



Техника химического эксперимента
II

В.Н. Верховский
А.Д. Смирнов



Техника
химического
эксперимента
Том II

**В. Н. Верховский
А. Д. Смирнов**



**Техника
химического
эксперимента**

Пособие для учителей

Том II

*Издание 6-е,
переработанное*

Рекомендовано Главным управлением школ
Министерства просвещения СССР

Верховский В. Н. и Смирнов А. Д.

В 36 Техника химического эксперимента. Пособие для учителей. Т. II. Изд. 6-е, перераб. М., «Просвещение», 1975.

383 с. с ил. (Метод. 6-ка школы.)

Во втором томе данного пособия для учителей, являющемся продолжением первого тома, рассматривается техника и методика химического эксперимента при изучении систематического курса химии. По сравнению с предыдущим изданием в книгу включено много новых опытов в различных вариантах, что позволит учителю выбрать наиболее отвечающие оборудованию и оснащённости кабинета химии в школе. Кроме того, в пособие включены эксперименты, которые учитель сможет использовать на факультативных занятиях и во внеклассной работе с учащимися.

В 60501-443
103(03)-75 подп. изд.

54(07)

Г л а в а I

ВОЗДУХ. КИСЛОРОД. ОЗОН. ГОРЕНИЕ. ПЛАМЯ

Воздух

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ВОЗДУХА

Сжигание фосфора

Для приблизительного определения содержания азота, точнее азота и инертных газов, и кислорода в воздухе (по объему) сжигают под стеклянным колоколом красный фосфор. Если нет колокола с открытым горлом, его можно изготовить из большой склянки объемом 3—5 л, обрезав у нее дно. На стенках колокола отмечают 5 равных объемов.

Для нанесения делений нужно закрыть горло колокола хорошо подобранной резиновой пробкой, перевернуть колокол горлом вниз и налить в него столько воды, чтобы она не доходила до края на 5—6 см. Измерив объем налитой воды с помощью измерительного цилиндра, приливать затем в колокол по $\frac{1}{5}$ этого количества, отмечая каждый раз уровень воды карандашом для писания по стеклу, кусочком мыла, воском и т. п. Вылив затем воду, нанести в отмеченных местах более прочные и более заметные деления этикеточным лаком (т. I, стр. 294), смешанным с краской, асфальтовым или черным спиртовым лаком, эмалевой или какой-либо другой краской.

Колокол помещают в стеклянную чашку (кристаллизационную и т. п.) высотой 10—12 см, диаметром на 5—6 см больше колокола, в которую при вынутой из горла колокола пробке наливают столько воды, чтобы колокол был погружен в нее до первого снизу деления. Воду можно подкрасить синим лакмусом (т. I, стр. 286). Чтобы колокол не слишком плотно прилегал к чашке, на дно ее кладут две стеклянные палочки или трубочки. Можно также к нижнему краю колокола приклеить менделеевской замазкой три небольших кусочка пробки.

Приподняв колокол, помещают под него на поверхность воды укрепленную на корковой пробке (диаметром 4—5 см, толщиной около 1—1,5 см) крышку от фарфорового тигля (или жестяную коробочку), на которой находится не более 0,5—1 г фосфора.

а) Перед демонстрацией опыта накаливать (можно в пламени стеклянной спиртовки) конец достаточно длинной железной проволоки (можно использовать ложечку для сжигания веществ в кислороде),



Рис. 1. Горение фосфора под колоколом.

ввести ее в открытое горло колокола и прикоснуться к фосфору. Как только фосфор загорится, быстро вынуть проволоку и сразу же плотно закрыть колокол пробкой (рис. 1). Поверхность пробки желательно заранее слегка смочить водой, тогда она лучше и быстрее входит в горло колокола. В первый момент вследствие расширения нагретого воздуха уровень воды внутри колокола понижается. Если колокол недостаточно тяжел, то приходится придерживать его рукой, чтобы он не всплывал, так как он может опрокинуться и часть воздуха выйдет. Вскоре вода внутри колокола начинает подниматься.

Минут через пятнадцать, после того как газ вполне охладится и образовавшийся оксид фосфора P_2O_5 растворится, долить в чашку столько воды, чтобы она стояла на одном уровне снаружи и внутри колокола. Уровень воды при этом поднимается приблизительно на одно деление. Если к воде был прибавлен синий лакмус, цвет его переходит в красный.

Открыв колокол, опустить в него зажженную свечу, укрепленную на проволоке или на ложечке для сжигания веществ в кислороде, или лучинку. Пламя внутри колокола тотчас же гаснет. После этого можно вставить в горло колокола другую пробку с газоотводной трубкой, конец которой опустить (неглубоко) в стакан с известковой водой. При приливании в чашку с колоколом воды (если это позволяет высота чашки) находящийся в колоколе газ будет вытесняться и проходить через известковую воду, не давая при этом мути (отличие азота от углекислого газа). Опыт дает лишь приблизительные результаты, так как после зажигания фосфора часть теплого воздуха, прежде чем будет вставлена пробка, успевает выйти из колокола и, кроме того, некоторая часть кислорода не вступает в реакцию. Так как обе эти причины влияют на результат в противоположных направлениях, то уменьшение объема газа обычно довольно близко к $\frac{1}{5}$ первоначального объема.

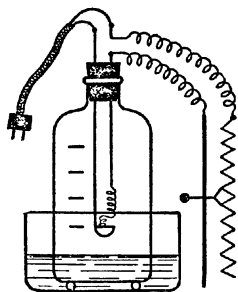


Рис. 2. Приспособление для сжигания фосфора под колоколом.

После демонстрации опыта крышку от тигля, на которой может остаться фосфор, снять с пробки и погрузить в стакан (банку) с раствором медного купороса. Если на крышке (в жестяной коробочке) осталось значительное количество несгоревшего фосфора, его следует сжечь под тягой или на открытом воздухе, держа крышку (коробочку) щипцами в пламени спиртовки, после чего обработать ее раствором медного купороса, а железную коробочку — раствором перманганата калия.

б) Те же результаты получают, если зажечь фосфор раскаленной спиралью, подключенной в электрическую цепь, не вынимая пробку из горла колокола. Для этого можно воспользоваться приспособлением, которое описано при опыте, иллюстрирующем закон сохранения массы (т. I, стр. 336). Прибор для этого опыта изображен на рисунке 2. Устройство прибора такое же, как и для предыдущего опыта, за исключением того, что фосфор помещают не на поплавок, а на ложечку и поджигают его электрическим током.

Вместо колокола иногда используют тубулированную склянку достаточных размеров. При небольшом объеме колокола для погружения его в воду можно вместо чашки взять большой батареинный стакан.

в) В практике для демонстрации опытов по определению содержания азота и кислорода в воздухе используют самодельные приборы различных конструкций. Одна из таких конструкций предложена И. И. Вагнером (рис. 3). Прибор состоит из бутылки 1 с обрезанным или просверленным дном, бутылки 2 с более широким горлом с нанесенными на ней делениями, отмечающими пять одинаковых объемов. Через резиновую пробку бутылки 2 проходит длинная стеклянная трубка 3, соединенная резиновой трубкой, имеющей зажим 8, с другой стеклянной трубкой, конец которой погружен в стакан с известковой водой. Короткая стеклянная трубка 6 соединена резиновой трубкой, имеющей зажим 7, с отводной трубкой бутылки 1. Через пробку бутылки 2 проходят две толстые медные проволоки 5 с присоединенными к наружным концам проводами для подключения тока. Внутренний конец одной из проволок согнут кольцом, в которое помещен маленький фарфоровый тигель 4. Внутри тигля находится небольшая нихромовая спираль, оба конца которой присоединены к медным проволокам.

