом.

#### Реактивы и оборудование:

стандартный раствор  $\text{Cr}^{6+}$  с концентрацией 1 мг/л (готовится растворением 3,6 мг  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  и 10 мл концентрированной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в 500 мл дистиллированной воды с последующим доведением объема раствора до 1 л);

образец искусственно загрязненной воды (100 мл стандартного раствора  $\text{Cr}^{6+}$  на 1 л дистиллированной воды);

раствор дифенилкарбазида (0,5 г на 200 мл ацетона);

раствор аскорбиновой кислоты (0,2 г на 100 мл дистиллированной воды);

0,18M раствор серной кислоты (готовится растворением 10 мл концентрированной серной кислоты в 500 мл дистиллированной воды с последующим доведением объема раствора до 1 л);

3M раствор серной кислоты (готовится растворением 42 мл серной кислоты в 150 мл дистиллированной воды с последующим доведением объема раствора до 250 мл);

мерная пипетка на 0,5 мл;

измерительный цилиндр на 10 мл.

**Методика определения.** Для приготовления эталонных растворов в шесть пробирок с № 0, 1, 2, 3, 4, 5 вводят соответственно 0; 0,4; 1,0; 2,0; 4,0; 10,0 мл стандартного раствора хрома и 10; 9,6; 9,0; 8,0; 6,0; 0 мл 0,18M раствора серной кислоты. Пробирки закрывают пробками и тщательно перемешивают встряхиванием. Затем в каждую пробирку добавляют пипеткой точно по 0,5 мл раствора дифенилкарбазида. Вновь встряхивают и дают постоять 5 мин для развития окраски.

При наличии спектрофотометра можно измерить оптическую плотность эталонных растворов на длине волны 540 нм и построить градуировочную кривую. Однако определить содержание хрома можно и визуальным сравнением окраски исследуемого раствора с эталонными.

Выполняя анализ, учащиеся помещают в пробирку 10 мл исследуемого образца воды, добавляют 12 капель 3M раствора серной кислоты, 0,5 мл раствора дифенилкарбазида (пипеткой) и дают постоять 5 мин для развития окраски. Содержания хрома в обычной водопроводной воде недостаточно для обнаружения данным методом, поэтому в качестве исследуемых образцов воды учащимся предлагают искусственно загрязненную воду с заранее известной концентрацией  $\text{Cr}^{6+}$ . Затем интенсивность окраски раствора сравнивают на глаз с эталонными растворами (№ 0, 1, 2, 3, 4, 5) и определяют примерное содержание хрома.

**Методика нейтрализации загрязнителя.** В работе предусмотрено знакомство учащихся с двумя промышленными методами нейтрализации шестивалентного хрома.

Первый метод – разбавление загрязненной воды до допустимой концентрации. Учащимся предлагается решить задачу. Допустим, промышленное предприятие осуществляет сброс 100 л воды, загрязненной  $\text{Cr}^{6+}$ , концентрация которого была измерена экспериментально в первой части работы. Необходимо определить, какой объем чистой воды потребуется, чтобы понизить концентрацию хрома до допустимого уровня (50 мкг/л) методом разбавления.

Второй метод – восстановление  $\text{Cr}^{6+}$  в  $\text{Cr}^{3+}$ . Трехвалентный хром гораздо менее токсичен, его допустимая концентрация 1 мг/л. Учащиеся добавляют к образцу искусственно загрязненной воды 5 капель раствора аскорбиновой кислоты (восстановитель), тщательно перемешивают раствор и вновь определяют содержание  $\text{Cr}^{6+}$ . Затем сравнивают исходную и конечную концентрации загрязнителя и определяют эффективность нейтрализации.

**Сценарий деловой игры.** Анализ образцов воды на содержание хрома можно включить в сценарий деловой игры с экологическим содержанием. Один из вариантов таков. В санэпидемстанцию города N поступает сигнал, что одно из предприятий, расположенных у реки, несанкционированно сбросило в реку сточные воды с повышенным содержанием хрома. Необходимо определить предприятие-нарушителя. Схема прибрежной территории с указанием расположенных на ней предприятий прилагается (рис. 16).



Рис. 16. Схема зараженного участка

Для выполнения поставленной задачи учащиеся класса образуют несколько исследовательских групп, каждая из которых осуществляет забор пробы воды в одной из контрольных точек 1–6 вдоль зараженного участка (см. рис. 16) и определяет содержание хрома по описанной ранее методике. (Образцы воды для отбора проб заранее готовятся учителем и выставляются в классе в пронумерованных емкостях. Можно предложить такой состав образцов: № 1 и № 2 – 500 мл водопроводной воды; № 3 – 250 мл стандартного раствора  $\text{Cr}^{6+}$  и 250 мл воды; № 4 – 150 мл стандартного раствора  $\text{Cr}^{6+}$  и 350 мл воды; № 5 и № 6 – 100 мл стандартного раствора  $\text{Cr}^{6+}$  и 400 мл воды.) Затем результаты анализа наносятся на карту и по динамике вымывания хрома определяется предприятие-нарушитель.

### 3. Исследование токсичности бытовых веществ\*

Цель учебного эксперимента, разработанного учителями химии штата Вашингтон (США), – исследование токсического действия на живые организмы бытовых веществ. По ходу работы учащиеся проводят опыты над беспозвоночными животными – дафниями, подвергая их воздействию алкоголя, никотина, кофе и ряда лекарственных препаратов. Наблюдая за поведением дафний, учащиеся определяют степень токсичности веществ, их минимальную токсическую концентрацию и характер токсического действия.

Помимо развития общеучебных и специальных (лабораторных) навыков данная работа позволяет расширить валеологические знания учащихся. В самом деле, всем известно об опасности никотина и алкоголя для здоровья человека. И тем не менее мировое потребление табака и алкоголя от этого не снижается. Зато возможность увидеть своими глазами результаты воздействия этих веществ на живое существо (дафнию) может остановить в будущем от злоупотребления алкоголем и курением. Важно и то, что в процессе эксперимента становится понятно, что в определенной дозировке даже безвредные вещества (кофе, лекарства) могут быть опасны.

Выполнение работы не требует специальных знаний по химии или биологии, и потому исследование может быть проведено учащимися любой возрастной группы.

#### Содержание работы

Опыты проводятся над беспозвоночными раками – дафниями, обитающими в большинстве непроточных водоемов. Дафний можно также приобрести на биологических станциях. Физиологическое

строение этих беспозвоночных позволяет наблюдать за сокращениями сердца, что особенно важно для выявления характера действия веществ на организм.

В работе исследуются токсичности кофе, столового вина (например, хереса), димедрола, аспирина и жевательного табака. В силу того, что дафния – водоплавающее животное, для опытов нужны не сами вещества, а их растворы.

Работа выполняется в группах по четыре–пять человек. Каждая исследует токсичность одного из веществ.

Приготовление растворов:

- 1) кофе – крепкий свежесваренный;
- 2) аспирин – растворить таблетку (500 мг) в 10 мл воды;
- 3) димедрол – растворить 1 капсулу в 10 мл воды;
- 4) столовое вино – неразбавленное;
- 5) жевательный табак – смешать 1 г с 10 мл теплой воды и взбалтывать до тех пор, пока раствор не приобретет янтарный оттенок.

#### Порядок работы

В пять пробирок, содержащих примерно по 10 мл прудовой воды, помещают по одной дафнии. Из мерной пипетки в первые четыре пробирки добавляют один из исследуемых растворов в количестве 1, 2, 3 и 4 капли соответственно. Пятая пробирка является контрольной: в ней дафния, на которую не оказывается воздействия, остается здоровой на протяжении всего эксперимента. Если эта дафния умирает, то полученные данные считаются недостоверными.

Каждая группа учащихся постоянно наблюдает за поведением подопытных животных. Один учащийся фиксирует видимые изменения в движениях беспозвоночного, двое других следят за изменением сердечного ритма и движения жабер. Все результаты записываются четким почерком учеником. Обычно жевательный табак даже в малых дозах приводит к быстрой гибели дафнии. Столовое вино вначале замедляет сердечный ритм, а при увеличении концентрации вызывает смерть. Аспирин и димедрол приводят к летальному исходу только в больших дозах. Кофе лишь ускоряет сердечный ритм, не приводя к смерти.

#### Обсуждение результатов

Важнейшей развивающей частью работы является обсуждение полученных экспериментально результатов. Можно провести его в форме дискуссии.

Вопрос 1. *Что является активным компонентом в каждом из исследуемых веществ?* По сути аспирин, димедрол, кофе, столовое вино и жевательный табак являются не индивидуальными веществами, а смесями. Логично предположить, что в состав этих смесей

\* Journal of Chemical Education. 1995. № 1. P. 49–50.

входит некий активный компонент, который и влияет на дафнию. Обычно принято считать активными компонентами те вещества, которые указаны в табл. 4.

Таблица 4

Активные компоненты веществ

Исследуемое вещество	Активный компонент	Содержание активного компонента в исследуемом веществе	Концентрация в первой пробирке, мг/мл	LD <sub>50</sub> для крыс, г/кг живой массы
Аспирин	Ацетилсалициловая кислота	500 мг/таблетка	0,25	1,5
Димедрол	Диметиламиноэтилового эфира бензогидрола гидрохлорид	50 мг/таблетка	0,03	0,5
Жевательный табак	Никотин	3 мас. %	0,01	0,23
Кофе	Кофеин	106 мг в 100-мл чашке кофе	0,005	0,13
Столовое вино (херес)	Этанол	17 об. %	0,7	10,6

Но существует вероятность того, что рачки восприимчивы к каким-то другим токсичным компонентам. Для проверки этого предположения можно предложить каждой группе провести контрольный эксперимент, взяв исследуемое вещество без активного компонента (например, безалкогольное пиво, кофе без кофеина, табак с пониженным содержанием никотина). Если активный компонент, указанный в табл. 4, в самом деле токсичен, то смесь, лишенная его, не воздействует пагубно на дафнию.

В о п р о с 2. Почему одни вещества токсичнее других? Это может быть объяснено с двух позиций: либо активный компонент содержится в высокой концентрации, либо это вещество сильнодействующее, т. е. опасно для дафнии даже в малой дозе.

В табл. 4 указана концентрация активного компонента в пробирке, куда была помещена лишь одна капля тестируемого вещества. Если необходимо определить концентрацию в других пробирках, достаточно умножить число капель на значение, указанное в табл. 4 для данного вещества. Используя табличные данные, учащиеся рассчитывают минимальную токсическую концентрацию (МТК), т. е. минимальное количество активного компонента в растворе, при котором дафния погибает. Результаты расчетов представляются в виде диаграммы, обобщающей работу всех групп (рис. 17).

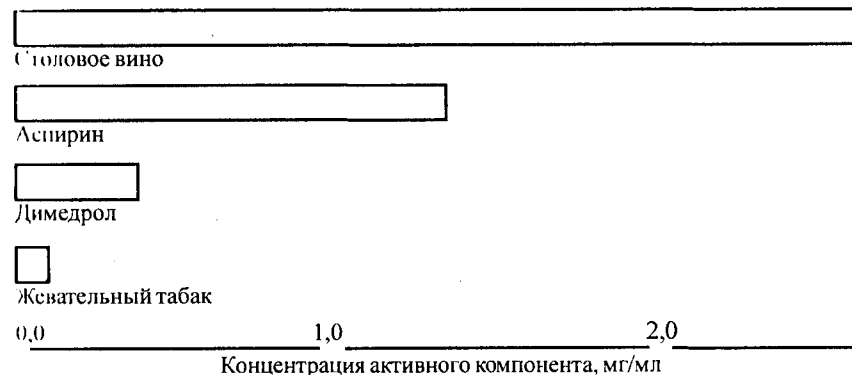


Рис. 17. Диаграмма минимальных токсических концентраций для дафний

Из диаграммы видно, что исследуемые вещества по возрастанию токсичности располагаются в следующем порядке: этанол, ацетилсалициловая кислота, димедрол, никотин. Кофеин не токсичен для дафнии даже в больших концентрациях.

В о п р о с 3. Можно ли утверждать, что токсичные для дафнии вещества токсичны и для человека?

Для ответа на этот вопрос необходимо учесть два факта: во-первых, дафния плавает в растворе исследуемого вещества, а следовательно, соприкасается с ним всей поверхностью своего тела, тогда как в организм человека оно поступает через рот или через кожный покров. Во-вторых, эксперимент над рачками кратковременный, а значит, исключена возможность развития болезней, связанных с длительным употреблением тестируемого вещества.

Принимая во внимание, что физиологическое строение дафнии и человека различны, можно лишь предполагать, что токсичные для дафнии вещества окажутся токсичными и для нас. Поэтому интересно сопоставить экспериментально полученные результаты для дафний с данными о токсичности тех же веществ для более близких к человеку млекопитающих, например крыс. Оценить токсичность можно по величине, указанной в табл. 4, LD<sub>50</sub> – дозе токсичного вещества, летальной для 50 % общего числа крыс, подвергнутых его воздействию. Статистика летальности определяется спустя неделю после введения токсичного вещества. Летальная доза (LD<sub>50</sub>) показывает, насколько сильнодействующим является вещество: чем ниже доза, тем токсичнее вещество.

Основываясь на табличных значениях летальной дозы для млекопитающих, учащиеся могут расположить испытуемые вещества по возрастанию LD<sub>50</sub> в следующий ряд: кофеин, никотин, димедрол, ацетилсалициловая кислота, этанол. Поскольку в опыте с дафнией



фиксируется аналогичная активность веществ, то ясно, что все испытываемые вещества действуют на млекопитающих и на дафний одинаково. Единственное расхождение наблюдается для кофеина, который менее токсичен для дафнии, чем для млекопитающих.

Заканчивая обсуждение результатов работы, следует еще раз напомнить учащимся об опасности употребления сильнодействующих препаратов и о соблюдении умеренности в употреблении даже безобидных на первый взгляд веществ. Яд от лекарства отличает только доза, говорил еще в XVI в. выдающийся естествоиспытатель и врач Парацельс.

### Синтез этилсалицилата из аспирина\*

Синтез этилсалицилата (этилового эфира салициловой кислоты) из таблеток аспирина – типовая лабораторная работа, предлагаемая старшеклассникам и студентам колледжей США при изучении курса органической химии. Выполняя эту работу, учащиеся знакомятся на практике с многостадийным органическим синтезом, реакциями гидролиза и этерификации.

Методика, разработанная в университете Дрексела (Филадельфия, штат Пенсильвания, США), позволяет обойтись простейшим лабораторным оборудованием и бытовыми химикатами. Весь синтез (включая операции выделения и очистки) занимает 3–4 академических часа и может быть выполнен в несколько этапов.

**Реактивы:** аспирин (в таблетках), соляная кислота (20%-ная), этанол (100%-ный), борная кислота, гидроксид натрия, сульфат магния (безводный).

#### Порядок работы

**Этап 1.** Гидролиз АСК (ацетилсалициловой кислоты) (рис. 18)

Для выполнения работы лучше брать аспирин российского производства, поскольку импортный аспирин помимо активного компонента содержит разные наполнители (крахмал, клетчатку и др.).

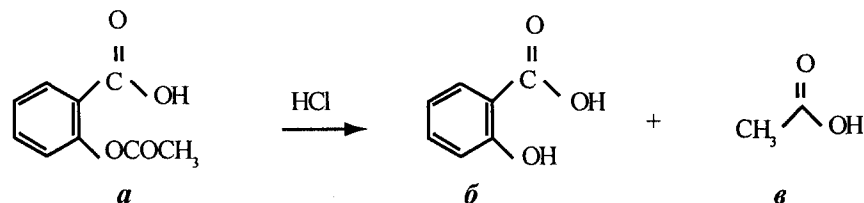


Рис. 18. Гидролиз АСК: а – ацетилсалициловая, б – салициловая, в – уксусная кислоты

\* Journal of Chemical Education. 1996. № 2. Р. 173–175.

10 г ацетилсалициловой кислоты (20 таблеток по 0,5 г предварительно измельчить) и 100 мл 20%-ной соляной кислоты поместить в коническую 250-миллилитровую колбу. Установить колбу на электроплитку и нагревать 30 мин при 50–60 °С (не выше), периодически встряхивая для перемешивания содержимого. Окончание процесса фиксируется по появлению запаха уксуса и загустению смеси. Продолжать нагревание еще 10 мин, затем снять колбу с плитки. После охлаждения добавить 100 мл холодной воды и отфильтровать смесь. Оставшиеся в фильтре кристаллы салициловой кислоты промыть несколькими порциями холодной воды по 10 мл для удаления следов уксусной кислоты и высушить. (При наличии в водопроводной воде ионов железа возможно появление фиолетового окрашивания вследствие образования комплексного соединения с салициловой кислотой.)

**Этап 2.** Синтез этилсалицилата из салициловой кислоты и этанола (рис. 19)

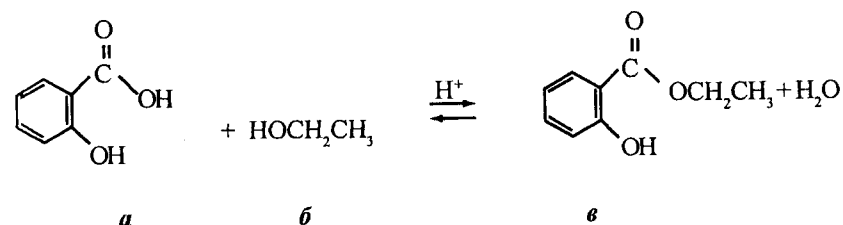
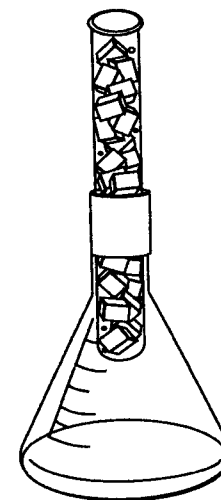


Рис. 19. Синтез этилсалицилата (в) из салициловой кислоты (а) и этанола (б)

Полученную на первом этапе салициловую кислоту (6–7 г) поместить в 250-миллилитровую коническую колбу, добавить 12 мл этилового спирта (100 %), 0,5 г борной кислоты (более доступный катализатор, чем серная кислота) и два-три кусочка пемзы для равномерного кипения. Закрыть колбу обратным холодильником, в качестве которого можно использовать обычную широкую пробирку, заполненную кусочками льда и вставленную в горловину колбы (рис. 20). Пробирка закрепляется скотчем так, чтобы в месте соединения остались неплотности для выхода излишка газа. В процессе эксплуатации прибора следует заменять пробирки по мере таяния

Рис. 20. Вертикальный холодильник-пробирка



льда. Установить колбу на электроплитку и нагревать при постоянном кипении смеси. Для полной этерификации салициловой кислоты требуется около 6 ч, однако уже спустя полтора часа достигается выход порядка 50 %.

### Этап 3. Очистка и выделение эфира

После охлаждения перелить полученную смесь в большую пробирку, добавить 10 мл 2М раствора гидроксида натрия (для нейтрализации катализатора) и дать смеси отстояться. Эфир собирается на дне пробирки (плотность 1,1 г/мл). Отделить его можно с помощью делительной воронки либо отсосав верхний слой пипеткой или шприцем. Высушить эфир безводным сульфатом магния. Измерив объем полученного этилсалицилата и зная его плотность, можно предложить учащимся вычислить долю выхода продукта. Обычно из 10 г аспирина удается получить около 3 мл этилсалицилата, обладающего приятным ароматом грушанки.

### Экстракция кофеина из чайных листьев\*

Типовая лабораторная работа, предлагаемая студентам нехимических колледжей США при ознакомлении с составом природных продуктов, рассчитана на три академических часа, не требует сложного оборудования и позволяет получить красивый кристаллический кофеин.

*Сущность метода.* Экстракция кофеина дихлорметаном (ДХМ) с последующим испарением растворителя. При использовании чистого ДХМ выход продукта очень мал, так как слабощелочной по своей природе кофеин образует с дубильными кислотами (танинами) труднорастворимую соль. Лучший результат получается при использовании смеси ДХМ и раствора едкого натра, способствующего гидролизу указанной соли.

*Порядок работы.* 2 г чайных листьев (пакетик порционного чая Lipton Yellow Label) поместить в 50-миллилитровую коническую колбу, добавить 15 мл ДХМ и 5 мл 0,5М раствора NaOH. Закрыть пробкой и хорошо (7 мин) размешать магнитной мешалкой (200 об/мин). Отделить слой ДХМ всасывающим фильтрованием через 3 г абсорбента Целит 545. Листья промыть 15 мл ДХМ. Весь ДХМ с растворенными веществами перенести в 50-миллиметровую круглодонную колбу и упаривать на водяной бане (при 25–30 °С) до сухого остатка при вращении колбы. Полученные неочищенные кристаллы имеют коричневатую окраску.

Очищают кофеин в следующей последовательности. К полученному кофеину добавить две порции по 0,5 мл смеси гексана и диэтилового эфира (соотношение 1:1). Большинство примесей растворимо в этой смеси, а кофеин – нет. Слой растворителя с примесями отсосать пипеткой и удалить в сосуд для отходов. Очищенный кофеин имеет зеленоватую окраску. Для более полной очистки растворить кофеин в 1 мл ДХМ и раствор отфильтровать в пробирку. Колбу промыть двумя порциями по 0,5 мл ДХМ и отфильтровать в ту же пробирку. Удалить растворитель на водяной бане (60 °С, вытяжной шкаф). Сухой остаток растворить в кипящем пропанол-2 (примерно 0,8 мл), раствор охладить до комнатной температуры. Добавить 0,8 мл гексана и промыть 1 мл смеси гексана и диэтилового эфира (1:1). В пробирке осаждаются бесцветные игольчатые кристаллы кофеина. Из 2 г чайных листьев удается извлечь 20–30 мг чистого кофеина.

*Модификация метода.* Учитывая токсичность ДХМ (канцероген), Мюррей, Хансен и Хамп предлагают использовать в качестве экстрагирующего агента пропанол-1. После растворения кофеина в пропанол-1 к смеси добавляют 10%-ный водный раствор NaOH для извлечения танинов. Затем смесь осушают безводным  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и упаривают. Полученный кофеин даже без последующей очистки имеет красивую желтую окраску.

\* Journal of Chemical Education. 1996. № 6. P. 556–557; № 12. P. 1172.

## Глава 4

### Обучение химии методом аналогий

В этой главе собран уникальный методический материал, демонстрирующий, как можно просто и доходчиво, используя метод аналогий, объяснить сложные химические понятия.

Аналогии особенно эффективны при изучении тех разделов курса химии, которые не могут быть проиллюстрированы экспериментами и требуют развитого абстрактного мышления. В этих случаях аналогии – единственный способ сделать учебный материал доступным для определенных категорий учащихся. Ниже приведены примеры использования аналогий из опыта работы учителей химии США и Канады.