Перед демонстрацией опыта вынимают пробку из горла бутылки 2 вместе с вставленными в нее трубками и медными проволоками, насыпают в тигель около 0,5 г сухого красного фосфора, слегка прижимают спираль к дну тигля, заполняют резиновую трубку водой. Закрывают зажим 7 и плотно вставляют пробку на место. В стакан наливают известковую воду, в бутылку 1 — подкрашенную воду, закрывают зажим 8

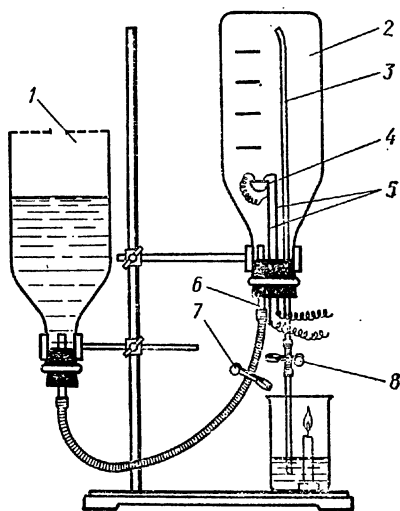


Рис. 3. Прибор для определения состава воздуха:

1 — бутылка с обрезанным дном; 2 — бутылка с делениями; 3 — стеклянная трубка; 4 — фарфоровый тигель; 5 — медные проволоки; 6 — короткая стеклянная трубка; 7 и 8 — зажимы.

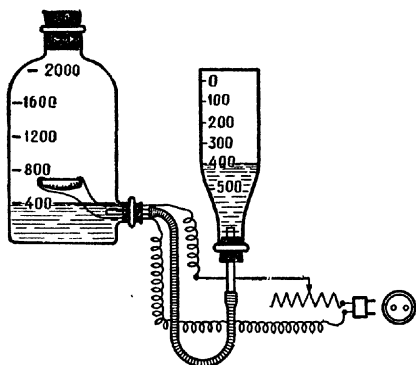


Рис. 4. Определение содержания кислорода и азота в воздухе (упрощенный вариант).

бору остыть, открывают зажим 7 и немного приподнимают бутылку 1. Вода входит в бутылку 2 только до первого нижнего деления. Приподняв картонную крышку стакана, зажигают находящуюся в нем свечу, открывают зажим 8 и поднимают бутылку 1 выше уровня воды в бутылке 2. Вода входит в бутылку 2, вытесняет заключенный в ней газ (азот) через трубку 3. Выходящий газ пробулькивает через известковую воду, но помутнения не вызывает. Горящая в стакане свеча гаснет.

На рисунке 4 показан упрощенный вариант описанного прибора (Ф. Д. Смирнов). Основным резервуаром в нем служит двухлитровая тубулированная склянка. Красный фосфор зажигается нихромовой спиралью в фарфоровой лодочке, укрепленной между двумя медными проволоками, подводящими ток. Бутылку с обрезанным (или просверленным) дном служит уравнильным сосудом. С основным резервуаром он соединен резиновой трубкой. Схема включения и принцип действия прибора Ф. Д. Смирнова понятны из рисунка.

Сжигание спирта

Опыт можно показать, сжигая под колоколом спирт и прибавляя к воде в чашке известь, которая поглощает образующийся при горении оксид углерода CO_2 . Смачивают спиртом вату, прикрепленную к проволоке, вставленной в подобранную к колоколу резиновую пробку. Проволоку загибают на конце крючком, на который и насаживают вату. Вата должна находиться на такой высоте, чтобы конец ее приходился чуть выше четвертого деления колокола. Перед опытом нужно прибавить в чашку с водой 1—2 столовые ложки свежепогашенной извести и хорошо перемешать. После этого поставить в чашку колокол, смочить вату спиртом, зажечь его, быстро опустив в колокол, плотно закрыть его пробкой. Чтобы колокол

и испытывают прибор на герметичность: при поднятой бутылке 1 и открытом зажиме 7 вода не должна входить в бутылку 2 через трубку 6. Опускают бутылку 1 примерно до середины бутылки 2 (зажим 8 закрыть), присоединяют провода к понижающему трансформатору, дающему напряжение 40—50 в, обязательно через реостат (т. I, стр. 98 и 99). При включении тока (при необходимости реостат постепенно выводят) спираль нагревается. Как только фосфор начнет гореть, ток выключают. Когда горение прекратится, дают при-

не всплывал, его придерживают вначале рукой. В дальнейшем поступать так же, как указано выше (стр. 4).

Сжигание серы

Определить содержание кислорода в воздухе можно при сжигании серы в приборе, изображенном на рисунке 5 (Ф. А. Вальков). В склянку, объем которой разделен на 6 частей, наливают раствор щелочи (10-процентный раствор NaOH или KOH) до первого нижнего деления. От верхнего уровня раствора остается 5 равных объемов. В ложечке, вставленной в подобранную к склянке резиновую пробку, зажигают серу (берется в избытке по сравнению с эквивалентным количеством находящегося в склянке кислорода) и плотно вставляют пробку в горло склянки. Когда горение прекратится и газы внутри прибора остынут, открывают зажим на резиновой трубке, соединенной с изогнутой стеклянной трубкой, входящей в пробку, и второй стеклянной трубкой, опущенной в стакан с водой. Оксид серы SO_2 поглощается водой хуже, чем оксид фосфора P_2O_5 , но он хорошо поглощается раствором щелочи (можно слегка взбалтывать раствор в склянке), поэтому вода из стакана поступает в склянку и заполняет ее на $\frac{1}{5}$ объема от верхнего уровня раствора щелочи.

В пособиях по природоведению обычно рекомендуется накрыть горящую свечку, укрепленную в чашке с водой, стаканом. Утверждается, что, после того как свеча погаснет, уровень воды поднимается на $\frac{1}{5}$ объема стакана. Следует иметь в виду, что объем образовавшегося при горении свечи оксида углерода CO_2 равен объему затраченного на горение кислорода и уменьшение объема может быть только за счет образовавшейся при горении воды и за счет того количества CO_2 , которое успевает раствориться в воде. Небольшое поднятие воды при таком опыте, конечно, происходит, но не на $\frac{1}{5}$ объема стакана.

Окисление оксида азота NO

Связывая кислород воздуха, заключенного в определенном объеме, оксидом азота NO с последующим поглощением образовавшегося оксида азота NO_2 водой, можно приблизительно определить объемное содержание кислорода и азота в воздухе. Прибор для такого определения изображен на рисунке 6 (Н. А. Ярошук). Он состоит из склянки емкостью 500 мл. Объем склянки разделен на 5 равных частей. Через резиновую пробку, закрывающую горло склянки, проходит стеклянная палочка с прикрепленной к ней резиновыми колечками небольшой пробиркой (длиной 5 см), капель-

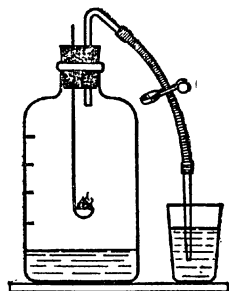


Рис. 5. Определение содержания кислорода в воздухе сжиганием серы.

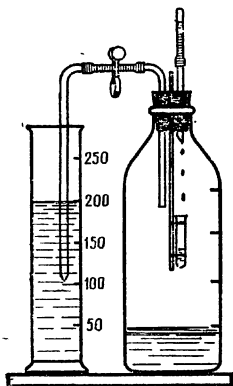


Рис. 6. Определение содержания кислорода в воздухе с помощью оксида азота NO.

ная пипетка емкостью 1,5—2 мл и газоотводная трубка с зажимом, другой конец которой опущен в мерный цилиндр с водой.

Перед опытом внутреннюю поверхность хорошо вымытой склянки смачивают водой (лишнюю воду сливают), в пробирку насыпают 925 мг (расчетное количество) нитрита натрия NaNO_2 , в пипетку набирают 1,5 мл 20-процентной азотной кислоты, левое колено газоотводной трубки до зажима наполняют водой (засасыванием) и закрывают зажим. Плотнo вставляют пробку (с приспособлениями) в горло склянки, следя, чтобы газоотводная трубка была погружена в воду в цилиндре на глубину от деления 200 до 100 мл. При демонстрации опыта надавливают на резиновый баллончик пипетки, чтобы азотная кислота отдельными каплями вытекала в пробирку с нитритом натрия. Происходит

реакция с выделением 200 мл оксида азота NO, для окисления которого до оксида азота NO_2 должно быть затрачено 100 мл содержащегося в объеме склянки кислорода. Образующийся оксид азота NO_2 начинает вступать в реакцию с водой, находящейся на стенках склянки, в которой возникает разрежение. Открывают зажим, после чего вода из цилиндра перетекает по трубке в склянку, поглощая весь оксид азота NO_2 . Всего перетекает около 100 мл воды (0,2 объема склянки).