#### Отношения между людьми как модель состояния вещества\*

Вещества в твердом, жидком и газообразном агрегатных состояниях отличаются по своему поведению. Твердые вещества и жидкости несжимаемы, жидкости и газы текучи, твердые тела обладают формой и т.д. Для понимания этих различий необходимо представить субмикроскопическое строение вещества в разных агрегатных состояниях. Это можно сделать с помощью ряда аналогий, уподобив строение вещества некоторым ситуациям в отношениях между людьми. Для простоты будем сначала рассматривать только вещества молекулярного строения.

##### а) Армейская дисциплина (твердые вещества)

Представим себе строй солдат (рис. 21), в котором за каждым солдатом закреплено постоянное место. Это место солдат обязан сохранять и при построении, и при движении. Самовольное перемещение внутри строя запрещается, возможно только движение всей колонной. Аналогично устроены твердые вещества, имеющие кристаллическую решетку. Молекулы в них занимают четко установленные места в уз-

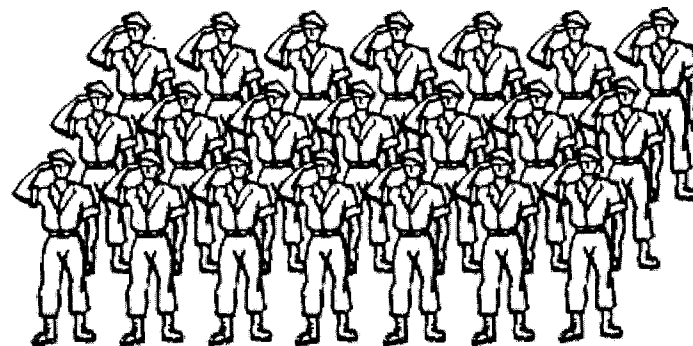


Рис. 21. Армейская дисциплина  
(аналогия твердого агрегатного состояния):

расстояние между молекулами мало; структура жестко связана; молекулы расположены упорядоченно; хаотическое движение отсутствует

лах кристаллической решетки, расстояния между молекулами минимальны, хаотическое движение молекул практически отсутствует. Одним словом, порядок и дисциплина.

##### б) Дружеская вечеринка (жидкости)

Представим себе дружескую вечеринку, проходящую в довольно тесном банкетном зале (рис. 22). Приглашенные ведут себя по-разному: кто-то танцует, кто-то ходит, кто-то спокойно беседует с друзьями. Каждый из присутствующих может относительно свободно перемещаться, но в целом движение ограничено размерами банкетного зала. Кроме того, гостей довольно много и надо все время оглядываться,

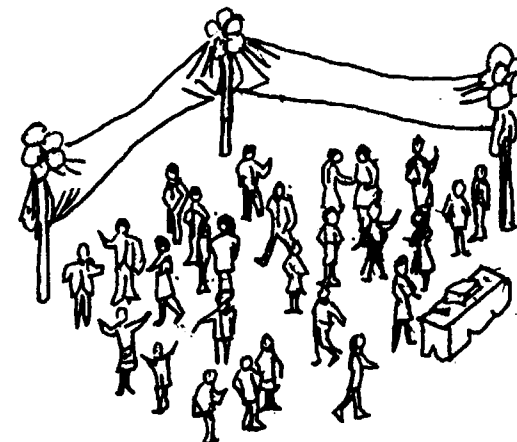


Рис. 22. Дружеская вечеринка  
(аналогия жидкого агрегатного состояния):

расстояние между молекулами мало; структура обладает текучестью; степень упорядоченности меньше; хаотическое движение молекул выражено слабо

\* Journal of Chemical Education. 1993. № 1. P. 57–58.

чтобы не толкнуть кого-нибудь под локоть или не наступить на ногу. Расстановка людей на площади зала все время изменяется: кто-то отходит к стойке бара, кто-то начинает новый танец. Хотя люди всю развлекаются, но если посмотреть на зал сверху, то возникнет впечатление их спокойного «перетекания» по помещению. Если добавить горячительных напитков, то, возможно, движение станет более интенсивным. Эта картина аналогична строению жидкостей: в расположении молекул нет четкой упорядоченности, хотя они располагаются очень близко одни к другим, хаотическое движение молекул есть, но выражено довольно слабо. Жидкости несжимаемы. В самом деле, предложите участникам вечеринки (см. рис. 22) перейти в помещение, в два раза меньшее, — они наверняка откажутся: и так тесно!

### в) Футбольный матч (газы)

На футбольном поле (рис. 23) достаточно пространства для маневров — длинных рывков, обводок, сложных многоходовых комбинаций. Поведение футболистов аналогично поведению молекул газов: они довольно независимо и быстро перемещаются, расстояния между молекулами велики, обеспечивая большую длину свободного пробега. Если команда проигрывает, ее игроки, как правило, начинают двигаться живее. Аналогично молекулы газов движутся быстрее при нагревании.

Необходимо обратить внимание учащихся на ограниченность предложенных аналогий. Так, в твердых телах и жидкостях практически нет пространства между образующими их частицами, в отличие от расположения людей на рис. 21 и 22. Кроме того, необходимо указать на то, что на этих рисунках изображены разные количества вещества. В противном случае, увидев, что количество людей (т. е. молекул) меняется от картинке к картинке, учащиеся могут подумать, что при переходе вещества из одного агрегатного состояния в другое нарушается закон сохранения вещества.

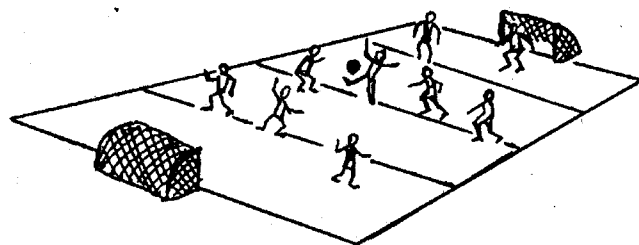


Рис. 23. Футбольный матч  
(аналогия газообразного состояния вещества):  
расстояние между молекулами велико; подвижность молекул велика;  
упорядоченность в расположении отсутствует

### г) Типы кристаллических тел

Твердые вещества с кристаллическими решетками разных типов можно представить следующими аналогиями.

Известно, например, что у веществ с молекулярным строением в узлах кристаллической решетки находятся молекулы с прочными ковалентными связями между атомами. В то же время отдельные молекулы взаимосвязаны гораздо слабее (диполь-дипольное, индукционное взаимодействие, водородные связи), что делает молекулярный кристалл довольно непрочным. Можно уподобить эту структуру группе семейных пар (рис. 24). В каждой паре супругов связывают прочные узы брака (подобно прочной связи атомов внутри молекулы), а вот отношения между парами носят гораздо более поверхностный характер: они могут дружить семьями, испытывать друг к другу дружеские чувства, но довольно свободно могут обойтись и друг без друга.

Гораздо более прочным является ионный кристалл, в узлах решетки которого расположены разноименно заряженные ионы, удерживаемые силами электростатического притяжения. Уподобим эту структуру группе расположенных в шахматном порядке мужчин и женщин (рис. 25). Пусть мужчины символизируют катионы, а женщины — анионы. Тогда каждый человек оказывается в зоне действия обаяния окружающих его представителей противоположного пола, к которым он (она) в силу закона притяжения противоположностей испытывает интерес. Интерес этот одинаково выражен во всех направлениях, поскольку на рисунке — холостые мужчины и незамужние женщины. Таким и объясняется повышенная прочность ионного кристалла.



Рис. 24. Группа супружеских пар  
(аналогия молекулярного кристалла)

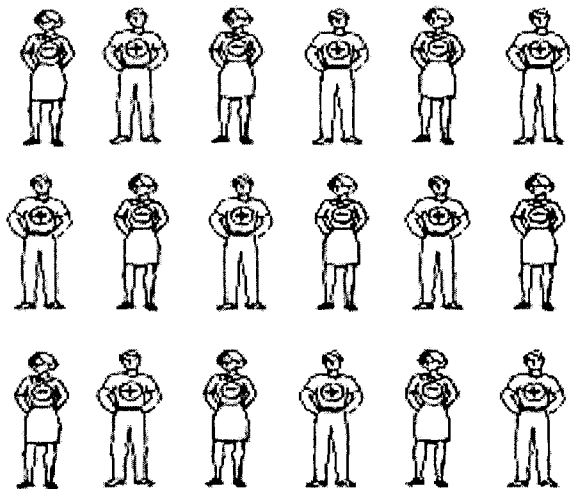


Рис. 25. Романтическая сила влечения  
(аналогия ионного кристалла)

В узлах атомной кристаллической решетки находятся атомы, связанные прочными ковалентными связями в протяженную пространственную сеть. В этом случае структура отличается таким внутренним единством, что можно сказать, что весь кристалл представляет одну молекулу. Вещества с таким типом строения, как правило, плавятся при более высоких температурах, чем ионные соединения. Примеры: алмаз, кварц, кремний и др. Аналогией атомного кристалла является гимнастическая пирамида (рис. 26).

Каждый гимнаст на ней символизирует атом углерода, связанный четырьмя ковалентными связями с соседними атомами. Целостность структуры поддерживается исключительно благодаря усилиям каждого из гимнастов. Таким образом, зависимость людей друг от друга в этой ситуации больше, чем на любом из предыдущих рисунков (это и является аналогией повышенной прочности атомного кристалла). Пирамида (см. рис. 26) демонстрирует также высокую взаимосвязанность узлов атомной кристаллической решетки: стоит одному из гимнастов ослабить только одну связку, и вся структура может рухнуть. Этот пример иллюстрирует важную особенность веществ с атомным строением: будучи тугоплавкими и очень твердыми, они в то же время отличаются хрупкостью.

Для иллюстрации строения металлов в твердом состоянии найдена особенно экстравагантная аналогия. Группа мужчин (рис. 27) изображает катионы металлов (узлы металлической кристаллической решетки). Все пространство между ними заполнено летающими

пчелами (это, понятно, свободные электроны). Рисунок убедительно иллюстрирует силы, удерживающие одноименно заряженные катионы в узлах решетки: при всем желании деваться некуда — всюду пчелы!

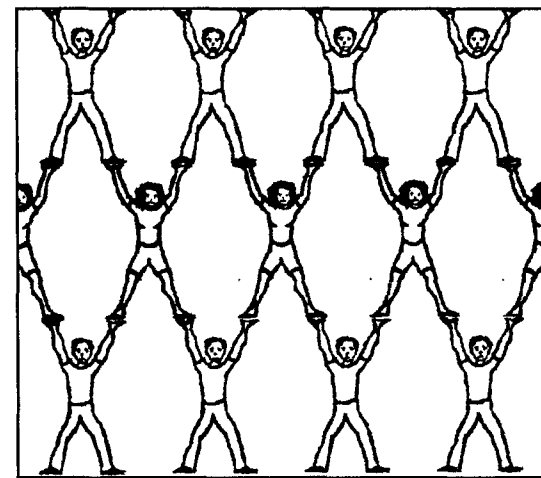


Рис. 26. Гимнастическая пирамида  
(аналогия атомного кристалла)

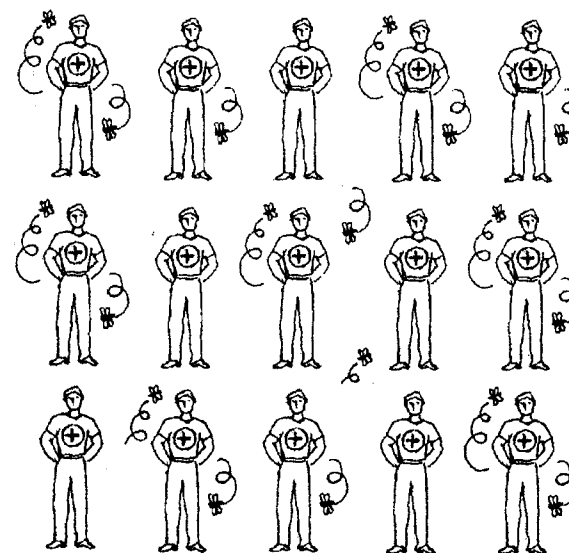


Рис. 27. Среди пчел  
(аналогия структуры металла)

## Автодром как модель химического взаимодействия

Ряд понятий химической кинетики можно объяснить, используя следующую аналогию.

Уподобим некоторый замкнутый объем, где идет химическая реакция, автодрому, по которому хаотически движутся автомобили-молекулы. Для бимолекулярной реакции актом взаимодействия является столкновение двух молекул. Чем больше столкновений происходит в единицу времени, тем больше скорость реакции. Сравнивая рис. 28, а и 28, б, нетрудно сообразить, что чем больше машин находится на автодроме (чем больше концентрация машин), тем больше вероятность столкновений между ними. Аналогично при повышении концентрации реагирующих веществ увеличивается число актов взаимодействия, т. е. скорость реакции.

Влияние на скорость реакции еще одного фактора – температуры – легко уяснить, сравнивая рис. 29, а и 29, б. Увеличение температуры повышает скорость движения молекул, что аналогично повышению скорости движения автомобилей на автодроме. Понятно, что при этом растет частота столкновений, т. е. скорость химической реакции.

А как объяснить, что не любые столкновения молекул являются результативными? В химической кинетике принято говорить о так называемых активных соударениях, в результате которых

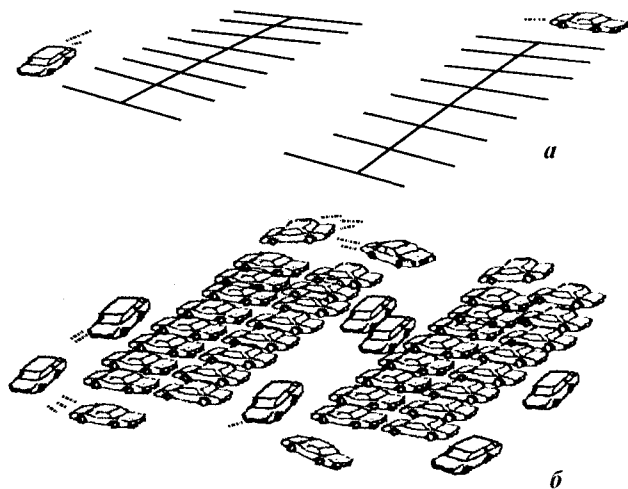


Рис. 28. Низкая концентрация – вероятность столкновений мала (а), большая – велика (б)

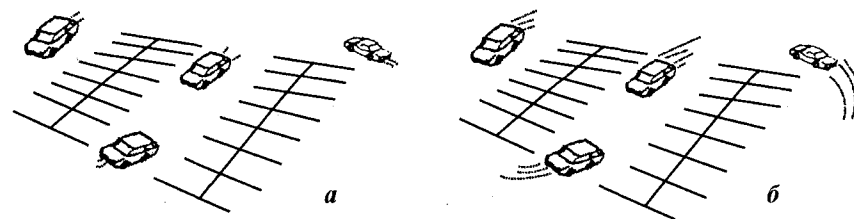


Рис. 29. Низкая скорость (температура) – частота столкновений мала (а), высокая – велика (б)

происходит разрыв связей в реагирующих частицах. Будем считать активным такое столкновение машин на автодроме, в результате которого часть бампера одного автомобиля остается на бампере другого (рис. 30). Очевидно, это может произойти,

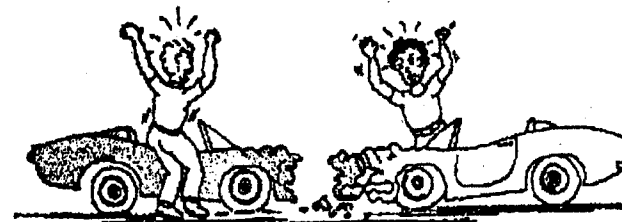


Рис. 30. Активное соударение

только если сила удара превышает некоторую пороговую величину, которая будет аналогией энергии активации. Понятно также, что соударение может быть активным только при лобовом столкновении автомобилей. Это позволяет объяснить влияние на скорость реакции пространственных факторов, в частности ориентации молекул при столкновении.

## Рождение детей как модель реакции первого порядка\*

Для реакций первого порядка полупериод реакции (т. е. время, за которое расходуется половина взятого вещества) является величиной постоянной и не зависит от исходного количества вещества (концентрации). Этот факт обычно с трудом воспринимается учащимися. И в самом деле, довольно трудно поверить в то, что полтонны вещества расходуется за то же время, что и полграмма. Для объяснения воспользуемся следующей аналогией. Одна супружеская пара способна произвести на свет ребенка за 9 месяцев.

\* Journal of Chemical Education. 1994. № 10. P. 848–849.

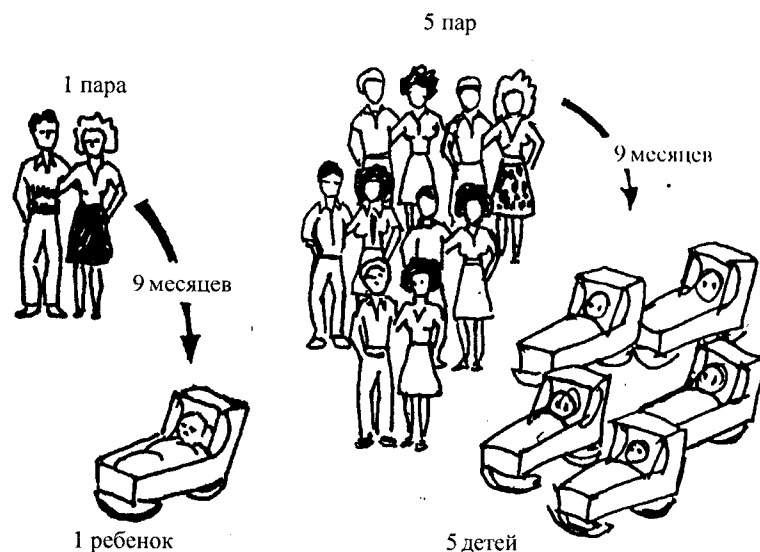


Рис. 31. Время появления ребенка не зависит от количества семейных пар

Если супружеских пар будет пять, то они способны родить пять детей, причем для этого им понадобятся те же 9 месяцев (рис. 31). Таким образом, время рождения ребенка в обоих ситуациях одинаково и определяется периодом беременности, но если семейных пар больше, то и детей за это время рождается больше. Подобный принцип действует и в химии для реакций первого порядка: чем больше взято вещества, тем больше его расходуется, но время расхода не зависит от исходного количества.

### Модель электронной плотности «Скитания студента»\*

Представления об электронной плотности как функции вероятности нахождения электрона обычно особенно трудны для понимания при изучении строения атома. Одна из наиболее наглядных аналогий здесь такова. Предлагаем учащимся проследить за жизнью студента, поступившего на химический факультет одного из университетов и поселившегося в общежитии. На выходные он отправляется домой к родителям, а в свободные от занятий часы не прочь заглянуть в ночной клуб на дискотеку. Изобразив образ жизни студента (рис. 32, а), покажем густотой точек частоту (вероятность) его нахождения в одном из указанных мест. Очевидно, наибольшая

концентрация точек придется на общежитие и университет, а наименьшая — на участки пути, ведущие от одного объекта к другому. Теперь упростим ситуацию еще больше, допустив, что студента ничего в жизни не интересует, кроме учебы. В этом случае вся его деятельность концентрируется вокруг двух объектов — университета и общежития с вынужденной, но минимальной затратой жизненных сил на транспорт (рис. 32, б). Эта картина будет близкой аналогией распределению электронной плотности на  $p$ -орбитали, где электронное облако сгущается в двух областях и сходится на нет в пространстве между ними.

Если теперь предположить, что общежитие находится рядом с университетом, то схема, изображающая перемещения студента-вундеркинда, будет аналогией распределения электронной плотности на  $s$ -орбитали (в проекции на плоскость).

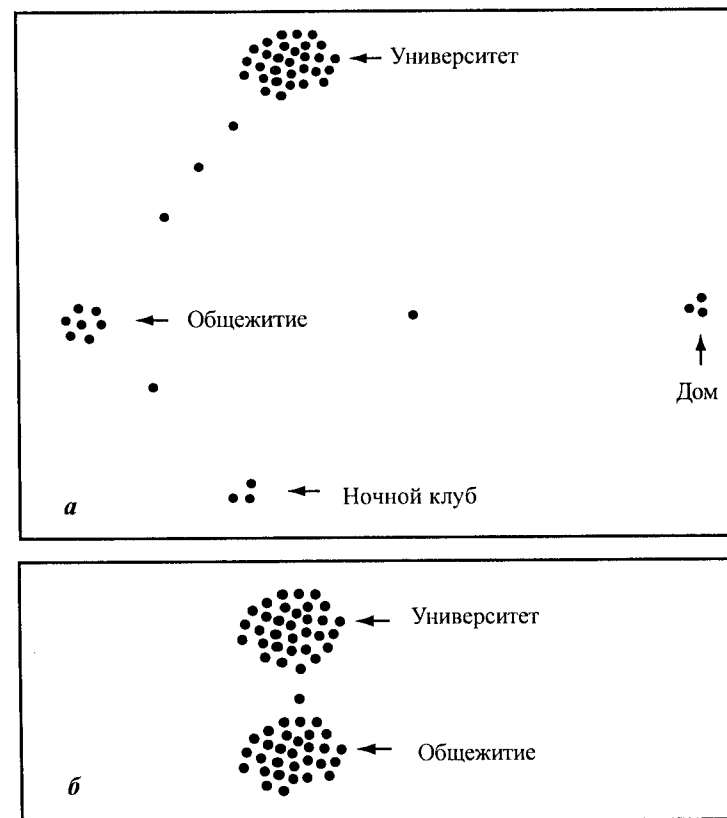


Рис. 32. Перемещения безалаберного (а) и прилежного (б) студентов

\* Journal of Chemical Education. 1994. № 11. P. 943-944.