Опыт нельзя использовать в VII классе при изучении состава воздуха из-за трудности в понимании химизма протекающих реакций, но он может быть успешно применен в курсе IX класса при изучении азота и его кислородных соединений.

Поглощение кислорода щелочным раствором пирогаллола

Для более точного анализа можно воспользоваться поглощением кислорода щелочным раствором пирогаллола $\text{C}_6\text{H}_3(\text{OH})_3$ (триоксибензол) в приборе, изображенном на рисунке 7.

Принцип действия прибора заключается в следующем. В воронку 1 наливают раствор пирогаллола. Когда зажим 2 открыт, раствор стекает в пробирку до тех пор, пока весь кислород находящегося в пробирке воздуха не будет поглощен. Объем перелившегося в пробирку раствора равен объему поглощенного кислорода. Прибор устроен так, что воздух в пробирке до и после опыта может быть приведен к атмосферному давлению. Для удобства нанесения меток вдоль пробирки наклеивают узкую бумажную полоску или наносят матовую полоску наждачной бумагой. К пробирке следует подобрать хорошую резиновую пробку с двумя отверстиями, в одно из кото-

рых вставляют стеклянную трубочку, соединенную с небольшой воронкой, в другое — стеклянную палочку 3.

При подготовке и последующей демонстрации опыта нужно отвесить приблизительно 5 г едкого кали, растворить в 5 мл воды (в отдельной пробирке) и охладить до комнатной температуры. В другой пробирке растворить около 4 г пирогаллола в 10 мл воды. Снять с пробки прибора надетую на нее пробирку (за рант, чтобы она не нагрелась от руки), вынуть из пробки стеклянную палочку. Смешать оба приготовленных раствора и сейчас же вылить в воронку. Приоткрыть зажим так, чтобы каучук и трубочка наполнились раствором, и снова закрыть. Вытекшие из трубочки несколько капель раствора можно собрать в пробирку из-под раствора и перелить обратно в воронку. Так как после смешения пирогаллола со щелочью раствор быстро начинает поглощать кислород из окружающего воздуха, следует немедленно надеть на пробку снятую пробирку (опять держа ее за рант) и вставить стеклянную палочку.

Теперь воздух в пробирке, несмотря на то что в нее вошла пробка, находится при атмосферном давлении (объем вдвинутой в пробку палочки так мал, что им можно пренебречь). Температура воздуха в пробирке также равна температуре окружающего воздуха. Открыть зажим на каучуке. Жидкость начинает стекать в пробирку. Когда ток жидкости прекратится, взять пробирку за рант и приподнять, как показано на рисунке 7 пунктиром (4), чтобы установить уровень жидкости в пробирке и в воронке на одной высоте. Теперь оставшийся в пробирке азот опять находится под тем же давлением и при той же температуре, что и окружающий воздух. Закрыть зажим и перевернуть пробирку в первоначальное положение. Отметить карандашом по наклеенной бумажной или матовой полоске положение нижнего конца пробки и уровень жидкости в пробирке. Отняв пробирку от прибора, вылить из нее раствор, вымыть ее и дать стечь воде.

Влить в пробирку воду из бюретки до первой метки и повторить опыт, доливая воду до второй метки. Найти объемное соотношение между кислородом и азотом воздуха. Ничтожное количество углекислого газа (0,03—0,04%) не принимается во внимание (CO_2 поглощается щелочным раствором одновременно с кислородом).

Использование опыта можно рекомендовать на внеклассных занятиях или на уроках в старших классах с упрощенным объяснением химизма процесса поглощения кислорода.

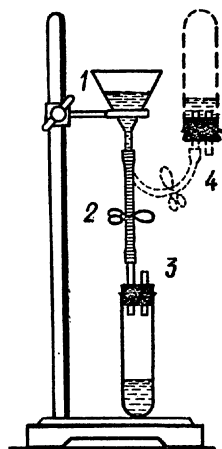


Рис. 7. Определение объема кислорода в воздухе при помощи раствора пирогаллола:

- 1 — воронка; 2 — зажим;
- 3 — стеклянная палочка;
- 4 — положение пробирки при установлении одинакового уровня жидкости.

Прокаливание меди в закрытой пробирке

Такой опыт может быть выполнен учащимися во время практических занятий (Д. П. Королев). В сухую чистую пробирку внести около 0,5 г свежевосстановленной мелкозернистой или порошкообразной меди и плотно закрыть пробирку пробкой. Поддерживая пробирку в горизонтальном положении, распределить легким постукиванием находящуюся в ней медь по стенкам, начиная от дна и до середины.

Нагреть пробирку с медью в пламени спиртовки, начиная от дна. Нагревание можно считать законченным, когда вся медь перейдет в оксид меди CuO или часть меди перестанет изменяться. На это требуется 3—4 мин. Охладить пробирку с полученным оксидом до комнатной температуры.

После охлаждения опустить пробирку с CuO закрытым концом в воду и вынуть пробку. Установить пробирку в сосуде так, чтобы уровень воды, вошедшей в пробирку, совпал с уровнем воды в сосуде (приведение к атмосферному давлению). В этом положении снова закрыть пробирку пробкой и вынуть ее из воды. Перевернув пробирку вниз дном, вынуть пробку и испытать оставшийся в пробирке газ горящей лучинкой.

Налить в бюретку воду и установить уровень ее на одном из целых делений. Вылить воду из опытной пробирки в бюретку и по разности уровней определить объем вошедшей в пробирку воды, а следовательно, и объем кислорода, содержавшегося в воздухе, заключенном в пробирке.

Водой из бюретки заполнить опытную пробирку до обреза пробки, входящей туда при закрывании пробирки. Найти таким образом объем оставшегося в пробирке газа.

Сумма объемов вошедшей в пробирку воды и воды, затраченной на заполнение оставшегося объема, даст объем воздуха, заключенного в пробирке до опыта. (Объемом внесенной меди и оксида меди можно пренебречь.)

Вычисляют объемное содержание кислорода в воздухе (в процентах) по формуле:

$$V_{\text{O}_2} = \frac{V_1 \cdot 100}{V},$$

где V_1 — объем кислорода, V — объем воздуха, V_{O_2} — процентное содержание кислорода в воздухе.

Качественное определение углекислого газа в воздухе

Для доказательства наличия в воздухе углекислого газа продувают воздух в цилиндр с известковой водой с помощью резинового баллона (груши). Помутнение показывает, что в воздухе содержится CO_2 (рис. 8). Полезно испытать воздух в проветренном

классном помещении перед уроком и в конце урока до проветривания (отметить различие во времени появления помутнения).

Доказательство наличия в воздухе водяных паров

а) Внести с холода в помещение какой-либо достаточных размеров металлический предмет или ведро (бутыль) с холодной водой. На наружной поверхности через некоторое время можно наблюдать образование капель конденсирующейся воды.

б) В большую пробирку, погруженную в охлаждающую смесь (стр. 86), продуть резиновой грушей воздух. Внутренние стенки пробирки заметно запотевают.

в) Кусочки едкого натра, безводного хлорида кальция, белый порошок безводного сульфата меди, несколько капель 96-процентной серной кислоты (*осторожно!*) поместить на часовые стекла и оставить на открытом воздухе в течение нескольких дней. Едкий натр и хлорид кальция расплываются, сульфат меди синее, капли серной кислоты заметно увеличиваются в объеме за счет поглощенной из воздуха влаги.

г) Плотную белую хлопчатобумажную ткань пропитать насыщенным раствором хлорида кобальта $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ красноватого цвета. Дать стечь избытку жидкости и, не выжимая ткани, высушить ее, затем осторожно прогладить не слишком горячим утюгом. Принявшую синий цвет ткань вывесить в помещении. В зависимости от содержания влаги в воздухе окраска ткани будет изменяться от синего в фиолетовый или розовый цвет и обратно.

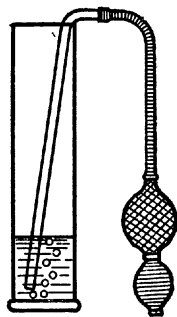


Рис. 8. Продувание воздуха через известковую воду.

Кислород

ПОЛУЧЕНИЕ КИСЛОРОДА

Большие количества кислорода для опытов лучше покупать в аптеке, где имеются кислородные подушки емкостью 20—50 л, наполняемые из стальных кислородных баллонов. При необходимости из подушки можно вначале перевести часть кислорода в газометр или непосредственно наполнять им сосуды для опытов вытеснением воздуха или над водой.

Для первых демонстрационных опытов по обнаружению кислорода, подтверждению относительно малой растворимости его в воде, а также для всех лабораторных опытов учащихся с кислородом используются способы получения его разложением кислородсодержащих веществ.

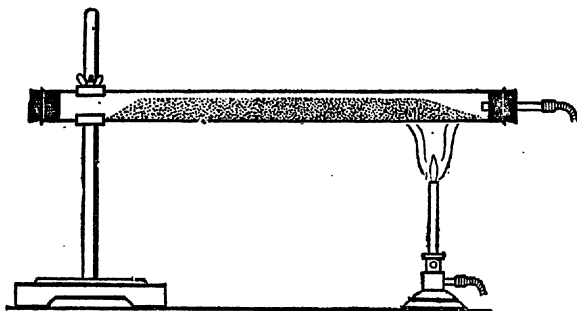
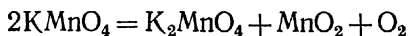


Рис. 9. Трубка для получения кислорода.

1) **Получение кислорода из перманганата калия.** В настоящее время, несмотря на сравнительно высокую стоимость перманганата калия (особенно в аптечной продаже), он является наиболее распространенным исходным продуктом для лабораторного способа получения кислорода. Оправдывается это еще и тем, что остающиеся после выделения кислорода твердые продукты реакции K_2MnO_4 и MnO_2 могут быть использованы при получении хлора как окислители (стр. 236), что позволяет избежать траты более дорогих чистых веществ. Соль разлагается при температуре $240^\circ C$ совершенно спокойно и дает ровный ток кислорода:



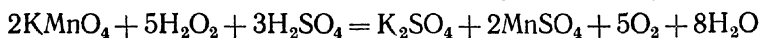
Однако надо иметь в виду, что с серой, углем, фосфором и другими горючими веществами перманганат калия образует взрывчатые смеси, поэтому соль должна быть чистой. 100 г соли дают около 7 л кислорода. Разложение можно вести в реторте, круглодонной колбе, большой пробирке и даже в стеклянной трубке (рис. 9), собирая кислород над водой или вытеснением воздуха.

При лабораторных опытах обычно пользуются пробиркой с газотводной трубкой. Перманганат калия и твердые продукты реакции заметно распыляются. Увлекаемые током кислорода мелкие пылинки, попадая в воздух, могут вызвать раздражение дыхательных путей, иногда заметно окрашивают собранный в банку (вытеснением воздуха) газ и всегда подкрашивают воду при собирании газа над водой, что отвлекает внимание учащихся. Для задержания летящих пылинок выделяющийся кислород пропускают через трубку с неплотно положенной ватой. Если реакция ведется в пробирке, то можно вложить комочек ваты в пробирку около пробки. (О правилах наполнения газометра, собирании газов см. т. I, стр. 277.)

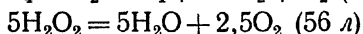
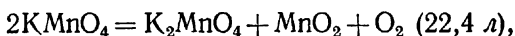
2) **Получение кислорода при взаимодействии перманганата калия с пероксидом водорода (И. Т. Сыроежкин и др.).** При термическом разложении перманганата калия из двух молей его (316 г) получается один моль (22,4 л при н. у.) кислорода (см. ниже). Значитель-

ная часть кислорода остается в связанном состоянии в продуктах реакции, что свидетельствует о неэкономичности этого способа.

Выгодным и вполне доступным в настоящее время исходным продуктом для получения кислорода является пероксид водорода, применяемый в виде водных растворов разных концентраций (от 3 до 10%), которые легко приготовить разбавлением пергидроля (стр. 108). 1 л кислорода, полученный из пероксида водорода, стоит вдвое дешевле, чем выделяемый из перманганата калия. Пероксид водорода можно подвергнуть каталитическому разложению (см. ниже), а также использовать реакцию взаимодействия его с перманганатом калия в кислой среде. При этих условиях KMnO_4 восстанавливается до соединений двухзарядного марганца:



При этом из 2 моль KMnO_4 и 5 моль H_2O_2 получается $22,4 \text{ л} \cdot 5 = 112 \text{ л O}_2$, тогда как при раздельном разложении



получается $22,4 \text{ л} + 56 \text{ л} = 78,4 \text{ л O}_2$, т. е. меньше на 33,6 л.

В лабораторных условиях выгодно получать кислород восстановлением перманганата калия пероксидом водорода, тем более что при этом не требуется нагревания. Реакция может быть осуществлена в простом приборе, изображенном на рисунке 10. В склянку емкостью 250 мл насыпать немного перманганата калия и налить 10-процентный раствор серной кислоты. В капельную воронку налить 3—6-процентный раствор пероксида водорода. Трубку капельной воронки следует удлинить, соединив ее резиновой трубкой со стеклянным наконечником такой длины, чтобы при собранном приборе он был погружен в жидкость в склянке. Это необходимо для предотвращения пробуккивания газа через жидкость в капельной воронке. Для осуществления реакции медленно прилить из капельной воронки раствор H_2O_2 в склянку. Ток кислорода получается непрерывный, легко регулируемый. Для получения 1 л кислорода с учетом необходимого избытка реактивов нужно затратить около 3 г KMnO_4 , 60—70 мл 3-процентного или 30—35 мл 6-процентного раствора H_2O_2 и 40—50 мл 10-процентного раствора серной кислоты.

3) Получение кислорода при каталитическом разложении пероксида водорода. а) Действие твердых катализаторов. Процесс разложения пероксида водорода сильно ускоряется оксидом марганца (IV) MnO_2 . Для получения этим способом небольших количеств кислорода можно применить при-

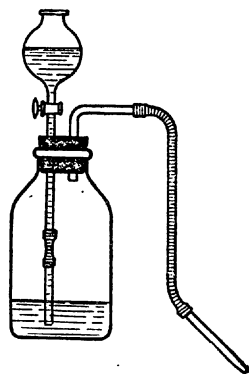


Рис. 10. Прибор для получения кислорода из пероксида водорода и перманганата калия.

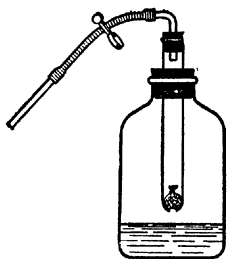


Рис. 11. Прибор для получения кислорода из пероксида водорода.

бор, изображенный на рисунке 11. В пробирку с отверстием в дне, снабженную газотводной трубкой с зажимом, поместить мешочек из плотной ткани с небольшим количеством оксида марганца MnO_2 . В склянку объемом 150—200 мл налить 3—5-процентный раствор пероксида водорода. При опускании пробирки с открытым зажимом в раствор начинается каталитическое разложение H_2O_2 и выделяющийся кислород выходит по газотводной трубке. В нерабочем состоянии пробирка должна быть поднята из жидкости и зажим закрыт.

Удобнее приготовить катализатор в виде гранул, смешав порошок оксида марганца MnO_2 с цементом (В. И. Семишин). На 70 г оксида марганца (IV) берут 150 г цемента, хорошо перемешивают и прибавляют такое количество воды, чтобы образовалось густое тесто. При начале затвердевания массу делят на кусочки (кубики, пластинки) и оставляют на несколько дней до полного затвердевания. Приготовленный таким способом катализатор дает возможность получать из 3—6-процентного раствора пероксида водорода кислород в любом из приборов прерывного действия для получения газов, включая аппарат Киппа. Из 1,7 л 3-процентного раствора пероксида водорода можно получить около 17 л кислорода почти со 100-процентным выходом.