## Модель межмолекулярного взаимодействия «Купание в ванне»\*

Одним из видов межмолекулярного притяжения является дисперсионное взаимодействие (лондоновские силы) вследствие флуктуаций электронной плотности в молекулах. Для объяснения природы этого взаимодействия воспользуемся следующей аналогией. Всем доводилось принимать ванну, и потому нетрудно вспомнить, что вода в ней редко бывает спокойной. Любое движение приводит к тому, что с одного края на другой накатывается волна, временно повышающая на нем уровень воды. Затем начинается обратное движение. В среднем уровень воды в ванной неизменен и одинаков по всей ее длине. Однако в каждый конкретный момент уровень воды на одном из концов ванны больше, чем на другом, вследствие естественного возмущения воды. Представим, что ванна наполнена некой «электронной жидкостью» — аналогом электронной плотности в двухатомной молекуле. На дне ванны располагаются ядра обоих связанных атомов. Молекула неполярна. Это означает, что

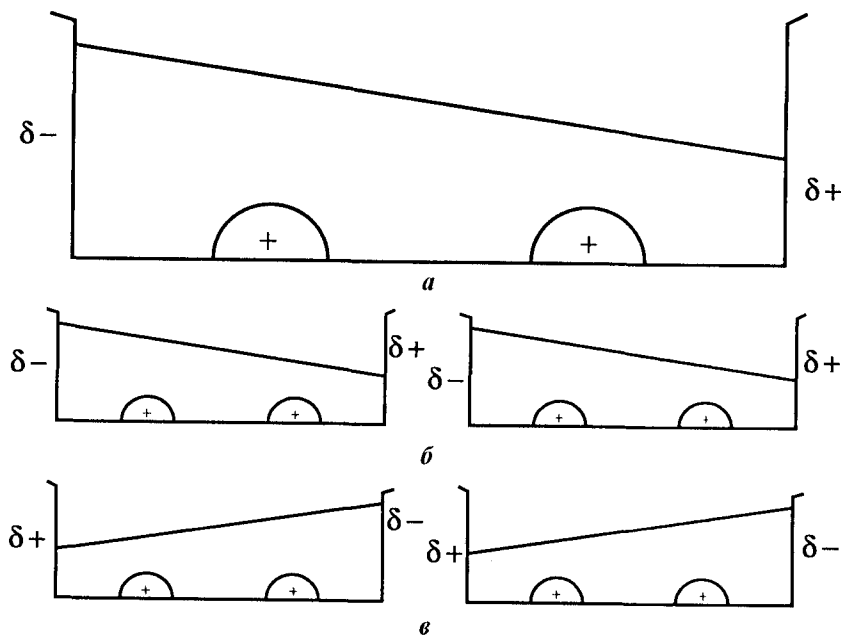


Рис. 33. Модель ванны с электронной жидкостью

в стационарном состоянии электронная жидкость распределена по длине ванны равномерно, уровень везде одинаков. Но теперь будет понятно, что вследствие естественного возмущения электронной жидкости будут происходить периодические колебания, то повышающие, то понижающие ее уровень на краях ванны. В результате в неполярной молекуле будут возникать мгновенные полюсы (рис. 33, а). Поставим теперь две такие ванны рядом (т. е. две неполярные молекулы). Временное понижение уровня жидкости на одном конце первой ванны приведет к тому, что обнажившееся ядро начнет сильнее притягивать «электронную жидкость» во второй ванне, вызывая и в ней колебания уровня (рис. 33, б). В следующее мгновение начнется откатное движение жидкости, т. е. полярность молекул поменяется, но притяжение между ними сохранится (рис. 33, в). Описанная модель является аналогом дисперсионного взаимодействия между неполярными молекулами.

Можно сделать еще несколько полезных наблюдений. Например, понятно, что перепады уровня воды в ванне тем больше, чем длиннее ванна и чем больше масса воды в ней, поскольку и то и другое увеличивает силу волны. Аналогично дисперсионное взаимодействие тем сильнее, чем больше частичные заряды на мгновенных полюсах, т. е. чем длиннее молекула и чем больше электронов в связанных атомах.

## Модель химического равновесия «Супермаркет»\*

В теме «Обратимые реакции» учитель располагает очень ограниченными средствами наглядности. Особенно трудно объяснить динамический характер химического равновесия. Воспользуемся для этого аналогией. Представим себе крупный супермаркет, занимающий двухэтажное здание. В нижнем этаже находятся служебные помещения, автостоянка и камера хранения. На втором этаже — торговый зал. Оба этажа связаны эскалаторами. Поскольку главный процесс — покупка — происходит на втором этаже, то уподобим поток покупателей по эскалатору, работающему на подъем, прямой реакции, а возвращение по второму эскалатору — обратной реакции (рис. 34).

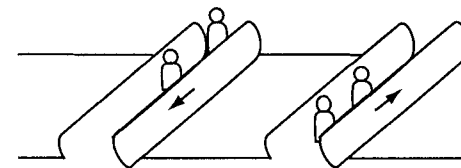


Рис. 34. Модель химического равновесия

\* Journal of Chemical Education. 1994. № 11. P. 943–944.

\* Journal of Chemical Education. 1994. № 11. P. 943–944.



Начало рабочего дня. Первые покупатели поднимаются в торговый зал, поток их все увеличивается, но обратного движения пока нет, поскольку никто еще не успел сделать покупки. (Аналогия: в начале обратимой реакции идет прямой процесс, а обратный — практически нет). Со временем обратный поток покупателей начинает увеличиваться, и к середине рабочего дня потоки покупателей по обоим эскалаторам выравниваются. Устанавливается своего рода равновесие: численность покупателей в торговом зале практически не меняется, хотя ежеминутно происходит их обновление. Этот пример убедительно показывает, что равновесие не означает прекращения процесса, ведь оба эскалатора работают бесперебойно.

Покажем с помощью этой модели, как влияют на равновесие внешние условия. Допустим, что в торговом зале на втором этаже объявили распродажу с большими скидками. Это сразу же привлечет множество новых покупателей, которые ринутся вверх по эскалатору. Концентрация покупателей в торговом зале резко увеличится. Однако через какое-то время все они начнут возвращаться обратно, и постепенно потоки по обоим эскалаторам (т. е. скорости прямой и обратной реакций) вновь выравняются. Вновь наступит равновесие, и концентрация покупателей в торговом зале снова станет стабильной, но большей, чем до объявления распродажи. Изменение ситуации в супермаркете при объявлении распродажи аналогично поведению равновесной системы в случае отвода одного из продуктов из зоны реакции. Динамический характер равновесия проявляется в том, что после возмущения системы она вновь приходит в равновесие, но уже с новыми значениями равновесных концентраций.

Аналогия супермаркета с равновесной системой имеет определенные ограничения. Можно предложить учащимся найти эти ограничения самостоятельно. Например, в конце рабочего дня поток покупателей к выходу возрастает, и в конце концов число покупателей в торговом зале уменьшается до нуля, что равносильно прекращению обратимой реакции. В реальной равновесной системе этого не происходит.

### **Объясняем химические явления «на пальцах»\***

#### **а) Рукопожатие как модель межмолекулярного взаимодействия**

Как сделать наглядным межмолекулярное притяжение, объясняющее многие свойства веществ, в том числе температуру кипения? Нет ничего проще — надо дать его почувствовать! Соединим кончики

указательных пальцев левой и правой руки. Попробуем сместить один относительно другого. Чувствуете? Почти никакого усилия не требуется. А теперь сложим ладони левой и правой рук и попробуем сдвинуть одну вдоль другой. Это уже требует некоторого усилия. В чем разница этих двух опытов? Конечно, в площади контакта! Чем она больше, тем больше сила сцепления. Точно так же, чем больше площадь соприкосновения молекул, тем больше силы межмолекулярного притяжения и тем выше температура кипения. К примеру, силы притяжения между разветвленными молекулами 2,2-диметилпропана существенно меньше, чем между молекулами пентана при одинаковой молекулярной массе этих веществ. Поэтому и температура кипения у пентана (36 °C) выше, чем у его изомера (0 °C).

Если же молекулы вещества еще и полярны, то силы притяжения между ними резко возрастают. Для демонстрации этого явления совместим ладони еще раз, соединив их в рукопожатии. Понятно, что оторвать одну ладонь от другой на этот раз будет гораздо труднее. Аналогично полярные молекулы «цепляются» одна за другую частичными зарядами, увеличивая температуру кипения вещества. Именно поэтому температура кипения воды (100 °C), молекулы которой представляют диполи, существенно выше, чем, например, неполярного метана (–161,5 °C), при сходных значениях молекулярной массы.

#### **б) Внутримолекулярное взаимодействие прочнее межмолекулярного**

Убедившись, что полярные молекулы так же сложно разъединить, как соединенные в рукопожатии руки, покажем, что разорвать связь между атомами внутри молекулы еще труднее. Будем считать, что пальцы одной руки — это атомы, соединенные в молекулу. Легко ли отделить один палец от кисти руки? Даже не проводя этот опасный эксперимент, ясно, что это потребует гораздо больших усилий, чем разъединение соединенных рук. Аналогично и связи между атомами значительно прочнее, чем связи между молекулами. Поэтому, в частности, изменение агрегатного состояния вещества с молекулярным строением требует обычно меньших затрат энергии, чем химическая реакция, которая сопровождается разрывом связей между атомами. Непонимание этого приводит к распространенной ошибке, когда на вопрос «Что происходит в процессе кипения воды?» учащиеся отвечают, что получают два газа — кислород и водород.

\* Journal of Chemical Education. 1995. № 2. P. 151–152.

### в) Оптическая изомерия

Объясняя явление оптической изомерии, преподаватель обычно демонстрирует ладони левой и правой рук, чтобы показать, что энантиомеры соотносятся как предмет и его зеркальное отражение. Но как быть, если в молекуле несколько хиральных центров? В этом случае число оптических изомеров  $2^n$ , где  $n$  – число асимметрических атомов, и двух ладоней будет недостаточно. Но выход есть! Дополним ладони парой перчаток, и появится возможность демонстрации двух пар энантиомеров при наличии двух хиральных центров (RR/LL и RL/LR). Если этого мало – добавьте еще и пару ботинок, вот и третий хиральный центр, создающий четыре возможные зеркальные пары «ладонь – перчатка – ботинок»: RRR/LLL, RRL/LLR, RLR/LRL и LRR/RLL.

### г) Диастериомеры

Диастериомеры – это оптические изомеры, которые не являются взаимно зеркальными копиями. Для демонстрации этого достаточно сложного явления воспользуемся опять анатомической аналогией. Пусть один из учеников левой рукой коснется левой ступни, а правой рукой – правой ступни. Второй ученик встанет напротив первого и повторит его действия. Данная пара демонстрирует, как соотносятся энантиомеры (оптические изомеры, являющиеся зеркальными антиподами). Затем пусть один из ребят поменяет руки (левой рукой коснется правой ступни и наоборот). Теперь перед классом модель диастериомеров.

### д) Хроматография

Для демонстрации того, как происходит разделение веществ при газожидкостной хроматографии, воспользуемся следующей аналогией. Трое ребят будут изображать три компонента смеси: пентан, бутанол-1 и масляную кислоту (температуры кипения 36, 118 и 164 °C соответственно). Двигаясь по проходу между остальными учащимися, первый идет, не останавливаясь, второй пожимает каждому встречному руку, а третий пожимает каждому сначала одну, а потом и вторую руку. Естественно, что время движения каждого из участников демонстрации будет разным. Аналогичное явление происходит и при перемещении смеси летучих веществ в хроматографической колонке. Чем больше полярность молекул, тем сильнее взаимодействие компонента смеси с рабочей жидкостью в колонке и тем больше время выхода из колонки.

### е) Принцип квантования

Как сделать принцип квантования доступным для учащихся 8–9-х классов, где впервые вводится представление об энергетических уровнях и подуровнях? Нет ничего проще! Достаньте из кошелька несколько мелких монет, и у вас на ладони окажется прекрасный образчик принципа квантования, который испокон веков используется в кредитно-денежной системе. В самом деле, государство выпускает монеты достоинством в пять, десять копеек и т.д., но не существует монеты достоинством четыре, семь копеек и т.д.

Можно продемонстрировать принцип квантования и в более динамичной манере. Предложим кому-нибудь из ребят совершить серию прыжков: с пола – на стул, со стула – на стол, а затем обратно. Эти прыжки и будут аналогией переходов электронов между энергетическими уровнями. При известной сноровке можно ухитриться запрыгнуть с пола сразу на стол, минуя стул (такой энергетический переход тоже возможен), но никакая физическая подготовка не позволит прыгающему остановиться где-нибудь в промежутке между тремя поверхностями: пола, стула и стола). То же и в атоме: энергия электрона может принимать только определенные, фиксированные значения.

### Шерлок Холмс устанавливает формулы веществ по продуктам сгорания\*

Методика решения многих расчетных задач становится яснее при использовании аналогий. Например, задачи на установление массы исходного вещества по известной массе продукта реакции проще всего объяснить на примере кулинарных рецептов. Если известно, сколько муки надо взять для приготовления одного пирога, то нетрудно рассчитать, сколько ее потребуется для двух, трех и т.д. пирогов. Эта же аналогия подходит и для разъяснения смысла задач на избыток. Если в рецепте указаны несколько ингредиентов (к примеру, мука и масло) и один из них (допустим, масло) уже израсходован, то оставшуюся муку никакими средствами в пирог не превратить.

Труднее подобрать понятную аналогию для задач на установление формул веществ по продуктам сгорания. Ниже приведен один из возможных подходов.

Шерлок Холмс и доктор Ватсон прибыли в Скотленд-Ярд по приглашению инспектора Лестрейда.

\* Journal of Chemical Education. 1995. № 3. P. 222–223.

— Рад вас видеть, мистер Холмс, — сказал инспектор. — Я послал за вами, так как наконец нашел дело, которое даже вам будет не по зубам. Вы, конечно, помните дерзкое ограбление ювелирной фабрики *ABC* в прошлом году? Тогда был украден сейф, содержащий золото, алмазы, рубины и изумруды, предназначенные для производства ювелирных изделий. Так вот, фирма *ABC* до сих пор не получила полагающуюся ей страховку.

— Почему? — спросил Холмс.

— Дело в том, что сейф был доставлен на фабрику перед самым похищением и его даже не успели открыть. А потому неизвестно, сколько в нем было золота и камней каждого вида в отдельности. Известно лишь, что общая масса содержимого сейфа составляла 50 фунтов. Естественно, что страховая компания хочет возместить эти 50 фунтов по стоимости самого дешевого из имевшихся в сейфе материалов, а пострадавший оспаривает это решение, указывая, что большую часть содержимого сейфа мог составлять, наоборот, самый дорогой материал. Интересно, что мы уже даже нашли похитителя. Это ювелирная фирма *XYZ*, которая располагала большим количеством золота, но не могла наладить производство из-за отсутствия драгоценных камней. Ради камней они и решились на кражу. Правда, фирма *XYZ* тоже не знает стоимости содержимого сейфа.

— Как это возможно? — вмешался в разговор Ватсон.

— Элементарно, — ответил Холмс. — Очевидно, они пустили в производство похищенное золото вместе с собственным, и теперь невозможно установить, сколько было взято из каждого источника.

— Совершенно верно, — продолжал Лестрейд. — Единственное, что нам известно, — все алмазы пошли на изготовление колец, общая масса которых составила 12 фунтов. Вот одно из колец, остальные были точно такими же. Рубины были использованы в производстве брошей, а изумруды — в производстве серег. Все изделия уже реализованы, но у меня есть по одному экземпляру.

— Сколько фунтов брошей и серег было продано? — поинтересовался Холмс.

— Было продано 35 фунтов брошей и 33 фунта серег. Все изделия однотипны, — ответил Лестрейд.

Тогда Холмс объявил:

— Я решу эту задачу, если вы мне позволите взять кольцо, брошь и серьги.

— С удовольствием, — отвечал Лестрейд. — Но учтите, что никому в Скотленд-Ярде не удалось решить эту задачу.

Когда Холмс и Ватсон вернулись домой, Холмс развернул драгоценности, принес весы и некоторое время занимался измерениями.

— Итак, дорогой Ватсон, в этом кольце один алмаз, причем масса кольца — 1,297 унции, а алмаза — 0,110 унции. Брошь весит 2,629 унции, а рубин в ней — 0,203 унции. Серьга весит 1,231 унции и содержит 3 изумруда каждый — по 0,142 унции. А теперь, Ватсон, отнесите эти камни в ювелирный магазин для оценки.

Вскоре Ватсон вернулся со следующей информацией: «Один алмаз стоит 320, рубин — 37, изумруд — 22 доллара. Цена золота — 120 долларов за унцию».

— Великолепно! — воскликнул Холмс. — Пошлите за Лестрейдом.

Когда тот появился, Холмс объявил:

— Страховая компания должна возместить убытки на сумму 169 334 доллара.

— Замечательно! — вскричал Лестрейд. — Но как вам это удалось?

\* \* \*

Метод решения, использованный Холмсом, является ключом к пониманию задач на установление формул по продуктам сгорания. Будем рассуждать вместе с Холмсом.

Сначала проведем баланс по алмазам:

общая масса колец с алмазами — 12 фунтов (задан), т. е. 192 унции (в одном фунте 16 унций);

масса одного кольца 1,297 унции;

тогда число колец равно отношению массы всех колец к массе одного кольца, т. е. 148;

число алмазов равно числу колец, т. е. 148;

масса одного алмаза 0,11 унции;

общая масса алмазов = число алмазов × массу одного алмаза = 16,3 унции.

Аналогичный баланс по рубинам даст 1704 камня общей массой 345,9 унции. Для изумрудов аналогично получим 1287 камней общей массой 182,7 унции.

Тогда масса всех драгоценных камней составляет 544,9 унции. Поскольку же масса содержимого сейфа известна изначально (50 фунтов, или 800 унций), то масса золота в сейфе была равна 255,1 унции (800 — 544,9).

Окончательно стоимость содержимого сейфа определяется так:  
 $(148 \text{ алмазов} \times 320\$) + (1704 \text{ рубина} \times 37\$) + (1287 \text{ изумрудов} \times 22\$) + (255,1 \text{ унции золота} \times 120\$) = 69\,334\$.$

Применяя этот метод к решению химических задач, воспользуемся следующей аналогией:

1. Масса содержимого сейфа (50 фунтов) — это масса неизвестного вещества, состоящего из углерода и водорода (драгоценные камни), а также кислорода (золото). Содержание каждого из них неизвестно, что выражается формулой  $C_xH_yO_z$ .

2. Неизвестное вещество сжигается с добавлением кислорода (золота, принадлежащего фирме XYZ) и образует оксиды  $CO_2$  и  $H_2O$  (ювелирные изделия — кольца, броши, серьги), массы которых известны (12, 35 и 33 фунта). Требуется установить формулу вещества.

3. Для определения содержания углерода (алмазов) в  $C_xH_yO_z$  делим общую массу  $CO_2$  (все кольца) на молярную массу  $CO_2$  (одно кольцо) и умножаем на молярную массу углерода (один алмаз). Для определения содержания водорода (рубинов) в  $C_xH_yO_z$  делим общую массу  $H_2O$  (все броши) на молярную массу  $H_2O$  (одна брошь) и умножаем на молярную массу водорода (один рубин). Содержание кислорода (золота) в  $C_xH_yO_z$  определяем, вычитая из массы  $C_xH_yO_z$  (весь сейф) найденную массу углерода и водорода (драгоценных камней). (Серьги с изумрудами — это резерв для еще одного элемента.)

## Глава 5

### Методическая мозаика

Методические приемы и педагогические разработки, собранные в этой главе, позволят разнообразить урок химии, найти нестандартные подходы к решению образовательных задач, овладеть вниманием класса в ходе урока, открыть новые ресурсы в использовании технических средств обучения.

#### Вся химия за две минуты\*

Из разговора гуманитария и технаря.

*Технарь.* Рад с вами познакомиться. Чем занимаетесь?

*Гуманитарий.* Я писатель.

*Технарь* (воодушевленно). Ого, как интересно. А я химик, исследую диазосоединения.

*Гуманитарий* (разочарованно). А-а ...

На этом разговор заканчивается. Понятно, что неспециалисту неинтересно слушать о химии: долго и нудно. Все мы осваиваем в школе эту науку целых четыре года, и у большинства остается представление о химии, как о предмете малопонятном и запутанном. Поэтому светская беседа о химии вряд ли возможна.

Между тем все мы ежедневно пользуемся достижениями химии. Химия нас кормит и одевает, лечит, создает конструкционные материалы. Можно ли рассказать об этом так, чтобы вызвать интерес к предмету? Можно и нужно. Но считается, что для этого человек сначала должен понять основы химии. А на освоение основ уходит столько времени и сил, что интерес к предмету неизбежно гаснет.

Преподаватель химии из Северной Айовы (США) Р. Макгрю считает, что из этой ситуации должен быть выход. Чтобы заинтересовать слушателя, химик должен уметь говорить о своем предмете кратко и интересно. Надо научиться рассказывать обо всем предмете, не рассказывая всего предмета. Идея Макгрю заключается в том, чтобы создать курс химии продолжительностью 2 мин. За 120 с

\* Journal of Chemical Education. 1993. № 7. P. 543–544.

неподготовленный слушатель должен получить представление о существе химии и ее практической ценности, увлечься предметом и испытать интерес к углублению знакомства с ним. Основные требования: непринужденность речи и краткость изложения. Цель считается достигнутой, если автор успеет заинтересовать своим рассказом случайного попутчика в лифте, пока кабина движется между первым и двадцатым этажом, или произнесет монолог-спич во время застолья.

Макгрю считает, что для преподавателя опыт составления двухминутного экскурса в свой предмет очень полезен. Им можно, к примеру, начать новый учебный год.

Очень полезно это упражнение будет и для учащихся. Придумывая двухминутный монолог о химии, учащиеся обучаются систематизации полученных ранее знаний, приобретают навык разделения главного и второстепенного. Кроме того, при этом растет значимость самого предмета в их глазах. Ведь сделать свой рассказ увлекательным для слушателя возможно, только включив в него что-то действительно интересное и для себя.

Представление результатов работы можно превратить в увлекательную психологическую игру. К примеру, учащимся предлагается озвучить созданный ими двухминутный курс химии родителям во время ужина, на вечеринке в компании, при встрече со сверстником, а также во множестве иных ситуаций. Успешность оценивается по степени заинтересованности и реакции окружающих.

Автор идеи предлагает свою версию такого курса органической химии.

**I. Вступление.** Многие вещества в природе состоят из молекул — очень маленьких частиц. Каждое конкретное вещество состоит только из свойственных ему молекул: вода — из молекул воды, дерево — из молекул целлюлозы. Молекулы различаются по форме, размеру и, в свою очередь, состоят из атомов — частичек меньше молекул. Общее название для всех атомов с одинаковым строением — элемент. Всего в природе существует 92 типа атомов, различающиеся по строению, т. е. 92 элемента. Главное свойство атомов разных элементов — способность соединяться в молекулы разных веществ — соединений. Главный элемент органической химии — углерод: все органические вещества содержат его. Атомы углерода, соединяясь, образуют молекулы, по форме напоминающие цепи и кольца. К этим цепям и кольцам могут присоединяться атомы водорода, кислорода, азота, некоторые другие элементы, а также группы атомов.

**II. Предмет исследования.** Известно около 10 млн углеродных соединений, многие имеют промышленное применение. Многочисленными исследованиями и экспериментами из них были получены: топливо разных видов, краски, косметика, лекарства, пластмассы и многое другое. Удивительные свойства органических соединений зависят от строения и пространственной формы их молекул. Современная химия

изучила строение и, как следствие, свойства разных веществ. Раньше получение новых соединений было весьма случайным, но в наше время, когда предмет достаточно изучен, можно целенаправленно получать необходимые вещества.

**III. Значение.** Изучение органических молекул позволяет понять многие тайны живой природы. Живой организм состоит из воды, некоторых минералов, а также из органических соединений — белков, жиров и углеводов. Генетическую, т. е. наследственную, информацию несут молекулы ДНК — особой органической кислоты. Все эти вещества и их свойства определяют особенности строения и поведения живых существ.