б) *Действие жидких катализаторов.* Водные растворы некоторых солей оказывают сильное каталитическое действие на процесс разложения пероксида водорода (И. И. Балаев, И. Т. Сыроежкин). Наиболее эффективными из них являются комплексный аммиакат меди $Cu[(NH_3)_4]SO_4$ (раствор интенсивного синего цвета)¹ и иодид калия (натрия). Оба катализатора применяются в виде разбавленных растворов. Каталитическим действием обладают также раствор хлорида меди $CuCl_2$, аммиакат серебра, хромат калия и дихромат калия, дихромат аммония. Получить кислород можно, постепенно приливая 7—8-процентный раствор пероксида водорода² к катализатору, налитому в коническую колбу с воронкой (рис. 12) или в склянку прибора, изображенного на рисунке 10. Во избежание попадания пероксида водорода на стол колбу (склянку) следует поставить в стеклянную чашку.

¹ Раствор аммиаката меди готовят приливанием раствора аммиака к раствору медного купороса до полного растворения выпадающего вначале студенистого осадка гидроксида меди.

² 30-процентный раствор пероксида водорода (пергидроль) разбавляют тремя объемами дистиллированной воды. При собирании кислорода в газометр можно пользоваться 15-процентным раствором (разбавить пергидроль пополам). Более концентрированными растворами пользоваться не следует во избежание сильного разогревания.

4) Получение кислорода из персоли (И. М. Чадин). Персоль — перкарбонат натрия $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}_2 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$ — отбеливающее и дезинфицирующее средство, применяемое в быту. При нагревании с водой из нее можно получить в небольших количествах кислород.

В колбу объемом 100—150 мл с газотводной трубкой помещают 5—10 г персоли, приливают 10—20 мл воды и нагревают. Выделяющийся кислород собирают в банку. Опыт можно выполнить в пробирке (для учащихся) с 2—3 г персоли и 3—4 мл воды.

5) Получение кислорода из бертолетовой соли. В настоящее время этот способ утратил значение и обычно используется только для демонстрации явления катализа и для отдельных пробирочных опытов, требующих небольших количеств бертолетовой соли KClO_3 . Но даже при опытах с небольшими количествами можно брать только чистую бертолетову соль. Со многими горючими веществами — углем, серой, фосфором и др. — бертолетова соль может образовать опасные смеси, взрывающиеся при нагревании, трении и ударе.

Если по тем или иным причинам возникает необходимость использования значительных количеств бертолетовой соли для получения кислорода, то даже чистую на вид соль (загрязненная вообще непригодна) следует перед первым применением предварительно испытать, нагревая небольшое количество ее (около $\frac{1}{4}$ чайной ложки) в открытой чашке. Соль плавится около 350°C и затем около 400°C , если она чистая, начинает при осторожном нагревании равномерно и спокойно разлагаться. Если при нагревании соли происходят небольшие взрывы или сильные вспышки, то соль непригодна (ее можно очистить перекристаллизацией¹).

Если бертолетова соль слежалась в комки, ее следует сначала отдельно измельчить в фарфоровой ступке или чашке. Делать это нужно осторожно роговой или деревянной ложкой, а не пестиком, раздавливая комки, но не растирая их. Крупные кристаллы бертолетовой соли лучше измельчать путем перекристаллизации. Следует иметь в виду, что бертолетова соль ядовита и случайное попадание ее внутрь организма (в виде раствора и т. п.) может привести к смертельному исходу. Поэтому на банках и бутылках

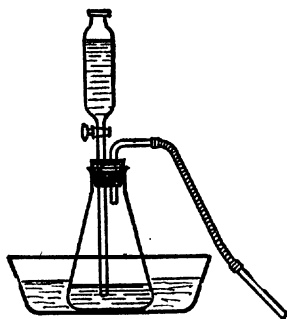


Рис. 12. Прибор для получения кислорода из пероксида водорода с жидкими катализаторами.

¹ Для перекристаллизации готовят насыщенный раствор бертолетовой соли при $60\text{--}80^\circ\text{C}$. Растворимость при этих температурах составляет соответственно 23,8 и 37,6 г в 100 мл воды. В горячем состоянии раствор фильтруют (желательно с использованием воронки для горячего фильтрования), быстро охлаждают и отделяют от маточного раствора на фильтре (лучше под вакуумом на воронке Бюхнера), переносят на лист гладкой бумаги и высушивают на воздухе.

с сухой бертолетовой солью и ее растворами (стр. 203) должны быть четкие этикетки, чтобы ее нельзя было перепутать ни с какими другими веществами.

Для получения кислорода к бертолетовой соли всегда примешивают оксид марганца MnO_2 или другое вещество, каталитически ускоряющее процесс разложения. Если нагревать более или менее значительные количества чистой соли, то на поверхности расплава может образоваться корка тугоплавкого хлорида калия, под которой скопится кислород, в результате чего происходит взрыв. В присутствии оксида марганца MnO_2 бертолетова соль начинает разлагаться раньше, чем она расплавится (около $200^\circ C$). Оксид марганца MnO_2 берется в виде порошка. Он, как и бертолетова соль, не должен содержать никаких посторонних примесей, особенно примесей угля, похожих по внешнему виду на MnO_2 , сульфидов некоторых металлов и т. п. Зернистый (гранулированный) оксид марганца (IV) следует измельчить в ступке. Бертолетову соль и оксид марганца смешивают в объемном отношении 1 : 3. При смешивании вещества не растирают, а только перемешивают, лучше всего встряхиванием в колбе (правила, см. т. I, стр. 170).

Если чистота оксида марганца MnO_2 вызывает сомнение, то, прежде чем готовить большое количество смеси, его следует испытать. Для этого готовят около одной чайной ложки смеси в указанных выше отношениях и нагревают в открытой чашке. Разложение должно протекать спокойно, без сильных вспышек. Незначительные вспышки от почти неизбежных пылинок, появляющиеся к концу разложения, не представляют опасности. Если же смесь, полученная с чистой, испытанной бертолетовой солью, дает сильные вспышки, значит, оксид марганца MnO_2 содержит посторонние примеси и применять его при получении кислорода нельзя.

Оксид марганца MnO_2 можно заменить оксидом железа Fe_2O_3 , хорошо высушенным и прокаленным в железной чашке. Каталитическое действие его слабее, чем оксида марганца MnO_2 . На крайний случай можно взять промытый и прокаленный песок, который обладает еще более слабыми каталитическими свойствами и служит главным образом для того, чтобы разъединять кристаллики бертолетовой соли и помешать им сплавляться.

Смесь бертолетовой соли с оксидом железа Fe_2O_3 или с песком также предварительно испытывают (см. выше). Нагревание приготовленной смеси необходимо вести очень равномерно и не на сильном пламени. Если нагревают на газе, то следует уменьшить приток воздуха в горелку, если же не на газе, то лучше воспользоваться спиртовкой. За током газа нужно внимательно следить и, если разложение начинает идти слишком бурно, следует отставить на время горелку.

При соблюдении всех вышеуказанных предосторожностей получение даже значительных количеств кислорода из бертолетовой соли не представляет опасности. 10 г бертолетовой соли дают около 3 л кислорода.

Каталитическое действие оксида марганца MnO_2 на бертолетову соль и пероксид водорода. а) В пробирку насыпать бертолетову соль слоем около 0,5 см. Укрепив пробирку в зажиме штатива или держа ее в руке при помощи держалки, полоски бумаги и т. п., нагревать бертолетову соль в пламени горелки. Когда начнется выделение кислорода (расплавленная соль начинает как бы кипеть), опустить в пробирку конец тлеющей лучинки примерно на 2—3 см. Если лучинка сразу не вспыхнет, глубже ее не опускать, а повторить испытание через несколько секунд. Продолжать нагревание и испытывать кислород лучинкой через небольшие (примерно одинаковые) промежутки времени, пока соль разложится до конца, т. е. пока лучинка перестанет вспыхивать.

Не следует брать бертолетовой соли слишком много, так как от недостаточно сильного нагревания на расплавленной соли образуется корка, под которой скапливается газ, отчего может произойти взрыв.