Теперь вы понимаете, как тесно химия связана с жизнью человека, и сможете оценить эту науку по достоинству.

Спасибо за внимание.

Согласитесь, за две минуты сказано достаточно много. А представляете, сколько можно успеть сказать за пять минут! Все это заставляет по-новому отнестись к проблеме недостатка учебных часов при изучении химии.

А теперь вернемся к диалогу, с которого начиналась эта статья.

*Гуманитарий.* Рад с вами познакомиться. Чем занимаетесь?

*Технар.* Я, знаете ли, химик. Хотите узнать все о химии за 120 секунд?

*Гуманитарий* (заинтересованно). Еще бы! Как интересно!

### **Изучаем химию с помощью электронной почты\***

Наверное, многим преподавателям приходилось сталкиваться с апатией и пассивностью класса. Как зажечь интерес в ребятах, если им кажется, что все увлекательное происходит за стенами школьных кабинетов? А что если использовать их внешкольные увлечения на уроках?

Среди подростков очень популярны компьютерные новинки, особенно Интернет. Преподавательница из США М. Даренцбург использует это при изучении курса химии. Она зарегистрировала на свое имя адрес в компьютерной электронной почте и предложила своим ученикам связываться с ней по любым учебным вопросам в любое время через компьютерную сеть. Этот простой прием (компьютер есть в любой американской семье) вызвал огромный энтузиазм. Конечно, ребят в первую очередь привлекает нетрадиционная форма общения с учителем, но разве задача преподавателя не заключается как раз в том, чтобы увлекательными формами деятельности вызвать интерес к своему предмету? Кроме того, компьютерный

\* Journal of Chemical Education. 1996. № 11. P. A273–A274.

диалог развивает у учащихся качества, которых порой недостает на уроке. Они имеют возможность обдумать вопрос, стараются грамотно его сформулировать (все-таки письменная речь требует большей собранности, чем устная), могут затронуть отвлеченные вопросы химии, обсудить домашнее задание. Наконец, крайне важно, что они лично обращаются к учителю и лично получают от него ответ. Естественно, система «электронного» обучения не подменяет традиционных занятий в классе, а лишь расширяет возможности общения между учеником и учителем. Сама М. Даренцбург отмечает, что благодаря электронным посланиям можно лучше понять особенности мышления и индивидуальные склонности своих респондентов.

А вот еще одна интересная педагогическая идея той же преподавательницы. Условно ее можно назвать Интернет, хотя компьютера для ее воплощения не требуется. Просто само построение урока моделирует принцип организации и работы компьютерной сети. При изучении, например, Периодической системы каждому ученику поручается подготовить информацию о свойствах определенного элемента, своего рода сайт – блок информации в компьютерной сети. На уроке эта «сеть» начинает работать. Желая проследить динамику изменения, например, энергии ионизации в периоде или группе, учитель адресуется к соответствующим «сайтам» (ученикам), и перед классом разворачивается ряд иллюстраций разбираемых закономерностей. Стимулирующим фактором для ребят является еще и то, что «паутина» работает только благодаря участию в ней каждого «сайта».

Так применением сравнительно простых средств школьный курс химии обретает черты технических достижений начала XXI века.

### **Как овладеть вниманием класса?\***

Известно, что концентрация внимания 12–14-летних школьников на рассказе учителя в течение 20–30 мин представляет большую сложность. Быстрое утомление от монологической речи и рассеянность внимания приводят к тому, что материал урока бывает либо не услышан, либо не усвоен. В то же время лекционная форма занятий неизбежна при изучении естественных наук, и в частности химии. Как удержать внимание класса на протяжении лекции?

Некоторые преподаватели любят по окончании своего рассказа предложить кому-нибудь из ребят кратко повторить основное содержание лекции. Однако такая форма обратной связи с аудиторией

оказывается малоэффективной. Если выступления с места происходят по желанию самих ребят, то отвечать вызываются одни и те же (успешные) ученики. Если же призвать к ответу кого-нибудь из нерадивых слушателей, то он начинает путаться в словах и демонстрирует полную неготовность к связному рассказу. В обоих случаях класс скучает.

Учительница химии из Канады М. Макбит использует интересный методический прием, позволяющий активизировать внимание класса во время лекции. Для этой цели у нее заготовлен комплект своего рода визитных карточек с фамилиями и именами всех учащихся класса. Перед началом лекции все карточки перетасовываются и кладутся стопкой на стол учителя. Одна из карточек, естественно, оказывается наверху. Именно ее владельцу и будет предложено в конце лекции выступить с резюме. Однако до конца урока карточка не открывается, а потому будущий докладчик не известен. Это создает интригу, которая увлекает ребят и своей игровой (лотерейной) стороной и предполагаемой ответственностью (надо ведь не опростоволоситься, если доведется держать речь перед классом). В результате вся аудитория следит за объяснением с неослабевающим вниманием, мысленно формулируя свое понимание обсуждаемой проблемы.

Как отмечает М. Макбит, этот простой прием оказывается чрезвычайно плодотворным. Помимо концентрации внимания класса, он неизбежно провоцирует дискуссию в конце лекции. Ведь каждый (или почти каждый) из ребят по ходу лекции готовится к возможному выступлению и вольно или невольно формулирует свое мнение. Желание вступить в полемику с тем, на кого укажет верхняя карточка, неизбежно уже хотя бы потому, что каждый из слушателей уловил в лекции какие-то свои нюансы или считает правильным изложить вывод другими словами. Поначалу М. Макбит даже пугалась горячей реакции своих слушателей. Но вскоре поняла, что происходит как раз то, о чем мечтает каждый лектор: заинтересованное и содержательное обсуждение темы урока. То, что поводом для дискуссии является не объяснение учителя (который, с точки зрения ребят, «не может ошибиться»), а резюмирующее выступление одноклассника, никак не снижает педагогического эффекта. В итоге материал лекции проговаривается по ходу урока трижды: сначала учителем, затем одним из ребят и, наконец, всем классом во время обсуждения. Известно, как полезно для понимания существа вопроса услышать его в разных интерпретациях. Одновременно происходит активное освоение химической терминологии и формируются навыки грамотного изложения своих мыслей.

\* Journal of Chemical Education. 1995. № 2. P. 132.

Есть, правда, опасность того, что право выступать «по жребию» выпадет кому-нибудь из тех учеников, кого обычно учителя обходят при устном опросе. В классе всегда бывает несколько ребят, для которых в силу психологических особенностей публичные выступления противопоказаны. В этих случаях, считает М. Макбит, вполне можно сделать поблажку и вытянуть еще одну карточку.

Можно разнообразить идею с «визитными карточками», включая их в другие формы учебной деятельности. Например, для активизации внимания учащихся при демонстрационном эксперименте взять из стопки сразу две карточки, предлагая их обладателям выйти к демонстрационному столу, проследить за ходом эксперимента и высказать свое суждение. Два мнения всегда хотя бы немного отличаются и провоцируют цепную реакцию обсуждения по всему классу.

Еще один вариант использования карточек выглядит так. По окончании лекции учитель предлагает всем письменно отреферировать услышанное, затем «по жребию» один из учеников зачитывает свой вывод, происходит обсуждение, после которого можно внести изменения в первоначально написанный текст, а потом сдать его на проверку. В этом случае лектор имеет возможность отследить обратную связь с каждым из слушателей.

### **Как сделать наглядным явление периодичности?\***

Первые уроки по теме «Периодическая система элементов» можно сделать особенно наглядными, используя простой самодельный набор из картона (автор идеи – учитель химии из Швеции И. Болмгрен). Как известно, при построении Периодической системы Д. И. Менделеев располагал элементы по возрастанию относительной атомной массы. Для удобства демонстрации этого принципа вырежем из картона кружки, диаметры которых пропорциональны атомным массам элементов (всего 44) главных подгрупп. На каждом кружке отчетливо запишем знак элемента и величину относительной атомной массы. Раскрасим каждый кружок одним из восьми разных цветов (определенный цвет соответствует элементам одной подгруппы). К обратной стороне каждого кружка приклеим магнитик.

Моделируя построение Периодической системы элементов, учитель сначала располагает кружки-элементы на магнитной доске хаотично, предварительно прикрыв кружок со знаком, например германия.

\* Journal of Chemical Education. 1995. № 4. P. 337–338

Затем учащимся предлагается систематизировать имеющийся набор элементов по атомным массам. В итоге на доске получается длинный непрерывный ряд кружков, увеличение диаметра которых является наглядной аналогией увеличения атомных масс, а чередование цветов символизирует изменение свойств элементов. Рассмотрев полученный ряд, учащиеся замечают, что комбинации цветов в нем повторяются через каждые восемь кружков (аналогичную закономерность обнаружил Д. И. Менделеев в 1869 г.). Теперь следует каждую такую комбинацию сделать отдельным рядом, расположив их один под другим. Явление периодичности демонстрируется этой моделью, так сказать, во всем цвете! Каждый ряд (период) практически полностью копирует предыдущие по цветовой гамме при одновременном увеличении диаметров кружков, а в каждом столбце (группе) цвета кружков идентичны, указывая на сходства свойств элементов.

Построенная модель удобна для демонстрации и анализа ряда закономерностей. Например, учащиеся замечают, что в двух местах (К и Ar, I и Te) последовательность чередования цветов нарушается, а для ее восстановления требуются кружки большего диаметра поставить перед кружками меньшего диаметра. Комментируя это явление, учитель сообщает, что именно это позволило Д. И. Менделееву предположить, что периодичность свойств элементов определяется не атомной массой, а каким-то другим параметром, не известным в то время науке. Еще нагляднее пробел на месте припрятанного учителем кружка со знаком германия. Интерпретируя этот пробел, учащиеся неизбежно приходят к выводу о необходимости существования еще одного элемента между галлием и мышьяком. Теперь самое время достать припрятанный кружок и рассказать о том, как, пользуясь построенной им Периодической системой, Д. И. Менделеев предсказал существование ряда новых элементов. Используя закономерности в изменении окраски карточек, учащиеся смогут сделать прогноз о некоторых свойствах элементов.

### **Периодическая система для самых младших\***

Можно ли сделать знакомство с миром химических элементов увлекательным и одновременно познавательным для самых младших школьников? К. Каррадо, сотрудница химического факультета Аргонской национальной лаборатории (штат Иллинойс, США),

\* Journal of Chemical Education. 1993. № 8. P. 658–659.



считает, что не только можно, но и нужно начать исследование Периодической системы еще в начальной школе. Впрочем, разработанная ею методика может быть успешно использована и в систематическом курсе химии 8-го класса. Особенность авторской идеи – в максимальном использовании на уроке естественной памяти ребят. Оказывается, что младшие школьники довольно много знают о химических элементах из повседневной жизни. Задача учителя – востребовать и систематизировать эти знания. Метод систематизации знаний очень простой – разглядывание и раскрашивание Периодической таблицы элементов, правда довольно необычной (рис. 35): на ней размер ячейки каждого элемента соотноснен с его распространенностью на Земле.

Например, кислород, доля которого особенно велика (и в атмосфере, и в земной коре), имеет соответственно и наибольший размер ячейки. А редкоземельным элементам отведены небольшие ячейки. Есть в этом варианте Периодической системы и свои условности: всем несуществующим в земной природе элементам отведены ячейки равного размера.

Уже сама форма представления таблицы вызывает у учащихся живой интерес и естественный вопрос: «Почему какие-то элементы „крупнее“ других?» С ответа на этот вопрос и начинается подробное разглядывание и обсуждение системы химических элементов. Занятие можно построить в следующей последовательности.

### 1. Раскрашиваем ячейки

Учитель раздает ребятам листы с изображением Периодической системы (рис. 35), предлагает внимательно разглядеть символы химических элементов и попытаться угадать названия хотя бы некоторых из них. Если элемент назван правильно, то его ячейка раскрашивается цветным карандашом. Например, все, кто догадался, что знак «H» обозначает водород, раскрашивают его ячейку. Если кто-то не знает названия, но смог что-нибудь вспомнить о применении этого элемента, – тоже хорошо. Например, ученик сообразил, что углерод как-то связан с грифелем в карандашах или с алмазом, тогда он тоже получает право раскрасить ячейку данного элемента. В беседу вовлекается как можно больше ребят, и любая инициатива поощряется возможностью раскрасить еще одну ячейку. В итоге обсуждения будет собрана чрезвычайно обширная информация об элементах.

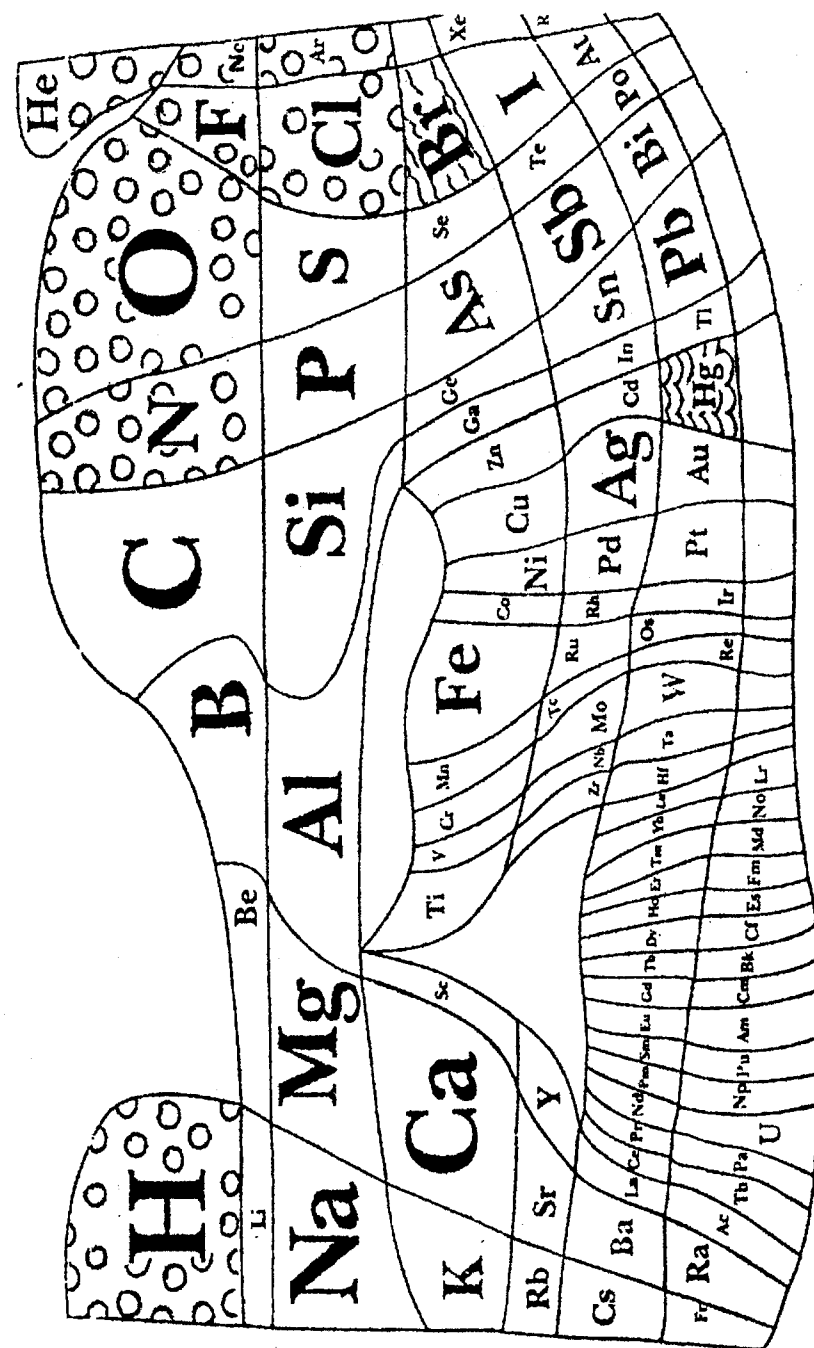


Рис. 35. Периодическая система для раскрашивания



## 2. Говорим одно, а пишем другое

Учитель предлагает ребятам обвести цветным карандашом ячейки тех элементов, русские названия которых не совпадают с их знаками. Например, название «кремний» никак не соответствует знаку «Si», а слово «свинец» – знаку «Pb». Зато можно бегло читать по таблице названия таких элементов, как натрий (Na), алюминий (Al), титан (Ti) и др. Для этого достаточно знать английский алфавит. Так в игровой форме дается начальное представление о международном языке химии. Особо обсуждаются забавные огрехи, например попытка прочесть знак «As» как «асфальт». Кстати, ребята иногда задают вопрос: «А почему в таблице не представлены знаки многих известных им веществ: бензина, воды, воздуха и др.?» Полезно будет обсудить, что Периодическая система содержит знаки всех известных на сегодня элементов, и если какое-либо вещество не представлено в ней самостоятельным знаком, значит, оно является либо смесью других веществ, либо химическим соединением элементов. Так, например, вода ( $H_2O$ ) является соединением водорода и кислорода.

## 3. Изображаем агрегатное состояние и многое другое

В младших классах сложно объяснить разницу между химическим элементом и соответствующим простым веществом, поэтому учитель может обойти эту тему, предложив ребятам вспомнить, названия каких элементов ассоциируются с газообразными веществами, и нарисовать в соответствующих ячейках пузырьки, а ячейки, соответствующие жидкостям, заполнить волнистыми линиями. Кто в классе сумеет найти больше правильных решений?

Далее можно обсудить самые разнообразные функции элементов и соответствующих им веществ, помечая цветами те ячейки, в которых учащиеся обнаружат ядовитые, использующиеся в медицине, имеющие биохимическое значение, обладающие радиоактивностью, и др. вещества (элементы).

В итоге проведенной работы перед каждым из учеников оказывается Периодическая система, раскрашенная в соответствии с его уровнем представлений об окружающем мире. Как правило, даже у третьеклассников довольно большая часть таблицы бывает закрашена, что становится сильной учебной мотивацией: еще бы, оказывается, они так много всего знают! Далее к Периодической системе составляется легенда, поясняющая принцип использования цветов. Лучшие работы можно выставить в классе. И еще очень важно сохранить все эти раскраски до окончания школы. Очень любопытно каждому увидеть, какими знаниями обладал в детстве.

## Химический детектив («Реакция замещения, или Убийство профессора Граундера»)\*

Цель этого рассказа – представить научную проблему в форме детективной истории с особым акцентом на знание основ органической химии, а популярные и любимые всеми литературные герои – Шерлок Холмс и доктор Ватсон – сделают процесс решения задачи увлекательным. Авторы идеи – Т. Дж. Уодделл и Т.Р. Риболт из университета штата Теннесси (США).

Текст состоит из двух частей: в первой излагается детективный сюжет, во второй – его разгадка. Перед прочтением второй части предлагается попытаться самостоятельно найти решение, используя знание основ органической химии.

### Часть 1. Таинственное убийство

Был теплый ясный вечер, столь непривычный для осеннего Лондона. Я возвращался домой с вызова. Глубокая синева небес, золотые листья настроили меня на лирический лад. Ничто не предвещало трагических новостей. Войдя в нашу квартиру на Бейкер-стрит, я обнаружил там инспектора Лестрейда, удобно устроившегося в моем кресле. Он что-то обсуждал с Холмсом.

– А вот и Ватсон, – сказал Холмс, увидев меня, – подсаживайтесь поближе к огню. Кстати, вы слышали последние новости? Вчера вечером в университете убит доктор Флойд Граундер.

Я был просто потрясен этим известием. Кому мог помешать профессор химии?! Лестрейд подробно пересказал мне трагические события:

– Профессор Граундер, сидя за письменным столом в своем университетском кабинете спиной к двери, которую редко запирали, был убит ударом ножа в шею. Вчера в группе студентов, специализирующихся на органической химии, произошел неприятный инцидент. Во время письменного опроса Граундер публично обвинил одного из студентов в списывании и предупредил, что потребует его немедленного исключения. Правда сделать этого он не успел. И еще одна интересная деталь: в лаборатории доктора Граундера, примыкающей к его кабинету, было разбито все оборудование, а принадлежавшие ему ценные образцы природных веществ в буквальном смысле размазали по стенам.

\* Journal of Chemical Education. 1996. № 12.

Когда инспектор закончил свой рассказ, я первым делом заинтересовался, кто же этот уличенный в списывании студент. Лестрейд ехидно заметил, что вряд ли бы он здесь сидел, если бы полиции было известно имя этого человека. Он стал бы первым подозреваемым, так как имел и возможность, и мотив совершить убийство.

Холмс, решив не терять времени даром, протянул мне пачку бумаг:

— Это, Ватсон, работы студентов-химиков из группы профессора Граундера. Инспектор предусмотрительно захватил их с собой. Возможно, они смогут о многом нам поведать.

Лестрейд скептически усмехнулся:

— Возможно, мистер Холмс. Только объясните мне, как. В группе 25 студентов и соответственно 25 работ. Следовательно, мы имеем 25 подозреваемых. Немало даже для вас, мистер Холмс?

— Посмотрим, инспектор. С вашего позволения, мы займемся этим делом. Я позвоню вам, как только что-нибудь выясню.

Мы попрощались с инспектором, и он вышел.

— А теперь, Ватсон, — сказал Холмс, потирая руки, — давайте-ка посмотрим эти работы.

Я взял первый попавшийся мне листок и прочитал на нем задание: «Напишите уравнение одной из возможных реакций замещения аренов. Расставьте в нем коэффициенты».

В течение следующего часа Холмс внимательно изучал одну работу за другой и, видимо, не находя того, что искал, с раздражением отбрасывал их в сторону. Вдруг он протянул мне два листка (рис. 36).

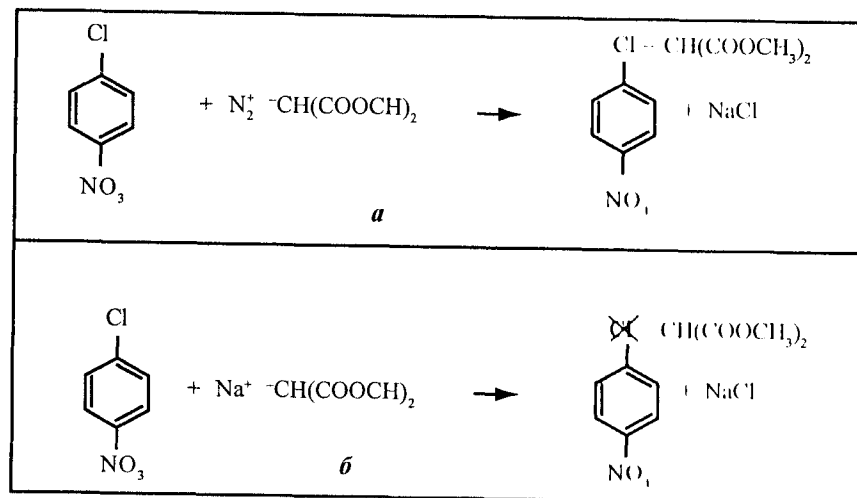


Рис. 36. Работы Эффи Габорио (а) и Джона Минсинга (б)

Пока я разглядывал абсолютно ничего не говорящие мне значки и символы, Холмс вызвал миссис Хадсон и отдал какие-то распоряжения.

— Миссис Хадсон сейчас свяжется с нашей «босоногой агентурой», а эти юные джентльмены без труда выследят Эффи Габорио и Джона Минсинга в университете. Я думаю, что уже завтра утром мы будем иметь удовольствие лицезреть этих молодых людей у нас.

И оставив меня в полном недоумении, Холмс занялся какими-то опытами в своей химической лаборатории. Мне ничего не оставалось, как провести остаток вечера за чтением длиннющего и почему-то модного романа.

Ровно в 9 часов утра миссис Хадсон ввела в нашу квартиру двух студентов-химиков из группы профессора Граундера. Эффи Габорио оказалась маленькой черноволосой девушкой, одетой весьма вульгарно. Она пользовалась духами с очень странным слабым ароматом, вероятно, дешевыми. Она явно была не в духе. Холмс учтиво поклонился, чтобы поцеловать ей руку, что было совсем не в его характере (обычно он ограничивался коротким поклоном в качестве приветствия). Спутник Эффи, Джон Минсинг, был, напротив, одет весьма изящно и по последней моде. Молодые люди явно недоумевали, по каким причинам их пригласил великий сыщик. Холмс сразу же перешел к делу:

— Поверьте мне, мисс Габорио и мистер Минсинг, ваш визит имеет огромное значение. Заверяю вас, он не отнимет много времени. Я хотел бы задать вам всего лишь по одному вопросу, и вы сразу же сможете вернуться в университет.

— Итак, мисс, — он обратился к Эффи, — знаете ли вы химический знак натрия?

Эффи была возмущена: она никак не ожидала вопроса по химии. Холмс вежливо, но настойчиво попросил ее ответить.

— Ну, Na, — произнесла Эффи.

Холмс обратился к Минсингу:

— Мистер Минсинг, что представляет собой реакция замещения?

— Ну, я не особенно силен в этом вопросе, мистер Холмс. Но вообще-то я думаю, что в реакциях замещения какая-нибудь отрицательно заряженная группа заменяет хлор у какого-нибудь атома углерода.

Холмс, казалось, был вполне удовлетворен услышанным и явно во всем разобрался. Он поблагодарил студентов и наскоро с ними попрощался. Молодые люди покинули наш дом в еще большем недоумении, чем придя в него. Замечу, что я разбирался в происходящем

ничуть не лучше их, о чем и сообщил Холмсу, как только мы остались одни...

В этом месте мы предлагаем читателю прерваться и попытаться найти убийцу профессора Граундера. Используйте при этом следующие наводящие вопросы:

1. Почему Холмс заинтересовался работами именно этих двух студентов?
2. Какую информацию он вынес из разговора с ними?
3. Кто из этих двух студентов списывал у другого и соответственно мог быть убийцей профессора Граундера?

А теперь посмотрим, как решил эту задачу Холмс.

## Часть 2. Элементарно, Ватсон!

– Итак, Холмс, кто же убил профессора?

– Друг мой, – сказал Холмс, снисходительно улыбаясь, – вы же видели работы! Что же вам еще непонятно?

– Ну, во-первых, почему из 25 работ вы отобрали именно эти две?

– Элементарно, Ватсон, – откликнулся он с энтузиазмом. – Ведь сама формулировка задания подразумевает, что примеров реакций замещения очень много, а мисс Габорио и мистер Минсинг выбрали один и тот же. Само по себе это, конечно, не подозрительно, но дело в том, что оба они допустили одинаковую и, заметьте, очень глупую ошибку. Из этого, как мне кажется, следует, что один из них списывал у другого.

– Да о каких это глупых ошибках вы все толкуете, Холмс? – спросил я, пытаюсь разглядеть хоть что-нибудь странное в работах.

– Ну как же, Ватсон! Для начала заметим, что нитрогруппа имеет формулу  $\text{NO}_2$ , а вовсе не  $\text{NO}_3$ . Во-вторых, у исходных веществ должна присутствовать группа  $\text{COOCH}_3$ , а не  $\text{COONH}_2$ : сравните со строкой продуктов. Этих ошибок, между прочим, тоже нет больше ни у кого в группе. К тому же мисс Габорио и мистер Минсинг одинаково расположили формулы на листе.

– Да-да, Холмс... Возможно, вы правы. Но все-таки вы не можете определить наверняка, кто у кого списал.

– И это, Ватсон, совсем несложно. Вы заметили, что Эффи знала химический знак натрия? Тогда почему же она допустила такую глупейшую ошибку – написала в верхней строке  $\text{N}_2$  вместо  $\text{Na}$ ?

Теперь только, уже в который раз пристально всматриваясь в знаки и формулы, я увидел то, что Холмс заметил уже давно.

– Я догадался! Издалека Эффи приняла букву «а» в работе Минсинга за двойку.

– Правильно, Ватсон, вы делаете успехи. Кроме того, несмотря на то, что мистер Минсинг имел, мягко говоря, весьма общее представление о реакции замещения, он все-таки смог кое-как объяснить ее сущность. И его работа с этой точки зрения логична. Элемент, который он вычеркнул из формулы продукта, – хлор, так как он, наконец, догадался, что отрицательно заряженная группа должна заместить хлор. Видимо, он понял это в самом конце занятия, и Эффи не успела исправить ошибку в своей работе, т. е. с точки зрения реакции замещения ее пример не имеет смысла.

– Да... – только и смог выговорить я, обескураженный строгой цепью его рассуждений. – Но... быть может, эти символы и знаки таят совсем другую историю?

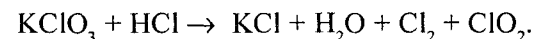
– Да нет, Ватсон, все верно. Кстати, – Холмс лукаво улыбнулся, – вы заметили, как учтиво я поцеловал руку Эффи при знакомстве? Отлично! На самом деле я просто хотел удостовериться, что от нее пахнет терпеном. Образцы именно этого вещества хранились в лаборатории профессора Граундера. Терпены, Ватсон, подобно маслу лимона, имеют стойкий характерный запах.

Теперь мне все стало понятно в этом деле. Все звенья цепи событий встали на свои места.

– Итак, Холмс, Эффи Габорио и есть убийца профессора Граундера. Вы раскрыли это дело, но, как всегда, останетесь в тени. Ладно, будем хотя бы надеяться, что Лестрейд получит повышение.

## Уравниваем до бесконечности\*

Хорошо известно желание многих учащихся расставлять коэффициенты в уравнениях окислительно-восстановительных реакций методом подбора, особенно если они нетвердо знают другие способы (электронный баланс, полуреакции). Порочность этой практики наглядно демонстрирует пример следующей реакции:



Предложите ученикам расставить коэффициенты в этом уравнении методом подбора. Многие из них наверняка получат противоречащие наборы коэффициентов. А попытка найти среди них правильный обречена на провал – все наборы окажутся правильными. 27 таких наборов коэффициентов, не кратных один другому, приведены в табл. 5.

Причем это не предел. Можно получить и другие наборы, используя следующий алгоритм:

\* Journal of Chemical Education. 1996. № 12. P. 1129.

Таблица 5

$\text{KClO}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{KCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{Cl}_2 + \text{ClO}_2$						$\text{KClO}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{KCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{Cl}_2 + \text{ClO}_2$					
2	4	2	2	1	2	8	32	8	16	14	4
3	10	3	5	4	2	8	24	8	12	9	6
4	16	4	8	6	2	8	16	8	8	4	8
4	8	4	4	2	4	9	46	9	23	22	2
5	22	5	11	1	2	9	38	9	19	17	4
5	14	5	7	5	4	9	30	9	15	12	6
6	28	6	14	13	2	9	22	9	11	7	8
6	20	6	10	8	4	9	14	9	7	2	10
6	12	6	6	3	6	10	52	10	26	25	2
7	34	7	17	16	2	10	44	10	22	20	4
7	26	7	13	11	4	10	36	10	18	15	6
7	18	7	9	6	6	10	28	10	14	10	8
7	10	7	5	1	8						
8	40	8	20	19	2	10	20	10	10	5	10

– коэффициенты перед  $\text{KClO}_3$  и  $\text{KCl}$  должны быть одинаковыми, так как с обеих сторон уравнения только один атом калия;

– коэффициент перед  $\text{ClO}_2$  всегда будет четным числом из-за четного числа атомов хлора в  $\text{Cl}_2$  и четного коэффициента перед  $\text{HCl}$ ;

– после определения коэффициента для  $\text{ClO}_2$  оставшиеся атомы кислорода уравниваются коэффициентом перед  $\text{H}_2\text{O}$ ;

– коэффициент перед  $\text{HCl}$  будет вдвое больше коэффициента перед  $\text{H}_2\text{O}$ , так как в  $\text{HCl}$  – один атом водорода, а в  $\text{H}_2\text{O}$  – два. Теперь число атомов водорода уравнено;

– коэффициент перед  $\text{Cl}_2$  определяется вычитанием коэффициента перед  $\text{ClO}_2$  из коэффициента перед  $\text{HCl}$  и делением результата пополам.

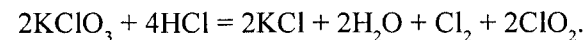
Математически одаренным ученикам можно предложить даже вывести на базе этого алгоритма систему алгебраических уравнений, которая позволит автоматически определять коэффициенты. Если обозначить коэффициенты перед  $\text{KClO}_3$  и  $\text{ClO}_2$  соответственно через  $x$  и  $y$ , то остальные коэффициенты будут рассчитываться так:

$$\begin{aligned}\text{KCl} &= x, \quad \text{HCl} = 2(3x - 2y), \\ \text{H}_2\text{O} &= 3x - 2y, \quad \text{Cl}_2 = [2(3x - 2y) - y]/2.\end{aligned}$$

В результате получать правильные наборы коэффициентов можно до бесконечности. Однако при этом химизм процесса подменяет-

ся чисто алгебраическими операциями с числами. В этом и порочность метода подбора коэффициентов. Правильным же следует считать такой набор коэффициентов, который отражает сущность процесса, т. е. перенос электронов.

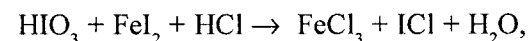
Предложив в заключение ученикам подобрать коэффициенты методом электронного баланса, мы получим тот единственный набор чисел, который отражает химизм протекающей реакции:



### Метод произвольных степеней окисления для окислительно-восстановительных реакций\*

Известно, что в сложных окислительно-восстановительных реакциях, где более двух элементов меняют степени окисления, подобрать коэффициенты обычными способами бывает затруднительно. Преподаватель университета Вилланова (штат Пенсильвания, США) О. Людвиг предлагает в этом случае использовать метод произвольных степеней окисления, сущность которого заключается в том, чтобы, присвоив атомам произвольные, иногда даже абсурдные степени окисления, оставить в реакции только один окислитель и один восстановитель. Сами степени окисления при этом могут не нести никакого химического смысла.

Рассмотрим, например, реакцию:



в которой три атома меняют степени окисления (йод – дважды и железо). Пользуясь методом произвольных степеней окисления, запишем у атомов H, O и Cl типичные для них степени окисления (+1), (–2) и (–1), а атомам йода в  $\text{FeI}_2$  присвоим произвольную степень окисления (+1), такую же, как в соединении  $\text{ICl}$ . Тогда у атомов железа  $\text{FeI}_2$  степень окисления оказывается равной (–2). Таким образом, часть атомов йода как бы «выводится из игры», и в реакции остается только один восстановитель – железо, изменяющее степень окисления от (–2) до (+3), и один окислитель – йод, восстанавливающийся от (+5) до (+1). Поскольку общее увеличение степеней окисления должно быть равно уменьшению, обычным способом электронного баланса получаем перед  $\text{FeI}_2$  коэффициент 4, а перед  $\text{HIO}_3$  – 5. Дальше легко получаются стехиометрически правильные коэффициенты перед формулами других соединений в этой реакции.

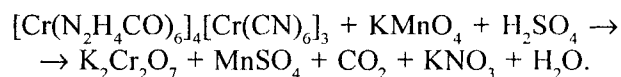
\* Journal of Chemical Education. 1996. № 6. P. 507.

Используем такой же метод для подбора коэффициентов реакции:



Расставляя степени окисления, исключим из участников реакции серу, присвоив ей и слева и справа степень окисления (+6). Считая заряд группы CN равным (–1), получим для атомов меди в CuSCN степень окисления (–5). Таким образом, медь окисляется от (–5) до (+2) в CuSO<sub>4</sub>, а йод восстанавливается от (+5) в KIO<sub>3</sub> до (+1) в ICl. То есть степень окисления меди изменяется на 7, а йода – на 4 единицы. Соответственно перед соединениями меди надо ставить коэффициент 4, а перед соединениями йода – коэффициент 7. После определения остальных коэффициентов получаем стехиометрически правильное уравнение.

Особенно ярким примером достоинств метода произвольных степеней окисления будет такая реакция:



В ней действительно трудно подобрать коэффициенты обычными способами.

Но если «вывести из игры» атомы N, H, C и O, присвоив им произвольно такие же степени окисления, как и в продуктах реакции, задача существенно упростится. В этом случае опять останутся только два элемента, меняющие степени окисления, – Mn и Cr. Чтобы рассчитать степень окисления хрома, запишем комплексное соединение в виде Cr<sub>7</sub>N<sub>66</sub>H<sub>96</sub>C<sub>42</sub>O<sub>24</sub> и, учитывая, что степени окисления N, H, C и O равны их обычным степеням окисления, получим для хрома степень окисления (–546/7). В дихромате калия степень окисления хрома равна (+6) или (+42/7). Таким образом, в этой реакции степень окисления семи атомов хрома изменяется на 588 единиц. В то же время марганец восстанавливается от (+7) в KMnO<sub>4</sub> до (+2) в MnSO<sub>4</sub>, т. е. на 5 единиц. В результате получаем перед соединением хрома в левой части коэффициент 5, а перед KMnO<sub>4</sub> – коэффициент 588. Дальше нетрудно получить остальные правильные коэффициенты.

Конечно, можно поспорить о допустимости таких фантастических степеней окисления, как 546/7, но отметим, что степень окисления – изначально условное понятие («условный заряд атома»), введенное в химии исключительно в манипулятивных целях и не являющееся фундаментальным по своей природе. Таким образом, метод произвольных степеней окисления можно считать педагогически оправданным потому, что он не только позволяет при известной тренированности легко подбирать коэффициенты в сложных окислительно-восстановительных реакциях, но и со всей очевидностью демонстрирует условность понятия «степень окисления».

## Моделирование физико-химических процессов с помощью кодоскопа\*

Использование возможностей кодоскопа позволяет наглядно объяснить многие физико-химические процессы.

Например, всем известно, что масло не растворяется в воде. Школьники часто ошибочно объясняют это отталкиванием молекул воды и масла. Между тем действительной причиной несмешиваемости жидкостей является притяжение между полярными молекулами воды, обусловленное водородными связями и диполь-дипольным взаимодействием. Молекулы масла неполярны, а потому выталкиваются и образуют отдельный слой.

Моделирование этого явления с помощью кодоскопа позволяет понять суть межмолекулярных взаимодействий и создать умозрительное представление о законах растворимости.

Из прозрачной пленки изготавливают несколько прямоугольников и овалов. Концы овалов отмечают знаками «+» и «–» (они символизируют полярные молекулы воды), прямоугольники закрашивают красным фломастером (это молекулы масла). Во время демонстрации овалы и прямоугольники хаотически размещают на стекле кодоскопа. Глядя на экран, учащиеся без труда догадываются, что заряженные овалы будут притягиваться один к другому, образуя единую систему. Как только учитель реально сблизит овалы на стекле, красные прямоугольники неизбежно будут вытеснены, иллюстрируя взаимную нерастворимость масла и воды.

Эту демонстрацию можно сделать еще более убедительной, если овалы (молекулы воды) заменить маленькими полосковыми магнитами, а прямоугольники (молекулы масла) – кусочками мрамора. Магниты и кусочки мрамора хаотически перемешивают в чашечке Петри и устанавливают ее на стекло кодоскопа (рис. 37, а). Между магнитами

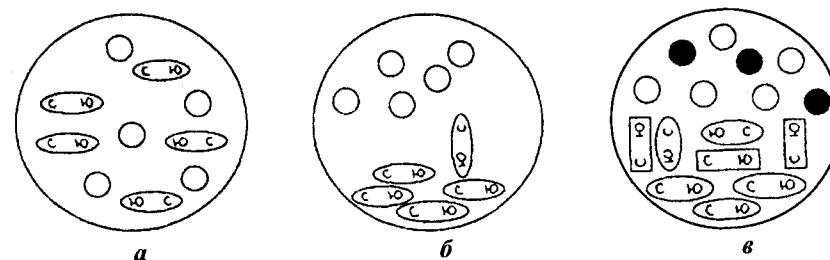


Рис. 37. Моделирование физико-химических процессов

\* Journal of Chemical Education. 1996. № 6. P. 497.

начинают действовать силы притяжения, и достаточно легкого встряхивания чашечки, чтобы они взаимно сориентировались и образовали связный слой, вытесняя кусочки мрамора (рис. 37, б).

Продолжая демонстрацию, поместим в ту же чашечку магниты другой формы (они символизируют некое новое вещество полярной природы). Встряхнем чашечку еще раз. Новые магниты тут же оказываются среди своих «собратьев». Это означает, что новое полярное вещество распределилось в слое воды. Теперь добавим в чашечку кусочки мрамора новой окраски (новое неполярное вещество). После встряхивания они окажутся в неполярном слое масла. Обе демонстрации иллюстрируют древнейший закон химии: «подобное растворяет подобное» (рис. 37, в).

Похожая техника может быть использована для демонстрации многих других явлений: гидратации ионов при электролитической диссоциации, синтеза белков, гидрофильного и гидрофобного взаимодействия при межфазном катализе и т. п.

Моделирование с помощью кодоскопа микроскопических взаимодействий позволяет ясно представить механизм появления у веществ тех или иных макроскопических свойств. При этом важнейшей особенностью такой методики является возможность демонстрации этих взаимодействий в динамике, в отличие от статичных рисунков в учебниках.

### Вычисляем число Авогадро на компьютере\*

Знакомя учащихся с понятием «моль», учитель обычно сталкивается с необходимостью доступными средствами пояснить, сколь велико число Авогадро. Согласитесь, что запись  $6,02 \cdot 10^{23}$  не слишком наглядна. Записав это число на доске с 21 нулем, 24-значным, можно достичь большего эффекта, но и здесь ребят удивляет в основном длина строки.

А вот преподавательница химии из средней школы г. Провиденс (штат Род-Айленд, США) М. Толудис предлагает свой способ демонстрации числа Авогадро. Для этого нужен какой-нибудь старенький компьютер (с не слишком большим быстродействием). М. Толудис использовала малоскоростной компьютер «Apple» (модель II). Вместе с учениками она написала несложную программу на BASIC, позволяющую рассчитывать сколь угодно большое число последовательным сложением.

Компьютер начинает вычисления по программе, текущее число постоянно отображается на мониторе, а ребята засекают по часам:

\* Journal of Chemical Education. 1996. № 5.

сколько времени потребуется компьютеру, чтобы дойти в расчетах до какого-нибудь крупного числа. Допустим, что за 20 мин машине удалось досчитать до 32 000. Тогда нетрудно вычислить, какое число она получит за час, за сутки, за год. И сколько вообще времени потребуется, чтобы посчитать число Авогадро? Вспомнив курс математики, ребята выведут формулу, позволяющую рассчитать, за сколько лет компьютер достигнет числа Авогадро:

$$6,02 \cdot 10^{23} \cdot [20 \text{ (мин)}/32 \text{ 000 (операций)}] \cdot [1 \text{ (час)}/60 \text{ (мин)}] \times \\ \times [1 \text{ (сутки)}/24 \text{ (часа)}] \cdot [1 \text{ (год)}/365 \text{ (суток)}].$$

Первое время ребята с увлечением наблюдают за работой компьютера. Каждое занятие в классе начинается с проверки: на какой стадии находятся расчеты. Но проходят дни, недели, а компьютер все продолжает вычисления. Иногда спустя месяцы ребята вдруг вспоминают о запущенной программе и подходят к монитору проверить расчеты. Но нет, до числа Авогадро еще далеко. Как сообщает М. Толудис, порой, уже закончив школу, выпускники заходят к ней узнать, не «сосчитал» ли, наконец, компьютер до  $6,02 \cdot 10^{23}$ ? В итоге огромность числа Авогадро надолго остается у них в памяти.

### Склеиваем модели фуллеренов\*

Со времени их открытия в 1985 г. сферические молекулы углерода, чаще всего называемые фуллеренами, остаются одним из интереснейших явлений химии. Основным методом их получения сегодня является лабораторный синтез, хотя есть сведения об обнаружении фуллеренов в природе (минерал шунгит содержит до 0,1 % фуллеренов). Помимо разнообразных перспектив применения фуллеренов (сверхпроводники, носители информации со сверхвысокой плотностью записи, сырье для производства алмазов, медицина), их молекулы интересны сами по себе, так как дают богатейший материал для исследования разных видов симметрии.

В самом общем виде фуллерен представляет фигуру вращения — сфероид из многогранников двух видов: шестигранников (гексагонов) и пятигранников (пентагонов). Вершинами всех многогранников являются атомы углерода. Поверхность сфероида, составленного из многогранников, подчиняется формуле Эйлера:

$$N_n(6 - n) = 12, \quad (1)$$

где  $N_n$  — число  $n$ -гранников, образующих сфероид. Применительно к фуллеренам эта формула принимает вид:

$$N_5(6 - 5) + N_6(6 - 6) = 12, \quad (2)$$

\* Journal of Chemical Education. 1995. V. 72. № 10. P. 863–869.

где  $N_5$  и  $N_6$  – числа пентагонов и гексагонов соответственно. Из формулы (2) ясно, что фуллерен должен содержать 12 пентагонов и произвольное число гексагонов. Действительно, все полученные или смоделированные фуллерены имеют 12 «обязательных» пятиугольников. В зависимости же от количества гексагонов состав сферических молекул может быть разным. Простейший фуллерен теоретически имеет формулу  $C_{20}$  и состоит только из 12 пентагонов, образующих правильный многогранник – додекаэдр. Однако ввиду неустойчивости такой молекулы выделить фуллерен-20 практически не удалось. Согласно существующим воззрениям на структуру фуллеренов устойчивыми могут быть только те из них, в которых 12 «обязательных» пентагонов разделены гексагонами и не имеют между собой общих вершин или ребер. Наиболее исследованный фуллерен  $C_{60}$  имеет форму усеченного икосаэдра и по внешнему сходству с футбольным мячом чаще называется футболомером. Молекула  $C_{60}$  содержит 32 грани (в том числе 12 пентагонов и 20 гексагонов). Высшие фуллерены (например,  $C_{78}$  или  $C_{80}$ ) допускают разный порядок «выкладывания» поверхности пентагонами и гексагонами при сохранении их общего числа и принципа изоляции пентагонов, т. е. имеют изомеры. Для анализа таких молекул используются разные формы отображения их структур: от изометрической проекции трехмерной модели на плоскости до линейной записи порядка чередования многогранников. К примеру, фуллерен  $C_{82}$  с симметрией  $C_{2v}$  в линейной записи выглядит так: 5666665665656665666666665665665665666665.