б) В другую пробирку взять столько же бертолетовой соли, нагреть ее до плавления и при помощи тлеющей лучинки доказать, что кислород еще не выделяется. Отставив горелку, всыпать в расплавленную соль немного оксида марганца MnO_2 (с конца широкой лучинки или шпателя) и тотчас же поднести к отверстию пробирки тлеющую лучинку. Она сразу вспыхивает, так как после добавления оксида марганца (IV) начинается бурное выделение кислорода. Испытание продолжать до окончания реакции. Это происходит значительно раньше, чем в первом случае.

в) Поместить в пробирку немного (слоем около 1 см) оксида марганца MnO_2 и нагревать его в пламени спиртовки. Показать, что в этих условиях¹ выделения кислорода нет.

г) Поместить в одну пробирку чистую бертолетову соль, в другой смешать такое же количество бертолетовой соли с оксидом марганца (IV). Укрепить обе пробирки в штативе на одной высоте, подставить под них одновременно одинаковые горелки или спиртовки. Спламенем одинаковых размеров и затем испытывать кислород в обеих пробирках (начиная с пробирки с чистой бертолетовой солью) тлеющей лучинкой. В пробирке со смесью кислород появляется раньше (можно вести отсчет времени по числу ударов метронома), и процесс в ней заканчивается значительно быстрее, чем в пробирке с чистой бертолетовой солью. Признаков плавления соли не обнаруживается. Таким образом, в присутствии оксида марганца MnO_2 разложение бертолетовой соли протекает не только быстрее, но и при более низкой температуре. Чтобы показать, что оксид марганца и после окончания реакции сохраняет каталитические свойства, можно прибавить к оставшейся в пробирке смеси KCl и MnO_2

¹ При очень сильном нагревании (в пламени паяльной лампы) оксида марганца MnO_2 в металлической (например, заклепанной с одного конца медной) трубке наступает его разложение с выделением кислорода и образованием оксида марганца Mn_2O_3 .

новую порцию бертолетовой соли. Нагревание этой смеси (после тщательного перемешивания) показывает, что кислород начинает выделяться раньше и реакция протекает быстрее, чем при нагревании бертолетовой соли без катализатора.

Можно высыпать оставшуюся в пробирке смесь в воду, нагреть до кипения, отфильтровать, промыть оставшийся на фильтре оксид марганца MnO_2 горячей водой (для полного удаления хлорида калия), перенести MnO_2 в железную чашку, высушить, слегка прокалить (на спиртовке) и снова испытать каталитическое действие. Работа может быть выполнена учащимися на внеклассных занятиях. Рекомендованное в некоторых пособиях взвешивание оксида марганца (IV) до и после употребления удовлетворительных результатов в этих условиях не дает, так как полностью снять мелкий порошок MnO_2 с фильтра после промывания практически невозможно.

Вполне удовлетворительные данные о количественном сохранении катализатора можно получить при использовании MnO_2 для каталитического разложения пероксида водорода (стр. 13). В этом случае фильтрование не нужно, так как в пробирке по окончании реакции остается только вода и оксид марганца. Перед опытом взятое количество оксида марганца MnO_2 (3—4 г) взвешивают и высыпают в большую пробирку с 10-процентным раствором пероксида водорода. По окончании выделения кислорода дают оксиду марганца MnO_2 осесть на дно пробирки, а большую часть воды с оставшейся в ней взвесью MnO_2 сливают во взвешенную фарфоровую чашку. К осадку на дне пробирки прибавляют новую порцию раствора пероксида водорода (как и в первом случае — около $\frac{1}{4}$ объема пробирки), после чего вновь начинается энергичное выделение кислорода (доказательство сохранения активности катализатора). По окончании реакции сливают из пробирки воду вместе с осадком MnO_2 в ту же чашку, вымывают туда же остаток осадка со стенок струей воды из промывалки, осторожно упаривают воду досуха, слегка прокаливают сухой остаток и по охлаждении взвешивают чашку с остатком (последний можно вновь использовать в качестве катализатора). Простые вычисления показывают, что масса катализатора осталась прежней.

Перечисленные выше опыты могут быть использованы в VII классе¹ при формировании первоначального понятия о катализе и катализаторах. В дальнейшем это понятие развивается на многочисленных примерах каталитических реакций. Соответствующие опыты изложены в последующих главах (стр. 225).

6) Кислородные соединения, легко, трудно и совсем не выделяющие кислород при нагревании. При выполнении лабораторных опытов следует предложить учащимся нагреть ряд кислородных солей и оксидов, чтобы создать представление о том, какие вещества

¹ С пероксидом водорода учащиеся VII класса знакомы из практики до подробного его изучения в курсе химии.

разлагаются легко, какие трудно, какие при данных условиях разложить не удастся.

Можно использовать следующие вещества: бертолетову соль KClO_3 , селитру KNO_3 , оксид серебра Ag_2O (получение см. стр. 111), оксид марганца MnO_2 (при нагревании в пламени спиртовки не разлагается), оксид свинца PbO_2 (коричневого цвета), свинцовый сурик Pb_3O_4 (красного цвета), а также несколько оксидов и солей, не разлагающихся при нагревании, например: оксид меди CuO , известь CaO , сульфат натрия Na_2SO_4 , сода Na_2CO_3 (обезвоженная) и др.

Чтобы не портить пробирки, можно заготовить запаянные с одного конца стеклянные трубки небольшого диаметра (7—8 мм) длиной 7—8 см. Для выполнения опытов насыпают в запаянные трубочки понемногу выданных веществ и нагревают до тех пор, пока тлеющая лучинка обнаружит выделение кислорода или пока при самом сильном нагревании, какое можно достигнуть с данной горелкой, окажется, что кислород не выделяется и тлеющая лучинка не загорается даже при погружении ее до дна трубочки.

По окончании реакции разложения (до полного прекращения выделения кислорода) перманганата калия дать трубочке остыть, несколько крупинок твердого остатка вытряхнуть в стакан с дистиллированной (или свежeproкипяченной и охлажденной) водой и перемешать стеклянной палочкой. Сравнить цвет образовавшегося раствора (K_2MnO_4 в растворе ярко-зеленого цвета, см. стр. 369) с цветом и устойчивостью раствора KMnO_4 .

По окончании работы учащиеся должны составить список выданных веществ в определенном порядке, начиная от наиболее легко выделяющих кислород и кончая веществами, которые кислород не выделяют.

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КИСЛОРОДА

Сжигание различных веществ в кислороде

Для демонстрации сжигания веществ в кислороде следует иметь в достаточном количестве склянки из бесцветного стекла объемом 2,5—3 л с широким горлом. При недостатке их можно использовать вспомогательные сосуды (колбы, стеклянные банки, стаканы). Отверстия сосудов прикрывают кусками картона с вырезом для газоподводящей трубки (рис. 13). При сжигании одни вещества помещают на ложечки, другие укрепляют на проволоках. Ложечки и проволоки вставляют в широкие корковые пробки, которые не должны плотно входить в отверстия склянок, а имеют несколько больший диаметр (плотно закрывать стеклянный сосуд при сжигании в нем веществ нельзя). Если нет больших пробок, можно взять маленькие и вставить их в деревянные или картонные кружки. Такие кружки необходимы, если вместо склянок пользуются банками или стаканами. Ложечки (их можно сделать из жести и проволоки)

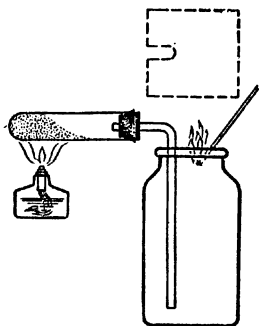


Рис. 13. Наполнение банки кислородом и испытание наполняемости тлеющей лучинкой (лабораторный опыт).

должны в пробках держаться плотно. При этом следует установить их на такой высоте, чтобы горящее вещество, когда ложечка опущена в склянку, находилось немного ниже середины сосуда. Иначе во время опыта может загореться пробка или треснет горло склянки.