Проще всего исследовать фуллерены по их моделям, которые нетрудно склеить из бумаги. Один из методов бумажного моделирования разработал Дж. Битон из университета Келлингтона (США). На рис. 38 приведены плоскостные развертки трех самых известных фуллеренов:  $C_{60}$  (футболомер),  $C_{70}$  (напоминающий мяч для регби) и  $C_{84}$  (напоминающий мяч для бейсбола, причем для наглядности нанесен даже шов мяча). В обозначении разверток фуллеренов, например  $C_{70} - D_{5h}$ , сначала указан состав изомера ( $C_{70}$ ), а затем тип симметрии ( $D_{5h}$ ). Для удобства анализа модели на развертках жирными линиями показаны ребра, общие только для гексагонов.

При склеивании трехмерной модели развертка сначала увеличивается так, чтобы длина ребер многогранников составляла 2–3 см. Затем развертка обрезается по периметру. Гексагоны с цифрой «5» вырезаются со стороны вершины, помеченной точкой (при этом прорезается ведущее к ней ребро), и удаляются. Гексагоны с буквой «Т» являются язычками для склеивания. Соседний с язычком шестиугольник смазывается с нижней стороны клеем, совмещается с язычком и наклеивается на него. Операция последовательно повторяется по всему периметру

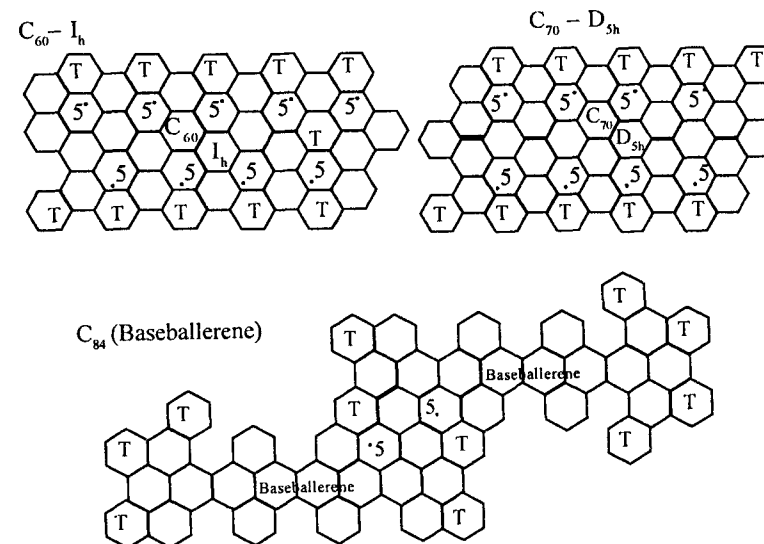


Рис. 38. Развертки бумажных моделей трех важнейших фуллеренов:  $C_{60}$  (футболомер),  $C_{70}$  (регбилерена),  $C_{84}$  (бейсболерена)

ру развертки по числу язычков. При этом на месте вырезанных гексагонов с цифрой «5» образуются «окна» пятиугольной формы (пентагоны). Собранный таким образом модель фуллерена состоит из чередующихся «сквозных» пентагонов (их будет обязательно 12) и «плотных» гексагонов. Такую модель удобно исследовать и снаружи, и изнутри (через «окна»). Вершины склеенного многогранника соответствуют атомам углерода, а ребра – химическим связям между ними.

Бумажные модели являются незаменимым пособием для изучения структур фуллеренов. При исследовании симметрии молекулы достаточно проткнуть бумажную модель спицей вдоль оси симметрии или наметить фломастером контур сечения плоскостью симметрии. Кроме того, бумажные развертки могут послужить материалом для самостоятельной работы учащихся, а изготовленные из них модели станут прекрасным наглядным пособием и украсят кабинет химии.

### Изучение методов очистки сточных вод\*

Одно из важнейших направлений современной природоохранной деятельности – очистка бытовых и промышленных стоков от загрязняющих веществ. Школьный курс химии должен давать хотя

\* Journal of Chemical Education. 1993. № 5. P. 395–396.



бы простейшие представления о том, как решается эта задача. Сотрудники факультета естественных наук университета Восточной Индианы (США) разработали программу поэтапного изучения методов извлечения и обезвреживания отходов из сточных вод, которая легко встраивается в школьный курс химии. Идея авторов программы заключается в том, чтобы привязать знакомство с теми или иными методами очистки стоков к соответствующему разделу программы. Тем самым усиливается практическая (в частности, экологическая) направленность курса химии. Кроме того, изучение методов очистки сточных вод позволяет в своеобразной форме повторить и закрепить пройденный теоретический материал соответствующей темы. Ниже конспективно изложены основные элементы указанной программы применительно к тем разделам курса химии, в которых они изучаются.

## **I. Физические методы очистки**

### **Тема. Физические и химические явления**

Учитель формирует представление о двух основных типах загрязнителей: растворимых и нерастворимых в воде. Кроме того, по агрегатному состоянию основные промышленные загрязнители могут быть жидкими или твердыми. В зависимости от конкретного вида загрязнителя для удаления его из сточных вод могут использоваться следующие методы: декантация, безнапорная и отсасывающая фильтрация, центрифугирование, дистилляция, диализ и осмос.

Учитель кратко знакомит учащихся с особенностями каждого метода и указывает границы его применимости. К примеру, для извлечения из воды взвесей твердых частиц можно использовать простейший метод отстаивания (декантации) или фильтрации. Попутно обсуждаются виды фильтров (песчаные и гравийные подушки, полимерные фильтры, сетчатые фильтры из стекловолокна и др.) и принцип их действия. Например, действие угольных фильтров основано на явлении адсорбции – прилипания некоторых веществ к поверхности адсорбента. Таким образом, из воды удаляется большое количество неорганических и органических веществ, а также некоторые биологические объекты, придающие воде цвет, запах и вкус.

## **II. Химические методы очистки**

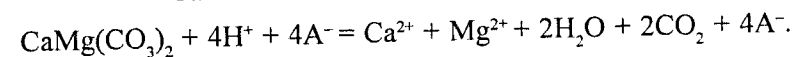
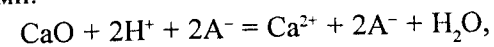
Химические методы очистки сточных вод сводятся в основном к переводу растворенных или диспергированных в воде токсичных примесей в нерастворимые продукты или растворимые нетоксичные формы. В зависимости от конкретного вида загрязнителя для этих целей могут применяться процессы нейтрализации, окислительно-восстановительные или ионно-обменные реакции.

## **1. Нейтрализация повышенной кислотности**

### **Тема. Химические свойства кислот и оснований**

Обсуждая проблему повышенной кислотности промышленных стоков, учитель может использовать уже имеющийся у учащихся запас фактического материала, задав им следующие вопросы: Чем можно нейтрализовать кислоту? Что делать с разлитой кислотой? Как узнать, полностью ли нейтрализована кислота? Какие основания можно использовать для нейтрализации, если пролита соляная кислота? Какие проблемы могут возникнуть при использовании для нейтрализации едкого натра или едкого калия? Можно ли для нейтрализации использовать соли и какие именно?

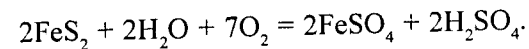
В промышленности для нейтрализации кислот широко используют карбонатные породы (известняк и доломит), а также известь (гашеную и негашеную). В частности, для нейтрализации стоков, содержащих серную кислоту, обычно используют доломит (смешанный карбонат магния, кальция). Сущность процессов нейтрализации одноосновной кислоты может быть выражена следующими ионными уравнениями:



## **2. Метод ограничения доступа реагента**

### **Тема. Серная кислота. Закономерности протекания химических реакций**

Одна из проблем, возникающих при разработке горных пород шахтным методом, заключается в самопроизвольном образовании серной кислоты при взаимодействии серного колчедана, воды и атмосферного кислорода по реакции:



Причем этот процесс может происходить как на действующих рудниках, так и в давно заброшенных шахтах, что приводит к довольно большим затратам на нейтрализацию образующихся кислотных отходов. Один из способов воспрепятствовать стихийному образованию серной кислоты заключается в ограничении доступа одного из реагентов – кислорода. Для этого выработанные шахты герметизируют, концентрация кислорода в стволе шахты понижается, и скорость протекания реакции резко уменьшается.



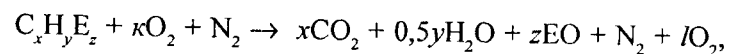
### 3. Окислительно-восстановительные методы

Окислительно-восстановительные процессы широко используют для обезвреживания органических веществ (например, фенолов и аминов), а также неорганических соединений, содержащих ионы  $Mn^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $CrO_4^{2-}$ ,  $S^{2-}$ ,  $CN^-$ ,  $SO_3^{2-}$ . В качестве окисляющих агентов применяют кислород (воздух), озон, хлор, диоксид хлора, пероксид водорода.

#### За. Сжигание отходов

Тема. Кислород, оксиды, горение

Методы сжигания или озоления используют для превращения вредных органических и неорганических веществ в относительно безвредные оксиды. Предварительно из предназначенных к сжиганию отходов физическими методами выделяют вещества для вторичной переработки, а также негорючие примеси. В общем виде процесс сжигания некоторого органического вещества в потоке воздуха может быть выражен следующей схемой:



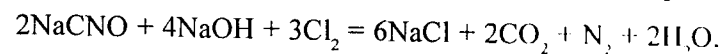
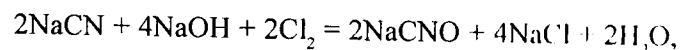
где E – фосфор, хлор или другой химический элемент.

Сжигание осуществляется при высоких температурах и приводит к существенному уменьшению массы твердой части отходов и разрушению большинства вредных веществ. В то же время сегодня методы сжигания имеют весьма ограниченное применение. Связано это с опасностью выброса ядовитых газов: оксидов серы, азота, углерода (II) и образования токсичных продуктов в золевом остатке.

#### 3б. Обезвреживание цианид-ионов

Тема. Окислительно-восстановительные реакции

Цианистые соединения являются отходом широко применяемых гальванических процессов и представляют большую угрозу для окружающей среды. Ниже приведены уравнения реакций, позволяющих превратить ядовитые цианиды сначала в цианаты, а затем в безвредные углекислый газ и воду:

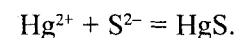
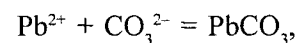
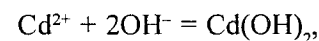


Можно предложить учащимся самостоятельно подобрать коэффициенты в схемах этих реакций методом электронного баланса.

### 4. Методы осаждения ионов

Тема. Реакции ионного обмена

Методы осаждения широко используют для извлечения из сточных вод ионов тяжелых металлов. Удаление тяжелых металлов позволяет микроорганизмам более эффективно перерабатывать вредные органические соединения. Эта проблема стоит особенно остро, если концентрация тяжелого металла превышает 50 мг/л. Сущность методов осаждения составляют реакции ионного обмена, приводящие к образованию осадков, т. е. к удалению ионов тяжелых металлов из водной среды:

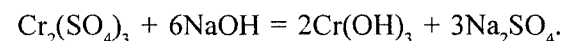
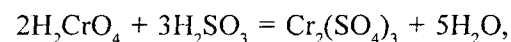


Конкретный реагент для осаждения выбирается из соображений экономичности и безопасности. Методы осаждения обычно очень чувствительны к температуре, концентрации реагентов и некоторым другим параметрам процесса.

### 5. Восстановление с последующим осаждением

Тема. Соединения переходных металлов

Растворимые соединения шестивалентного хрома являются сильнотоксичным отходом некоторых гальванических производств. На примере извлечения хрома из сточных вод можно проследить не только практический метод очистки, но и превращения разных соединений этого элемента. На первом этапе соединения  $Cr^{6+}$  восстанавливают в  $Cr^{3+}$ , который затем осаждают в виде нерастворимого гидроксида:



Нерастворимый гидроксид хрома (III) затем отфильтровывается и превращается в промышленно важные соединения. Поскольку хром – ценный металл, метод экономически оправдан.

## Глава 6

### Проектные технологии

Проектные технологии отличаются от традиционных образовательных систем способом организации учебной деятельности учащихся и планируемыми результатами этой деятельности. Результативно проект представляет целостный законченный учебный продукт, создание которого обычно требует решения комплекса разных задач: организационных, предметных, оформительских и т.д. Деятельность учащихся по разработке проекта включает большой объем самостоятельной, в том числе творческой, работы, интеграцию знаний и учебных навыков, полученных в разных разделах курса, а часто – и в разных учебных дисциплинах. Создаваемый проект, как правило, имеет практическую ценность или имитирует ее.

В качестве примера реализации проектной технологии мы приводим разработку, выполненную учителями химии из США. В ходе работы над этим проектом учащиеся овладевают и пользуются знаниями из химии, экономики, психологии, участвуют в самых разных видах деятельности: опытно-экспериментальной, расчетной, маркетинговой, снимают фильм. При этом собственно химическая составляющая проекта невелика, что позволяет использовать его уже на ранних стадиях изучения химии.

#### Проектируем товары бытовой химии\*

Интересную форму проектного обучения разработали сотрудники химического факультета университета г. Миддлтаун (штат Огайо, США). Ежегодно университет организует летнюю химическую школу для учащихся 11–15 лет. Главная задача школы – показать прикладное значение химических знаний. Во время занятий широко используются игровые формы обучения.

Один из примеров – создание предприятия по производству средства для мытья окон. Для участия в игре требуется минимум предварительных знаний по химии. Участники разбиваются на группы по три–пять человек, образуя «производственные фирмы». Перед каждой такой «фирмой» ставятся следующие задачи:

\* Journal of Chemical Education. 1995. № 4. Р. 344–345.

- разработать проект нового средства для мытья окон;
- изготовить экспериментальные образцы нового средства и провести их испытания;
- рассчитать себестоимость разработанного товара;
- провести маркетинговые исследования и рекламную кампанию нового товара, получить сертификат качества.

По ходу игры школьники не только знакомятся с составом и химизмом действия бытовых моющих средств, но и получают начальные представления об экономике и рыночных стратегиях. Итогом учебной деятельности каждой «фирмы» является технико-экономический проект нового моющего средства.

Игра проводится в следующей последовательности. Сначала «сотрудники» каждой «фирмы» вместе с преподавателем испытывают одно из стандартных средств для мытья окон, переписывают с этикетки его химический состав и разбирают принцип моющего действия. Обычно в состав моющих средств входят три основных компонента: вода (удаляет все виды загрязнений, кроме жиров и масел), изопропиловый спирт (смачивающий агент), аммиак (хорошо удаляет жиры и масла).

На следующем этапе команды приступают к разработке собственной рецептуры моющего средства на основе тех же трех компонентов (причем объем аммиака не должен превышать 20 % общего объема). Можно дать ребятам возможность самим выбрать процентное содержание каждого ингредиента (в этом случае состав смеси должен быть утвержден «государственным инспектором по бытовым химикатам», т. е. преподавателем), а можно предложить каждой «фирме» уже готовые рецепты (табл. 6).

Таблица 6

Примерные варианты составов моющего средства

Ингредиенты	Рецепты					
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й
Вода	25 мл (50 %)	25 мл (50 %)	40 мл (80 %)	50 мл (100 %)	–	–
Изопропиловый спирт	20 мл (40 %)	25 мл (50 %)	–	–	50 мл (100 %)	40 мл (80 %)
Аммиак	5 мл (10 %)	–	10 мл (20 %)	–	–	10 мл (20 %)

Далее каждый проект проходит стадию лабораторного воплощения. На основе разработанной рецептуры учащиеся смешивают необходимые количества реактивов (работа с аммиаком – в защитных

очках!) и помещают полученную смесь в небольшие бутылочки с пульверизатором (можно использовать пустые емкости из-под духов или одеколона).

На каждую бутылочку приклеивают этикетку с торговым названием будущего изделия (его придумывают сами ребята) и надписью «Новое средство для мытья окон».

На следующем этапе «Новое средство» проходит контроль качества. При этом каждая «фирма» экспериментально оценивает моющую способность своей смеси по сравнению с покупным моющим средством. Тестирование проводится следующим образом: оконное стекло, равномерно испачканное загрязнителями разной природы, разделяется на две одинаковые части, одну из которых очищают покупным средством, а другую – экспериментальным. Процедура состоит из двухкратного разбрызгивания моющей жидкости на загрязненное стекло с последующим трех-четырёхразовым протираанием стекла бумажной салфеткой с одинаковым усилием. Затем каждую половину стекла протирают в течение минуты сухим ватным тампоном для снятия остатков грязи. Оба тампона исследуют визуально с помощью лупы с трехкратным увеличением и определяют, в каком случае остаточная загрязненность больше.

Затем каждая «фирма» рассчитывает себестоимость разработанного моющего средства на основе данных об оптовых ценах на каждый из компонентов и на тару. Сравнив полученную себестоимость с реальной ценой на промышленные моющие средства и обнаружив существенную разницу, можно организовать плодотворную беседу о других статьях производственных расходов: стоимости труда, амортизации оборудования, затрат на транспортировку и хранение продукции и др.).

Следующий этап разработки проекта – получение «государственного» сертификата качества на новое моющее средство. Каждая «фирма» представляет на утверждение следующие сведения о своем товаре: соответствие изделия требуемым стандартам качества (результаты лабораторных испытаний), отсутствие экологически опасных веществ, наличие инструкции о способе применения и хранения изделия, проект торговой этикетки, предполагаемое название и ориентировочную цену изделия.

После получения сертификата качества каждая «фирма» организует маркетинговое исследование. С этой целью изготавливаются муляжи будущего моющего средства разной окраски (вода, подкрашенная пищевыми красителями) и подбираются два-три варианта названия изделия. Ребята проводят опрос потенциальных потребителей товара (т. е. своих родственников и знакомых) на пред-

мет определения оптимальной окраски и наиболее привлекательно-го названия разработанного ими моющего средства. С учетом результатов опроса изготавливается опытный образец товара (к имеющейся смеси добавляется выбранный краситель), который маркируется торговой этикеткой, содержащей окончательный вариант названия изделия, его состав и способ применения.

На заключительном этапе разработки проекта каждая «фирма» проводит рекламную кампанию. С этой целью ребята самостоятельно разрабатывают сюжет и снимают на видеокамеру 60-секундный рекламный ролик. Итогом игры может стать презентация нового средства для мытья окон с приглашением родителей и других участников игры. Во время презентации представители каждой «фирмы» рассказывают о механизме действия моющих средств, о достоинствах разработанного ими товара и демонстрируют видеоклип, т. е. в форме, свойственной ролевой игре, отчитываются о полученных знаниях.

## Глава 7

### Немного больше, чем в учебнике

#### Все ли мы знаем об изомерах бензола?\*

С открытия бензола в 1825 г. строение молекулы  $C_6H_6$  на протяжении многих лет было объектом пристального внимания многих химиков. Формально углеводород состава  $C_nH_m$  должен содержать  $r = (2n + 2 - m)/2$  циклов и (или) кратных связей. Для молекул состава  $C_6H_6$   $r = 4$ , что подразумевает следующие варианты строения:

- четыре цикла без кратных связей;
- три цикла и одну двойную связь;
- два цикла и две двойные связи;
- два цикла и одну тройную связь;
- один цикл и три двойные связи;
- один цикл, одну двойную и одну тройную связи;
- четыре двойные связи;
- две двойные и одну тройную связи;
- две тройные связи.

Примеры соединений каждого вида изображены на рис. 39. Общее же число изомеров состава  $C_6H_6$  оказывается очень велико, поскольку каждый вариант строения отображается не единственной структурной формулой. Методами компьютерного моделирования сегодня получены 217 соединений с формулой  $C_6H_6$ .

С появлением в 1865 г. формулы Кекуле и, позже, представлений о делокализации  $p$ -электронов вопрос, какое же именно из этих соединений является бензолом, утратил актуальность, однако это не делает менее интересным изучение изомеров бензола. Так, английский физик и химик Джеймс Дьюар еще в 1867 г., демонстрируя возможности изобретенного им конструктора из пружин и шариков для изображения строения органических молекул, смоделировал шесть изомеров состава  $C_6H_6$  (рис. 40), один из которых даже был назван в его честь бензолом Дьюара (на рисунке последний).

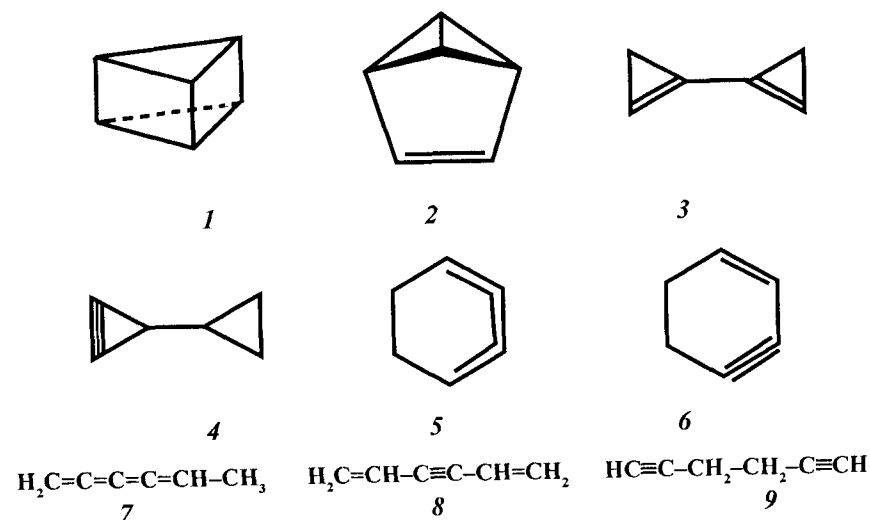


Рис. 39. Различные принципы построения молекулы  $C_6H_6$  (интересно, что все эти вещества, кроме четвертого и седьмого, уже получены экспериментально)

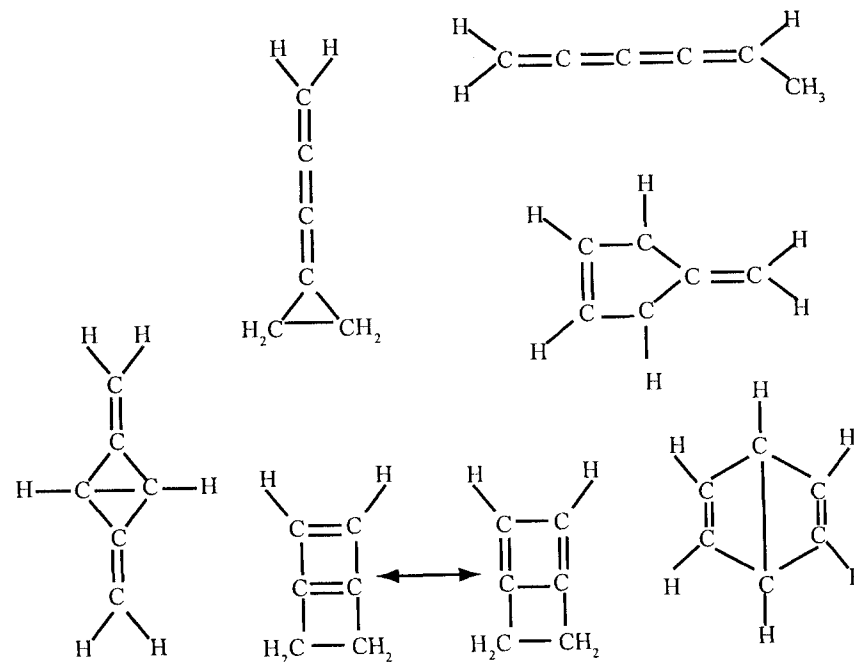


Рис. 40. Возможные структуры  $C_6H_6$ , построенные Дж. Дьюаром (1867 г.)

\* Journal of Chemical Education. 1994. № 3. P. 222–224.

Особый интерес представляют так называемые валентные изомеры бензола, т. е. молекулы, в которых подобно бензолу каждый атом углерода соединен с одним атомом водорода, их формулы  $(\text{CH})_6$ . Известно только пять соединений такого рода, одно из которых – собственно бензол (рис. 41, а). Бензол Дьюара (рис. 41, б), бензвален (рис. 41, в) и призма (рис. 41, г), полученные соответственно в 1963, 1967 и в 1973 гг., являются нестойкими бесцветными жидкостями. В 1989 г. был получен последний из известных валентных изомеров бензола – бициклопропен-2-ил (рис. 41, д). Но значит ли это, что иных способов соединения шести групп  $\text{CH}$  не существует?

Для ответа на этот вопрос воспользуемся методом математического моделирования (теорией графов). Поставим задачу следующим образом: найти все возможные варианты соединения между собой шести вершин (групп  $\text{CH}$ ) так, чтобы каждая из них была связана с другими вершинами тремя связями (именно столько связей может образовать группа  $\text{CH}$ ). Будем называть вершину насыщенной, если от нее отходят три связи.

Обозначим заданные шесть вершин символами  $V_1, V_2, V_3, V_4, V_5$  и  $V_6$ . Начнем их соединение с двух первых вершин –  $V_1$  и  $V_2$ . Отметим, что две вершины не могут быть связаны тройной связью, так как в этом случае сразу получается насыщенная конструкция, и остальные четыре вершины остаются вне нее. Значит, возможны два варианта соединения: одинарной или двойной связью. Рассмотрим второй вариант. Если вершины  $V_1$  и  $V_2$  связаны двойной связью, то каждая из них может быть связана еще с одной вершиной. Возможны следующие ситуации:

- (А) вершины  $V_1$  и  $V_2$  замкнуты на одну и ту же вершину  $V_3$ ;
- (Б) вершины  $V_1$  и  $V_2$  соединены с двумя вершинами –  $V_3$  и  $V_4$ .

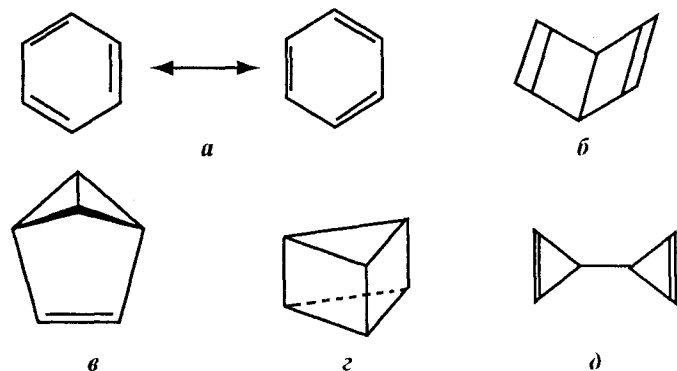


Рис. 41. Известные валентные  $(\text{CH})_6$ -изомеры бензола

В случае (А) вершина  $V_3$  будет связана еще с одной вершиной  $V_4$  для насыщения. В свою очередь,  $V_4$  будет насыщена, если от нее отходят еще две связи к вершинам  $V_5$  и  $V_6$ , которые в этом случае соединяются между собой единственным способом – двойной связью (рис. 42, д).

В случае (Б) вершины  $V_3$  и  $V_4$  либо (Б<sub>1</sub>) не связаны между собой, либо (Б<sub>2</sub>) связаны одинарной связью (так как двойная приведет к преждевременному насыщению всей конструкции).

В случае (Б<sub>1</sub>) оставшиеся вершины  $V_5$  и  $V_6$  могут быть либо соединены каждая с обеими вершинами  $V_3$  и  $V_4$ , а кроме того еще и между собой (рис. 42, в), либо соединены каждая лишь с одной из вершин  $V_3$  и  $V_4$  и дополнительно – между собой (рис. 42, а).

В случае (Б<sub>2</sub>) единственный вариант насыщения оставшихся вершин показан на рис. 42, б.

Аналогичные рассуждения, проведенные при условии, что в конструкции присутствуют только одинарные связи, приводят к структурам, изображенным на рис. 42, г, е.

Нетрудно заметить, что первые пять графов (а – д) на рис. 42 дублируют структурные формулы известных валентных изомеров бензола (см. рис. 41). А вот шестой граф (рис. 42, е) не может быть поставлен в соответствие ни одной из известных молекул. Таким образом, теория графов прямо указывает на возможность существования еще одного валентного изомера бензола. В пространстве эта молекула может представлять собой что-то вроде искаженного октаэдра, у которого отсутствует ряд ребер, зато имеется крайне длинная связь, соединяющая дальние вершины

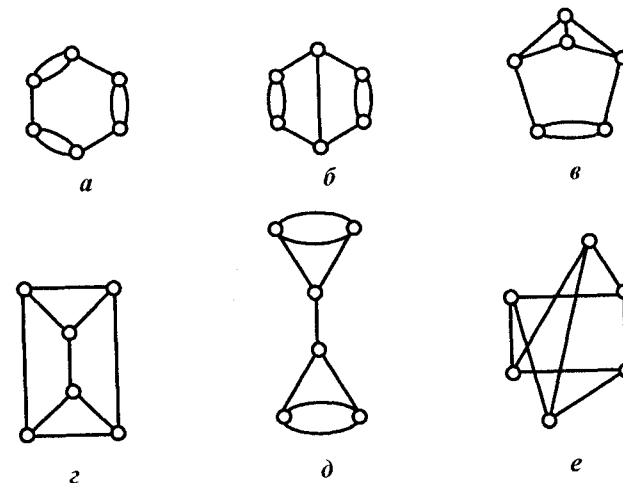


Рис. 42. Варианты соединения шести вершин  $(\text{CH})$

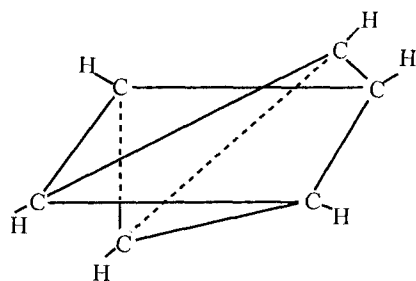


Рис. 43. Неизвестный валентный изомер бензола

и проходящая через экваториальную плоскость (рис. 43). Безусловно, углеводород такого строения будет крайне неустойчив, однако формально он удовлетворяет требованиям классической теории химического строения. Неизвестно, будет ли он когда-либо синтезирован, но сам факт обнаружения нового валентного изомера бензола является красивой иллюстрацией применения математических методов в органической химии.

## Почему соединения азота взрывоопасны?\*

Для начала – несколько документальных фактов.

1. 16 апреля 1947 г. в одном из трюмов торгового судна «Грандкемп», стоявшего у причала Техас-Сити (штат Техас, США), возник пожар. На борту судна находилось 2,5 тыс. т гранулированного удобрения – аммиачной селитры. Команда не смогла справиться с пожаром, и спустя 37 мин нитрат аммония взорвался. Последствия взрыва оказались ужасными. Уничтожены были не только «Грандкемп», но и стоявший рядом с ним сухогруз «Хай Флайер», тоже груженный нитратом аммония, а также расположенный рядом химический завод «Монсанто». Взрывной волной было разрушено две трети зданий в городе, при этом погибли более 500 человек.

2. Журнал «The Economist» от 18 мая 1991 г. писал: «В течение последнего времени пожарное ведомство Сизтла имело дело с рядом чрезвычайно сходных пожаров. Во всех случаях температура пламени была столь высока, что в зоне возгорания плавилась сталь и крошился бетон. Предполагается, что поджигатели использовали смесь алюминиевой пудры и нитрата аммония, которая воспламеняется при добавлении воды и способна развивать температуру до 3000 °С».

3. В 1990 г. был убит рабочий химического комбината фирмы «Артур Д. Литтл, Компани» в результате мощного взрыва смеси титановой стружки с нитратом серебра. Последующие испытания показали, что смесь титана и нитрата серебра чувствительна к сотрясению и способна взрываться при ударе или при нагревании.

Из приведенных примеров видно, что причинами трагических событий послужили соединения азота – нитраты, в частности нитрат аммония. Это хорошо известное соединение широко применяется в качестве химического удобрения, но в то же время обладает свойствами сильного окислителя и в смеси с восстановителями становится взрывоопасным.

\* Journal of Chemical Education. 1993. № 5. P. 392–394.

На основе аммиачной селитры разработаны промышленные взрывчатые смеси, применяемые при гражданских строительных работах (прокладке дорог, разработке карьеров и шахт, пробивке тоннелей и т. д.). Миллионами тонн производится взрывчатка, содержащая 95 % гранулированного нитрата аммония и 5 % жидкого топлива. Смесь эта экономична, безопасна при транспортировке и хранении, поскольку ингредиенты смешиваются непосредственно на месте взрывных работ, а продукты взрыва нетоксичны (образуются главным образом азот, вода и углекислый газ). Широко применяется модифицированная смесь – желатинизированный водный раствор аммиачной селитры, в котором диспергированы необходимые количества алюминиевой пудры и жидкого топлива. Эта смесь либо поставляется в пластмассовых капсулах, либо закачивается из емкостей в ствол будущей шахты или тоннеля. Детонатором для нее является смесь тринитротолуола (ТНТ) и пентаэритриттетранитрата (ПЭТН).

Сильными взрывчатыми веществами являются и органические вещества, содержащие кислотный остаток азотной кислоты или нитрогруппу: нитроглицерин, нитроцеллюлоза, тринитротолуол, октоген (циклотетраметилентетранитроамин). Их структурные формулы приведены на рис. 44.

Общая особенность этих соединений в том, что их молекулы содержат одновременно и восстановитель, и окислитель, а продуктами разложения являются, как правило, азот, кислород, угарный или, в некоторых случаях, углекислый газ.

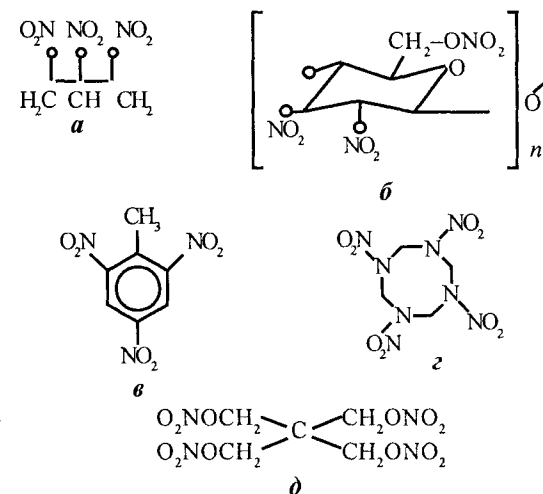
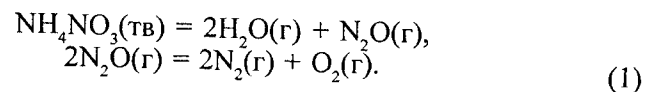


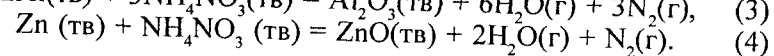
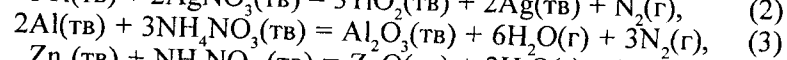
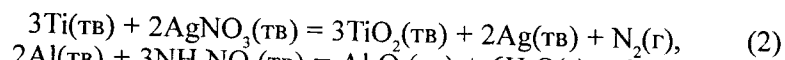
Рис. 44. Структурные формулы органических азотосодержащих взрывчатых веществ: а – нитроглицерина; б – нитроцеллюлозы; в – тринитротолуола; г – октогена; д – ПЭТН

В чем же причина взрывчатых свойств нитратов (аммония и других)? Для начала рассмотрим химизм соответствующих процессов. Термическое разложение нитрата аммония приводит к образованию кислорода и закиси азота, которая может дальше разлагаться с образованием свободного азота и кислорода:

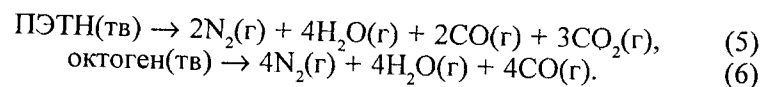


Именно эти процессы протекают при поджигании нитрата аммония жидким топливом.

В смеси с восстановителями, например с порошкообразными металлами, нитраты ведут себя как сильные окислители:



Разложение органических соединений азота (таких как ПЭТН или октаген) отличается тем, что из небольшого количества твердого кристаллического вещества образуется огромное количество газов:



При этом следует также учесть, что в зоне взрыва развивается температура до 3000 °С, а в этих условиях 1 моль газа занимает объем не 22,4 л, а порядка 200 л.

Теперь разберемся в том, что же такое взрыв. Взрывом принято называть сильно экзотермическую реакцию, идущую с образованием большого количества газообразных продуктов. Стремительное расширение горячих газов (с температурой порядка 2000–3000 °С) приводит к формированию взрывной волны, производящей разрушения. Скорость протекания реакции разложения решающим образом влияет на силу взрыва. Так, боевые взрывчатые вещества ТНТ, ПЭТН и октоген при детонации образуют взрывные волны, распространяющиеся со скоростями 6,9, 8,4 и 9,1 км/с соответственно, т. е. со сверхзвуковыми скоростями. Столь высокие скорости объясняются свободнорадикальным характером разложения этих органических веществ.

Важным условием формирования взрывной волны является высвобождение энергии и образование газообразных продуктов. Таким образом, сила взрыва в большой мере определяется степенью понижения энтальпии и повышения энтропии. В частности, поскольку соб-

ственно работу взрыва производят газообразные продукты, то чем больше газов образуется при разложении (т. е. чем больше рост энтропии), тем сильнее, в общем, будет взрывная волна. С этой точки зрения идеальным продуктом разложения является азот. Будучи химически довольно инертным, образующийся при взрыве азот практически не взаимодействует с другими веществами, т. е. не связывается во вторичные продукты, которые могут выводить газ из зоны реакции. Именно поэтому все известные мощные взрывчатые вещества являются соединениями азота.

Отметим также, что неизменным продуктом окислительно-восстановительных реакций (1), (3), (4) с участием нитрата аммония является вода. Ввиду высокой прочности связей в молекуле воды эти реакции сопровождаются высвобождением большого количества энергии. Поэтому можно утверждать, что именно образование молекул воды придает разложению нитрата аммония взрывной характер.

Однако принципиально важным является не абсолютное количество выделяющейся при взрыве энергии и не общий объем газа, а количество энергии, приходящейся на единицу объема образующегося газа, поскольку именно эта величина характеризует способность расширяющегося газа производить работу.

Интересно поэтому сравнить разные взрывчатые смеси по количеству образующегося при взрыве газа, а также по энергии, приходящейся на моль газа или на 1 г реагентов.

К примеру, сравнивая реакции (2) и (3), следует отметить, что при сопоставимых величинах изменения энтальпии (соответственно –2589 кДж/моль азота и –2033 кДж/моль оксида алюминия) в смеси Ti/AgNO<sub>3</sub> вся выделяющаяся энергия приходится на моль образующегося газа (азота), а в смеси Al/NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> энергия распределяется между девятью молями газа (6H<sub>2</sub>O + 3N<sub>2</sub>). Поэтому в первом случае взрывной эффект будет более значительным, а смесь алюминия с нитратом аммония при взрыве ведет себя более спокойно, но также дает мощное пламя, которое практически невозможно потушить.

В военных целях особый интерес представляет количество высвобождаемой энергии на 1 г реагентов. К примеру, для смеси Ti/AgNO<sub>3</sub> эту величину рассчитывают следующим образом (см. уравнение (2):

масса трех молей титана .....	144 г;
масса двух молей нитрата серебра .....	340 г;
общая масса реагентов .....	484 г;
энергия в расчете на 1 г .....	2589 : 484 = 5,35 кДж/г.

Расчетные значения важнейших взрывных характеристик некоторых смесей приведены в табл. 7.

Таблица 7

**Взрывные характеристики некоторых смесей**

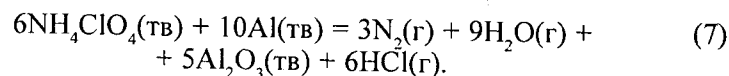
Взрывчатая смесь	$\Delta H^\circ$ реакции, кДж/моль	Кол-во газов Кол-во реагентов		Кол-во энергии	
		моль моль	моль г	кДж моль газ.	кДж г реаг.
Ti/AgNO <sub>3</sub>	-2589	1/5	0,0020	2589	5,35
Al/NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	-2033	9/5	0,0306	226	6,92
Zn/NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	-467	3/2	0,0206	156	3,21
Al/NH <sub>4</sub> ClO <sub>4</sub>	-9334	18/16	0,0185	518	9,57
ПЭТН	-1998	11/1	0,0348	182	6,40
Октоген	-1836	12/1	0,0405	153	6,20

Анализируя данные табл. 7, нетрудно видеть, что каждый пиротехнический состав обладает своими особенностями, определяющими области их применения.

Например, смесь Ti/AgNO<sub>3</sub> отличается от прочих тем, что весь тепловой эффект реакции приходится всего лишь на один моль выделяющегося газа. Формирующаяся при взрыве этой смеси взрывная волна будет особенно разрушительна. Октоген и ПЭТН образуют при взрыве очень большой объем газов и при этом характеризуются высоким значением энергии, приходящейся на 1 г реагентов. Именно поэтому оба состава применяют в военных целях.

Особо следует остановиться на смеси Al/NH<sub>4</sub>ClO<sub>4</sub>. При экстремально высоком значении  $\Delta H^\circ = -9334$  кДж/моль (!) этот состав характеризуется относительно низкой (~1 м/с) скоростью горения, что позволяет сделать реакцию управляемой. А поскольку эта смесь к тому же является рекордсменом по величине энергии, высвобождаемой в расчете на 1 г реагентов (см. табл. 7), то она оказывается почти идеальной в качестве твердого топлива для ракетных двигателей. Ведь при подъеме космического корабля на орбиту становится важным каждый грамм полезной нагрузки!

Взаимодействие алюминия и перхлората аммония по своим характеристикам является, скорее, не взрывом, а очень быстро протекающей сильноэкзотермической реакцией горения:



При старте ракеты-носителя с мыса Канаверал можно наблюдать мощный шлейф белого дыма – тонкодисперсной взвеси оксида алюминия в газообразном хлороводороде, выделяющихся при сгорании топлива [см. уравнение реакции (7)].

Обращение с перхлоратом аммония, как и со многими другими соединениями азота, требует большой осторожности. Это соединение обладает свойствами сильного окислителя и способно разлагаться со взрывом при нагревании до 400 °С, образуя азот, хлор, кислород и воду. В 1988 г. в штате Невада в результате взрыва перхлората аммония и возникшего вследствие этого пожара был полностью уничтожен завод, производивший ракетное топливо.

Завершая краткий обзор взрывоопасных смесей на основе соединений азота, отметим еще раз их важнейшие особенности. Во-первых, обязательным продуктом реакций между металлами и нитратами, в частности нитратом аммония, является газообразный азот, химическая пассивность которого исключает связывание его другими веществами. Именно азот является поэтому важным действующим агентом в образующейся взрывной волне. Другими продуктами таких реакций являются оксиды металлов и (или) вода. Эти соединения характеризуются очень прочными связями, а потому их образование приводит к резкому понижению энтальпии (высвобождению энергии). Именно выделение большого количества энергии одновременно с образованием газообразных продуктов приводит к явлению, которое называют взрывом. Мощность взрыва в большой степени определяется количеством высвобождаемой энергии в расчете на моль выделяющегося газа.

Теперь нетрудно понять, почему ни одна авиакомпания мира не принимает на борт транспортных самолетов химические удобрения, если в их состав входит нитрат аммония. Ведь корпус и многие детали воздушных судов сделаны из алюминиевых сплавов, а потому самолет, начиненный нитратом аммония, стал бы, по сути, летящей бомбой!



## Глава 8

### Актуальные вопросы химического образования

#### Научная этика в школьном курсе химии\*

Подготовка будущего химика должна включать не только фундаментальное образование, но и нравственное воспитание. Этому вопросу была посвящена одна из конференций Американского химического общества (АХО).

Сегодня уже очевидно, что исследование природы не укладывается в простую схему «объект исследования – субъект исследования», которой придерживались еще в начале XX в. Ученый не является нейтральным наблюдателем, фиксирующим объективную реальность. От его личной позиции и добросовестности напрямую зависят получаемые результаты (достаточно вспомнить нашумевшую в начале 1990-х годов историю с «холодным термоядом»). Кроме того, современный научный процесс является коллективным действием, участник которого должен быть готов к неоднозначности отношений с коллегами и уметь считаться с критикой. Наконец, достижения науки давно уже перешли ту границу, до которой они могли считаться «милыми причудами» естествоиспытателей. Сегодня от гражданской ответственности ученого зависит будущее человечества: вспомним хотя бы о ядерной энергетике и генной инженерии. Между тем, как отмечалось на конференции, школьный курс химии не нацелен на подготовку учащихся к сложным нравственным проблемам, на которые указывали еще руководители Манхэттенского проекта Р. Оппенгеймер и В. Гейзенберг. В ходе последней крупной реформы системы образования в США (инициированной успехами СССР в освоении космоса) все силы национальной педагогики были брошены на углубление фундаментального образования и ускорение подготовки научных кадров. В итоге в постспутниковую эру (как выражаются американцы) из школьной и вузовской программ оказался исключен даже курс истории наук, в котором хоть как-то затрагивались вопросы научной этики.