Для всех склянок, кроме склянок для сжигания железа и магния, желательно подобрать хорошо подогнанные пробки или притереть к ним стеклянные пластинки, которыми склянки можно было бы закрыть после опыта, поскольку растворение полученных оксидов в воде с последующим испытанием лакмусом (если это предусмотрено на данном этапе обучения) приходится производить не сразу после сжигания и на некоторое время необходимо сохра-

нить газообразное вещество от улетучивания, а твердые продукты от действия влаги и углекислого газа воздуха.

Склянки кислородом наполняют из газометра, кислородной подушки или непосредственно из прибора перед каждым опытом по способу вытеснения воздуха.

Газоотводную трубку погружают до дна сосуда и наполняемость его кислородом проверяют тлеющей лучинкой у отверстия без погружения лучинки в сосуд. При достаточно быстром токе кислорода для наполнения большой банки из прибора или газометра требуется 1—2 мин, из кислородной подушки — несколько секунд. После того как один сосуд наполнен, газоотводную трубку переносят в следующий, а в первом производят сжигание (рис. 14).

1) Сжигание свечи. Кусок парафиновой свечи (типа елочной и т. п.) длиной 3—4 см приплавляют нижним концом к ложечке для сжигания (рис. 14, а). Свечу зажигают и опускают в банку с кислородом. Сравнивают яркость горения свечи в кислороде и в воздухе. Когда свеча погаснет, ее вынимают и банку закрывают заранее подобранной пробкой. Для доказательства наличия в банке продуктов горения свечи (воды и углекислого газа) следует обратить внимание учащихся на «запотевание» стенок банки, затем прилить туда известковой воды и взболтать (помутнение).

2) Сжигание угля. Кусок плотного древесного угля (например, березового) объемом около 1—2 см³ помещают в свернутую из медной проволоки (толщиной около 1 мм) коническую спираль (5—6 расширяющихся кверху витков) или кладут в ложечку для сжигания, нагревают уголь с одного конца в пламени спиртовки до начала тления и опускают в банку с кислородом (рис. 14, б). Следует отметить, что уголь в кислороде (как и на воздухе) горит без пламени, только тлеет. Для удаления из пор угля иногда остающихся там смолистых веществ, могущих при сгорании образовать неболь-

шое пламя, кусок угля заранее хорошо прокаливают на спиртовой (или другой) горелке, удерживая его щипцами. Для демонстрации горения угля можно использовать прессованный в виде таблеток медицинский активированный уголь — карболен.

По окончании горения испытывают известковой водой образовавшийся в банке углекислый газ.

3) Сжигание серы. Поместить на ложечку для сжигания несколько кусочков или порошка серы. Нагреть серу на горелке до воспламенения. (Обратить внимание на пламя серы, держа ложечку против темного фона.) Опустить ложечку с горящей серой в склянку с кислородом (рис. 14, а), не закрывая пробки плотно. Когда горение кончится, закрыть склянку плотно пробкой. Если требуется сократить время опыта, можно вынуть ложечку с горящей серой из банки, закрыть последнюю пробкой (стеклянной пластинкой), а ложечку опустить в стакан с водой. Для испытания образовавшегося оксида серы SO_2 вливают в банку немного воды, взбалтывают и прибавляют нейтральный (фиолетовый) раствор лакмуса. Покраснение индикатора показывает образование сернистой кислоты. При горении серы, кроме бесцветного оксида серы SO_2 , образуется некоторое количество оксида серы SO_3 (оксиды железа катализируют процесс окисления SO_2 до SO_3), поэтому в банке может появиться туман, состоящий из мельчайших капелек серной кислоты (стр. 304).

4) Сжигание фосфора. Для опыта можно применять только сухой красный фосфор. Если имеющийся в кабинете фосфор заметно увлажнен, его следует промыть и высушить (стр. 339). Вместо банки для демонстрации опыта удобно пользоваться большой (более 1 л) колбой, наполненной кислородом. Фосфор помещают в ложечку для сжигания, вставленную в подобранныю в колбе резиновую пробку, зажигают на воздухе нагреванием в пламени спиртовки и опускают в колбу с кислородом. Пробку вначале вставляют только слегка, а по окончании горения закрывают горло колбы плотно и оставляют на некоторое время для охлаждения. Образовавшийся в виде белого дыма твердый оксид фосфора P_2O_5 оседает в виде тонкого постепенно расплывающегося (при попадании в колбу воздуха, содержащего водяные пары) порошка. По охлаж-

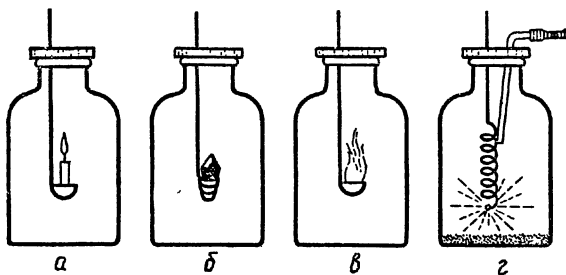


Рис. 14. Сжигание различных веществ в кислороде.



Рис. 15. Зажигание фосфора в колбе с кислородом.

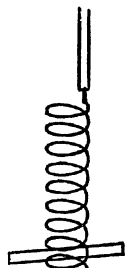


Рис. 16. Стальная спираль с лучинкой для зажигания.

дении пробку с ложечкой вынимают и опускают ложечку с оставшимся фосфором в концентрированный раствор перманганата калия. Так же поступают, если необходимо вынуть из колбы ложечку с горящим фосфором до прекращения горения. Для испытания продукта реакции в колбу наливают немного (до 100 мл) воды и прибавляют раствор нейтрального лакмуса. Можно не зажигать предварительно фосфор на воздухе, а, опустив ложечку с фосфором в колбу, прикоснуться к нему раска-

ленной проволокой 1—2, как показано на рисунке 15. Оставшийся в ложечке фосфор нужно сжечь под тягой, тщательно прокаливая ложечку в пламени горелки.

5) Сжигание железа. Для опыта нужна тонкая стальная проволока, например балалаечная струна, которую свертывают в спираль, наматывая на стеклянную палочку, гвоздь и т. п. Перед наматыванием сталь «отпускают», нагревая при протягивании в пламени спиртовки почти докрасна (при этом нельзя слишком перекаливать проволоку, иначе она будет хрупкой и при наматывании сломается), давая затем медленно остывать.

Так как сталь и после «отпуска» сохраняет отчасти свою упругость, то спираль потом несколько расходится. Один конец проволоки оставляют прямой и привязывают при помощи медной проволочки к концу толстой проволоки, вставленной в пробку. В последние витки свободного конца спирали вкладывают небольшой кусок лучинки (рис. 16), спичку или кусочек пробки, при помощи которых железо зажигается в кислороде. Можно также обмотать конец спирали ниткой и погрузить в расплавленную серу. Полученный серный фитиль хорошо зажигает проволоку в кислороде.

На дно склянки следует насыпать слой песка, чтобы стекло не треснуло от капающей во время опыта с конца проволоки расплавленной железной окалины (иногда наливают в склянку воды, но она мало предохраняет дно от раскаленных капель). Песок нужно промыть или отсеевать от пыли, чтобы она не поднималась струей кислорода при наполнении склянки.

Для сжигания в кислороде очень удобна также тонкая игла. Ее привязывают около ушка медной проволочкой к ложечке для сжигания, а на острый конец накалывают кусок лучинки или пробки. Вместо иглы можно взять стальное перо или обломок бритвенного лезвия.

Перед опытом наполнить склянку кислородом. Затем, не прекращая тока кислорода, зажечь вставленную в спираль или наколотую на иглу лучинку (пробку и т. п.) и опустить спираль в склянку.

Сталь сгорает без пламени с разбрасыванием ярких искр. Чтобы горение не прекращалось и шло энергично, на спираль (иглу) направляют струю кислорода из газоотводной трубки (рис. 14, а).

6) Сжигание натрия. При горении натрия (*правила*, см. т. I, стр. 171) в кислороде происходит сильное разогревание, так что если натрий сжигать непосредственно в ложечке, то железо плавится и загорается. Поэтому в ложечку сначала помещают чашечку из мела или лучше из негашеной извести, в которую и кладут натрий. Чашечку легко выточить при помощи ножа и напильника. Мел должен быть природный (классный прессованный мел для опыта непригоден, так как при нагревании растрескивается). Можно взять длинный кусок мела, сделать на одном конце его углубление и затем привязать мел тонкой проволокой к толстой проволоке, укрепленной в пробке.