\* Journal of Chemical Education. 1996. № 1. P. 33–34.

Но с начала 1990-х годов предпринимаются усилия преодолеть некоторую однобокость естественно-научного образования. Например, обязательным условием получения национальных грантов в этой области стало наличие в выдвигаемых проектах тематического раздела «Научная этика». В вестнике АХО с 1994 г. регулярно печатается рубрика «Этика современных исследований в области химии». Среди актуальных этических аспектов современного научного процесса называются следующие: фальсификация и подтасовка результатов; плагиат; конкуренция интересов исследовательских групп, ведущих параллельные разработки; приоритет и авторство открытий; конфиденциальность и утечка данных; недобросовестность в регистрации и интерпретации фактов; защита человека и живой природы от вредных воздействий; утилизация отходов экспериментальной науки.

В центре внимания участников конференции АХО, естественно, оказался вопрос: как реформировать систему химического (и вообще естественно-научного) образования с учетом актуальности этических проблем? Молодой специалист должен быть подготовлен к тому, что в повседневной практике ему придется решать не только научные, но и нравственные задачи, более того, он должен уметь разобраться в ситуации и понять, перед каким выбором он стоит. Называлось несколько подходов: например, изменение национальных образовательных стандартов или введение специального учебного предмета «Научная этика». Обращалось также внимание на то, что сам процесс преподавания является важнейшим средством воспитания нравственности. Общение учителя с учеником никогда не является нейтральным. Даже плохой преподаватель влияет на формирование мировоззрения своих учеников. А потому каждодневная рутинная работа на уроке и есть, в действительности, то, что закладывает этический кодекс будущего ученого. В связи с этим учителям химии предлагаются следующие рекомендации:

в процессе преподавания не отстраняться от обсуждения нравственных аспектов изучаемой темы. Наиболее эффективно такое обсуждение, когда его предлагает ученик, а не учитель. Поэтому обсуждение спорных ситуаций, возникших естественным образом по ходу урока, гораздо полезнее искусственно вводимого отдельного курса «Научная этика»;

уделять большое внимание исторической и социальной обстановке возникновения тех или иных научных теорий, их философскому содержанию. Учащиеся должны понимать, что научное открытие – не только плод блестящей игры ума, но и результат сложного и не всегда нравственно однозначного процесса, отразившего все особенности своей эпохи и способного, в свою очередь, сильно изменить жизнь людей;

поощрять учащихся к проведению самостоятельных исследований, выполнению курсовых работ и подготовке рефератов по темам, затрагивающим этические проблемы научного процесса прошлого и настоящего;

помнить, что важнейшим условием воспитания нравственно зрелого человека являются высокие моральные качества самого воспитателя.

### **Экзамен по химии в американской школе: новый подход?\***

Что такое экзамен? Демонстрация умения запоминать информацию или проверка умения пользоваться ею для решения разнообразных задач? Казалось бы, ответ очевиден: современная система образования нацелена на воспитание у учащихся умения творчески работать с информацией. В начале XXI в. хорошим специалистом в своей области считается не тот, кто лучше запоминает (все равно всего не выучишь), а тот, кто лучше умеет анализировать и систематизировать, устанавливать связи между фактами. Тогда почему же на выпускных экзаменах в школе, как и 100 лет назад, выше всего ценится способность ученика заучить и воспроизвести на память группу обособленных фактов?

Этот вопрос ставит в статье для «*Journal of Chemical Education*» учитель химии из США Р. Беккер. «С первых лет работы в школе меня поражало вопиющее противоречие между построением учебного курса и содержанием итогового экзамена по химии». Действительно, в течение учебного года занятия строятся в полном соответствии с современными тенденциями в образовании: применяются разнообразные образовательные технологии, поощряется групповая работа, учащимся прививается умение работать со справочниками, учебной литературой, собственными конспектами, широко используется ученический эксперимент. На экзамене же наблюдается прямо противоположная картина: все формы деятельности, к которым ученика старательно приучали, теперь ему запрещаются. Лишенный возможности взаимодействия с учителем и своими товарищами, отрезанный от источников информации, несчастный экзаменуемый должен отбарабанить выученный накануне ночью текст. Неудивительно, что многие при этом переживают стресс, память о котором сохраняется на долгие годы.

\* *Journal of Chemical Education*. 1995. № 9. P. 816–819.

«Необходимо изменить саму идеологию проведения экзамена», — считает Р. Беккер. Вместе с группой коллег-единомышленников из школ штата Миссури (США) он разработал и осуществляет на практике новую форму проведения итоговых экзаменов по химии. В основу положены четыре ключевых принципа: 1) экзаменационные задания имеют не репродуктивный, а проблемный характер; 2) на экзамене разрешается и даже считается обязательным использовать справочную литературу, а также конспекты учащихся; 3) для выполнения и сдачи экзаменационных заданий учащиеся объединяются в группы; 4) экзаменационная работа включает большой объем экспериментальных задач.

Свой подход автор аргументирует следующим образом. Химия в школе изучается не для того, чтобы учащийся затвердил наизусть Периодическую систему или запомнил свойства всех изученных веществ. Эти сведения он всегда сможет при необходимости найти в справочной литературе, которая сегодня общедоступна. Зачем же на экзамене ставить ученика в неестественное положение, заведомо невозможное в современной жизни, и лишать его доступа к источникам информации именно тогда, когда он в них больше всего нуждается? На экзамене следует проверять, как он научился работать с источниками информации для решения проблемных задач, т. е. то, чему его, собственно, и учили в школе. «Если кто-нибудь из моих ребят помнит наизусть, к примеру, число Авогадро, — пишет Р. Беккер, — то это происходит не потому, что его заставляют его запомнить, а потому, что оно запоминается само собой при многократном употреблении. Но если спустя лет двадцать тот же человек, став, к примеру, профессиональным программистом, затруднится при случае с ходу вспомнить точное значение этого числа, то должен ли я считать это браком в своей работе? Думаю, что нет. Если мой выпускник, открыв нужный справочник, найдет там требуемое значение и сможет грамотно использовать его при решении важной для него прикладной задачи, я буду считать это адекватным своей преподавательской деятельности». Вот почему на экзамене в школе Р. Беккер разрешает пользоваться любыми пособиями, но зато задания экзамена носят проблемный характер.

При этом наблюдается интересный эффект. Зная заранее, что на экзамене можно будет пользоваться конспектами уроков, учащиеся начинают иначе относиться к текущим записям. Они совершают своего рода открытие: оказывается, самая обычная рабочая тетрадь может быть не только средством отчитаться

по пройденному материалу, но и постоянно пополняющейся базой данных, пригодной для решения самых разнообразных задач. Это заставляет многих ребят хранить тетради по химии даже после окончания школы!

Пожалуй, самым необычным в системе, которую придумал Р. Беккер, является выполнение экзаменационной работы в группе. Впрочем, логика автора вполне убедительна. В самом деле, деятельность ученого, исследователя, инженера сегодня немыслима вне творческого взаимодействия с коллегами. Работа в лаборатории, в исследовательской группе требует умения распределить поставленную задачу между членами коллектива, координировать свою работу с партнерами, и наконец, каждый из участников должен обладать определенными коммуникативными навыками. Иначе говоря, требуется минимум знаний и умений в области психологии работы группы. В принципе в современной школе такие навыки ребятам дают. А потому есть все основания и на экзамене создать ситуацию коллективной творческой работы. При этом, правда, возникают неизбежные вопросы: как обеспечить загруженность всех членов группы, каким должен быть состав групп и как выводить оценки экзаменуемым в группах?

С первой проблемой Р. Беккер справляется, формулируя экзаменационное задание таким образом, чтобы можно было выполнить его за отведенное время, используя только групповые технологии. Что же касается состава групп... «Я опробовал разные принципы, — пишет он. — Как известно, сегодня очень популярны методики взаимообучения в группах. При этом группа, естественно, комплектуется из разных по уровню знания предмета учеников. Но экзамен — это не учеба, а испытание уже выработанных навыков. А потому я пришел к убеждению, что группу следует создавать из равных по своим достижениям ребят. Это принципиальный момент. Именно группа равных по силам способна к подлинно творческому взаимодействию. Эффект от такой организации экзамена потрясающий. Понимая, что от успешности совместной работы зависит итоговая оценка каждого из них, ребята начинают относиться друг к другу как настоящие партнеры, распределяя между собой общий объем работы, анализируя действия друг друга, вместе готовясь к представлению результатов. Я не первый год провожу экзамен по такой системе и не устаю поражаться тому, как на моих глазах рождается творческий коллектив, способный решать поставленные задачи. Да и можно ли оставаться равнодушным, слыша, например, такой диалог:

— Если я правильно понял, нам надо определить плотность этой штуковины.

— Ну да. Это элементарно: надо массу разделить на объем. Давай-ка, я ее взвешу.

— Да я уже нашел массу. Но как посчитать объем?

— А что если попробовать методом вытеснения воды?

— Так ведь нам не дали ни одного мерного сосуда! Может, рассчитать по формуле?

— Точно! Надо площадь умножить на высоту!

— Да, но эта штука не прямоугольная.

— О, господи! ... и т. д.

Теперь о способе выведения оценки за экзамен. Поскольку оценивается работа группы, то каждый ее участник получает ту же оценку, что и его партнеры. Каждая группа состоит из пяти человек. Таким образом в классе в среднем формируется шесть экзаменационных групп. Все эти группы различаются по успеваемости: сильнейшая — группа № 1, наиболее слабая — № 6. Все группы на экзамене выполняют одно и то же задание, а успешность работы оценивается по отношению числа выполненных заданий к общему их числу. Например, если из 30 заданий выполнено только шесть, то степень выполнения работы — 20 %, и т. д. Затем из процентного выражения оценка переводится в обычную пятибалльную шкалу. Здесь, правда, есть определенные трудности. Понятно, что если работа выполнена на 100 %, то группа получает оценку «отлично». А если степень выполнения работы — 70 %? Для сильнейшей пятерки это весьма низкий показатель, а для более слабых вполне потянет на «хорошо» и даже на «отлично».

Для повышения объективности оценки результата экзамена Р. Беккер разработал методику разноуровневой дифференциации контроля знаний, работающую, правда, только если экзамен сдают сразу несколько классов. Допустим, что экзаменуются учащиеся трех классов, в каждом из которых образовано шесть разноуровневых групп. Все они выполняют одну и ту же экзаменационную работу. При выведении экзаменационной оценки сравниваются показатели групп одного уровня. Например, если группы № 1 (сильнейшие) показали результаты 90, 95 и 64 %, то за эталонный показатель принимается 95 % и оценками будут соответственно «отлично», «отлично» и «удовлетворительно». Если же группы № 6 (слабейшие) имеют показатели, скажем, 50, 36 и 45 %, то за эталонный показатель принимается 50 % и оценками будут «отлично», «хорошо» и «отлично», поскольку для слабых учащихся 50 % — очень хороший

результат. Правда, существует опасность, что одна из групп случайно покажет аномально высокий для своего уровня результат. Например, если группы № 2 имеют показатели 70, 74 и 95 %, то, принимая 95 % за эталон, мы занижим оценки двух других групп. И наоборот, может случиться, что все три группы одного уровня показали аномально низкий результат: скажем, 40, 42 и 38 % на уровне № 3. В этом случае следовало бы результат 42 % оценивать на «отлично», но на самом деле для данного уровня он слишком низкий. Чтобы избежать указанных неточностей, Р. Беккер предлагает эталонный показатель на каждом уровне определять корреляцией лучших результатов по всем уровням. Сущность метода показана на рис. 45. Через лучшие результаты, полученные в группах № 1 и № 6, проводится усредняющая прямая линия, а за эталонный показатель на каждом из остальных уровней принимается точка пересечения этой прямой с линией соответствующего уровня.

Думается, читателю будет небезынтересно познакомиться с содержанием экзаменационных заданий по химии в американской школе. Но сначала несколько слов об организации самого экзамена в Кирквудской средней школе (штат Миссури), где преподает Р. Беккер.

О форме проведения экзамена учащиеся информируются в начале учебного года. Ближе к его концу, примерно за неделю до экзамена, сообщается состав групп, в которых учащиеся будут выполнять экзаменационную работу. Это позволяет ребятам

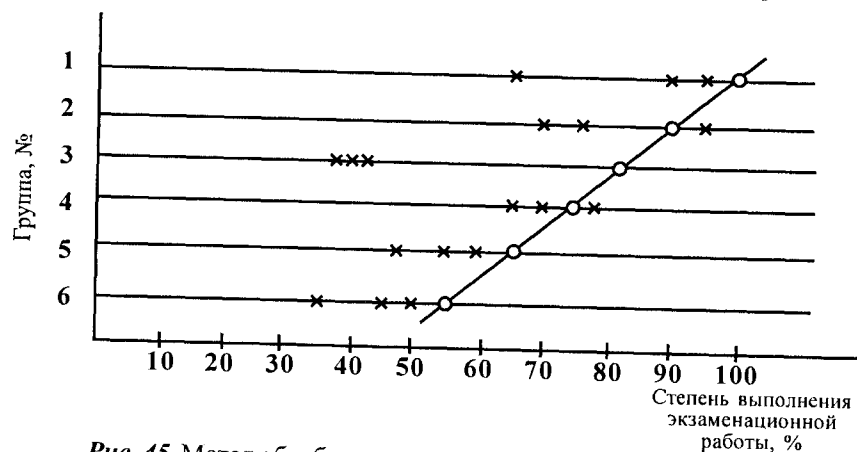


Рис. 45. Метод обработки результатов экзамена:  
 × — экзаменационные показатели;  
 ○ — скоррелированные эталонные показатели

настроиться на коллективную работу и распределить обязанности между собой. На время проведения экзамена в аудитории организуются рабочие места для каждой группы. На рабочем месте имеются необходимые реактивы и оборудование, справочники, тетради учащихся, распечатки экзаменационных заданий. На выполнение работы из 30 заданий, семь–восемь из которых экспериментальные, отводится полтора часа.

В заключение приведем некоторые варианты экзаменационных заданий с ответами и комментариями:

1. Дайте название соединению с формулой  $\text{FeF}_3$ . (Ответ: фторид железа (III).)

2. Рассчитайте значение pH 0,00725M раствора  $\text{HCl}$ . (Ответ: 2,140.)

3. Определите количество структурных изомеров, имеющих общую формулу  $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$ . (Ответ: 14.)

4. Рассчитайте, какая масса  $\text{KCl}$  может раствориться в 65 г воды при  $83^\circ\text{C}$ ? (При решении этой задачи экзаменуемые должны правильно воспользоваться справочными данными о растворимости хлорида калия, интерполировав их на  $83^\circ\text{C}$  и пересчитав результат со 100 г на 65 г воды. (Ответ: 34 г.)

5. Определите суммарное количество протонов в молекуле октана. (Ответ: 66.)

6. Вам выданы растворы пяти неизвестных веществ, закодированные буквами А, В, С, D, Е. Исследуйте возможность всех попарных реакций между ними, отметив признаки реакций. В другом выданном вам наборе растворы тех же веществ расположены в ином порядке и закодированы цифрами 1, 2, 3, 4, 5. Определите экспериментально, какая цифра из второго набора соответствует каждой букве из первого. (В этом задании передэкзаменуемыми не ставится задача идентификации самих растворов. Проверяется лишь их наблюдательность и умение грамотно устанавливать признаки реакций. Один из возможных вариантов этого задания содержит 1M растворы:  $\text{HCl}$ ,  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{KI}$ ,  $\text{HNO}_3$ .)

7. Используя необходимое лабораторное оборудование, приготовьте 1,35M раствор  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Допускаемое расхождение с заданной концентрацией — 3 %.

8. Определите плотность выданного однородного твердотельного предмета (из любого материала с геометрически ясным контуром, например цилиндра. Его объем определяется по известным из геометрии формулам, а масса — экспериментально).

9. Вам выданы растворы некоторых веществ G, H, W. Проведите с ними следующие опыты. Отмерьте 10 капель раствора G в пробирку, а в небольшой стакан – 8 капель раствора H и 2 капли раствора W. Затем перелейте содержимое пробирки в стакан, перемешивайте 3–5 с и наблюдайте появление признаков реакции. Промойте пробирку и стакан. А теперь попробуйте подобрать такое соотношение реагентов G, H и W, чтобы признаки реакции появлялись ровно через 30 с после объединения растворов. Количество предварительных экспериментов не ограничивается, но продолжительность контрольного опыта должна быть как можно ближе к заданной. (В этом задании проверяется не столько знание кинетики химических реакций, сколько системность мышления и умение планировать научный эксперимент. Растворы G и H – это так называемые химические часы, например:  $G = Na_2S_2O_5 + HCl + \text{крахмал}$ ,  $H = KIO_3$ . Оба раствора достаточно разбавлены, чтобы признаки реакции (появление синего окрашивания) обнаруживались не ранее чем через 6–10 с. W – просто вода.)

### Американский химик выбирает карьеру\*

Как известно, система высшего образования в США предусматривает двухступенчатое обучение, которое завершается получением степени бакалавра (первая ступень) и доктора (вторая ступень). К примеру, студент-химик, закончивший бакалавриат, стоит перед выбором: завершить на этом свое образование или пойти в докторантуру. «Journal of Chemical Education» опубликовал любопытное исследование о перспективах карьеры химика, которое будет небезынтересно и российскому читателю.

Допустим, что, закончив первую ступень обучения и получив степень бакалавра химии, новоиспеченный специалист решает продолжить свое образование. Оказывается, для этого ему совсем не обязательно связывать свою дальнейшую карьеру именно с химией. Выпускников с базовым химическим образованием готовы принять на юридические факультеты (по специальности «Патентование» или «Экологическое право»), а также в медицинские училища для подготовки врачей неотложной помощи. Какой выбор следует сделать? На первый взгляд самым естественным решением будет продолжение собственно химического образования, тем более что государство (США) всячески это поощряет и даже готово выплачивать докторанту стипендию все пять лет обучения, тогда как

юридическое и медицинское образования платные и обойдутся учащимся в кругленькие суммы. Однако, выбирая профессию, следует руководствоваться более долгосрочными перспективами, согласно которым карьера юриста или врача куда более привлекательна, чем карьера химика. Выбор, перед которым стоит химик-бакалавр, охарактеризован следующими численными показателями:

Вариант	Докторантура по специальности «Химия»	Юридический факультет	Медицинское училище
Средний возраст при поступлении	21	21	21
Продолжительность обучения, лет	5	3	4 (+3 года стажировки)
Среднегодовая стипендия, долл.	10 000+25 (ежемесячный прирост)	0	0
Среднегодовая плата за обучение, долл.	0	15 356	17 622
Средний годовой оклад в первый год работы, долл.	45 000	57 043	97 828

Как видно, на стадии обучения карьера химика соблазнительнее, но уже в первый год работы юрист и медик получают существенное преимущество в зарплате. Учитывая, что среднегодовой рост зарплаты в США составляет 5 %, разница в доходах юриста и медика относительно химика будет ежегодно расти.

В табл. 8 показана динамика годовых доходов химика, юриста и врача по мере продвижения их карьеры. Отрицательное значение доходов юриста и врача на ранних стадиях карьеры связано с тем, что во время обучения они не получают деньги, а тратят их. (Причем затраты рассчитываются как сумма платы за обучение и расходов на жизнь. Последние для простоты принимаются равными стипендии докторанта-химика.) Прирост зарплаты вычисляется из расчета 5 % в год (среднестатистический показатель в США).

\* Journal of Chemical Education. 1995. № 1. P. 41–42.

Таблица 8

## Динамика годовых доходов химика, юриста и врача

Возраст, лет	Годовые доходы, долл.		
	химика	юриста	врача
21	10 000	-25 356	-27 622
22	10 300	-25 656	-27 922
23	10 600	-25 956	-28 222
24	10 900	57 043	-28 522
25	11 200	59 895	11 200
26	45 000	62 890	11 500
27	47 250	66 034	11 800
28	49 613	69 336	97 828
29	52 094	72 803	102 719
30	54 699	76 443	107 855
35	69 811	97 562	137 654
40	89 098	124 517	175 685
45	113 715	158 919	224 224
50	145 133	202 825	235 435
55	185 229	258 862	365 237
60	236 404	330 381	466 145
64	287 350	401 580	566 602

Численные показатели неумолимо свидетельствуют о преимуществах юриста и врача, имеющих базовое химическое образование, перед чистым химиком. С годами это преимущество только растет. Если же подсчитать совокупный доход всех трех специалистов за все годы обучения и работы, то к моменту выхода на пенсию (65 лет) разрыв достигает катастрофической величины: юрист за время своей карьеры заработает на 2 млн долл., а врач — на 4,5 млн долл. больше, чем химик! Правда если учесть, что рост зарплаты в основном компенсируется повышением цен, и считать начальный оклад всех трех специалистов неизменным вплоть до выхода на пенсию, то разница в совокупном доходе будет несколько меньше: 0,45 и 1,8 млн долл. соответственно. Однако и в этом случае, чтобы заработать столько же, сколько врач, химику придется трудиться на 34 года больше и выйти на пенсию в 99 лет!

Правда, материальные соображения не для всех являются единственным критерием при выборе профессии. Пока еще находятся люди, которые выбирают специальность по призванию.

ISBN 5-93196-134-8



Учебное издание

Автор-составитель

**Владимир Нодарович Головнер****Х и м и я****Интересные уроки****Из зарубежного опыта преподавания**Редактор *А.В. Савенков*Художник *Г.В. Котлярова*Художественный редактор *В.Е. Горин*Технический редактор *Е.Ф. Леонова*Компьютерная верстка и графика *Г.И. Эрли*Корректор *Т.А. Казакова*

Лицензия № 071727 от 01.09.98.

Санитарно-эпидемиологическое заключение  
№ 77.99.02.953.Д.000626.02.02 от 04.02.2002 г.Подписано в печать 27.06.02. Формат 60×90 1/16. Бумага офсетная.  
Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 8,5. Уч.-изд. л. 8,8.  
Тираж 10 000 экз. (1-й завод 1–3 000 экз.). Заказ № 220.

ЗАО «Издательство НЦ ЭНАС».

115201, г. Москва, Каширское ш., д. 22, корп. 3.

Тел./факс (095) 113-53-90, 234-71-82.

E-mail: pr@enas.ru

www.enas.ru

Отпечатано в ФГУП Московской типографии №6  
Министерства РФ по делам печати, телерадиовещания  
и средств массовых телекоммуникаций с готовых диапозитивов.  
115088, г. Москва, ул. Южнопортовая, 24.