Вместо чашечки из мела или извести можно сделать чашечку из асбестового картона. Из него вырезают кружок, смачивают водой, плотно прижимают его внутри ложечки дном пробирки и высушивают на горелке. Можно также обмазать ложечку внутри и снаружи асбестовым тестом (асбестовый порошок или вата, смешанные с водой или силикатным клеем) и высушить.

Перед опусканием в банку с кислородом натрий зажигают на воздухе. Если очищенный от корки кусочек металла (размером немного более горошины) помещен в асбестированную ложечку, то для зажигания достаточно нагреть его в большом пламени спиртовки. Натрий сначала плавится, потом загорается. Натрий, помещенный в чашечку из мела, таким способом зажечь не удастся. Для зажигания его пользуются острым пламенем спиртовки, которое получают вдуванием воздуха в пламя через паяльную трубку, стеклянный капилляр или инъекционную медицинскую иглу. Конус пламени направляют на кусочек натрия (*возможна вспышка. Надеть защитные очки!*) и, как только металл загорится, опускают чашечку в банку с кислородом. Натрий сгорает энергично ярким желтым пламенем. Продуктом реакции является желтый пероксид натрия, который при взаимодействии с водой выделяет кислород и образует щелочь (посинение при испытании лакмусом).

7) Сжигание кальция. а) Как и натрий, кальций нельзя сжигать непосредственно в железной ложечке. Наиболее подходящей будет ложечка, покрытая толстым слоем асбеста, но не чашечка из мела или извести, так как продуктом сгорания является оксид кальция, который следует показать учащимся. Если кальций имеется в виде мелких стружек (стр. 93), их помещают в асбестированную ложечку, подкладывают сбоку или сверху две коротко отломленные спичечные головки и рядом с ними наполовину обломанную спичку. Наполнив (по возможности большую) банку кислородом, зажигают деревянную часть спички и сразу же опускают ложечку в банку. От вспыхнувших спичечных головок кальций загорается и сгорает с легким треском и ослепительной вспышкой. По охлаждении в банку наливают воды, взбалтывают и оставляют на некоторое

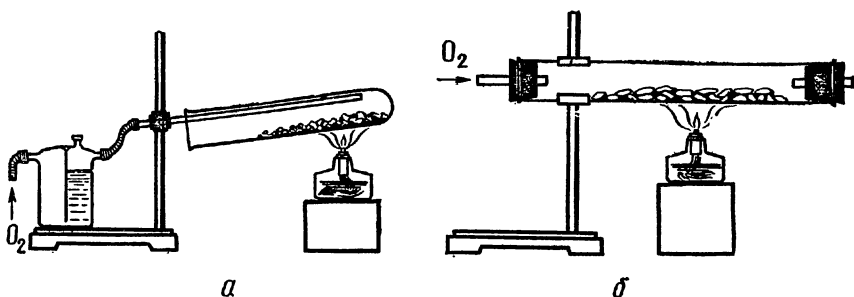


Рис. 17. Окисление меди в струе кислорода.

время, чтобы дать части образовавшейся извести раствориться. Полученную известковую воду испытывают фенолфталеином или пропускают через нее углекислый газ (в отдельных стаканчиках).

б) Вместо того чтобы зажигать кальций при помощи спичек, можно нагреть его сильной газовой или бензиновой лампой, наклонив ее пламя над ложечкой (*осторожно! Надеть очки! Возможна вспышка*).

в) Если имеется кальций в виде небольших кусочков, то перед сжиганием нужно один из них хорошо зачистить напильником и прикрепить к концу толстой медной проволоки. Затем в пробирке расплавить немного нитрата калия (калиевой селитры), опустить в расплав кальций, быстро вынуть и дать остыть. Покрытый тонким слоем застывшего нитрата калия кальций легко загорается при нагревании в пламени спиртовки и сгорает даже в воздухе (М. Андронов). При горении может происходить сильное разбрызгивание (*меры предосторожности!*).

г) Крупную стружку кальция можно перед сжиганием расплющить с одного конца молотком на наковальне в очень тонкий слой (не ударять слишком сильно, так как кальций легко ломается). Взяв стружку за толстый конец щипцами, нагревают расплющенный кончик в пламени спиртовки докрасна и быстро опускают в банку с кислородом. Если кончик стружки достаточно тонкий, металл легко загорается.

8) **Сжигание магния.** а) Ленту магния длиной 10—15 см привязать к толстой проволоке. Зажечь в пламени спиртовки и быстро опустить в банку с кислородом, не касаясь горящим металлом стенок банки, иначе стекло может треснуть. Магний в кислороде сгорает ярким ослепительным пламенем с сильным треском. Пристально смотреть на пламя горящего магния не следует, это вредно.

Образующийся оксид магния с водой реагирует незначительно, однако при этом в растворе образуется некоторое количество основания, достаточное для доказательства основного характера оксида с помощью индикатора.

б) Порошок магния насыпать в ложечку для сжигания и нагреть в пламени спиртовки. Как только магний начинает тлеть, опустить

ложечку в банку с кислородом. Происходит яркая вспышка, и образуется оксид магния. Во избежание случайного ожога верхний конец ложки нужно согнуть под прямым углом, чтобы не держать ее рукой непосредственно над горлом банки.

9) Окисление меди в струе кислорода. Для опыта следует иметь кусочки медной проволоки длиной 0,5—1 см, нарезанные из тонких очищенных электрических проводов, или порошок меди, полученный при восстановлении оксида меди CuO водородом (стр. 80). Медь помещают в пробирку (рис. 17, а) или стеклянную трубку (рис. 17, б) ровным слоем и при нагревании газовым пламенем или на спиртовке пропускают из газометра кислород, осушенный серной кислотой, налитой в промывалку (склянку Тищенко и т. п., но можно пользоваться и неосушенным кислородом из газометра, кислородной подушки или из прибора для получения). При непрерывном нагревании пропускают кислород до тех пор, пока вся медь превратится в черный оксид. После охлаждения полученный оксид меди CuO ссыпают в банку и сохраняют для следующих опытов.

Жидкий кислород (воздух)

Опыты с жидким воздухом и жидким кислородом весьма эффективны и интересны в познавательном отношении, так как расширяют представления о свойствах веществ в различных агрегатных состояниях и показывают изменения свойств веществ при низких температурах. Однако почти все эти опыты, начиная от переливания жидкого воздуха, технически сложны, а некоторые не лишены опасности при нарушении правил обращения с ними. Поэтому при демонстрациях всех опытов надо строго соблюдать требования техники безопасности, изложенные ниже для каждого случая. В школьных условиях, где возможные для демонстраций количества жидкости невелики, обычно приходится иметь дело почти с чистым жидким кислородом или с жидким воздухом, сильно обогащенным кислородом, так как азот, имеющий более низкую температуру кипения (-196°C), чем кислород (-183°C), успевает испариться при наливании жидкости в сосуд. Если есть возможность приобрести небольшое количество жидкого кислорода на ближайшей кислородной станции, то перевезти его в школу можно только специальным транспортом (в отдельной машине и т. п.). Перевозка даже

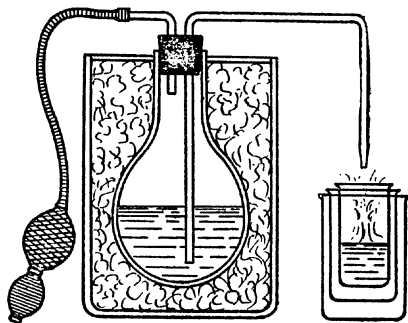


Рис. 18. Сосуд Дьюара в ящике с мягкой обкладкой и приспособлением для наливания жидкого кислорода и воздуха (разрез).

небольших количеств жидкого кислорода в транспорте общего пользования (трамваях, автобусах и пр.) категорически запрещена.

Небольшие количества жидкого кислорода можно сохранять только в специальных сосудах, обычно в стеклянных сосудах Дьюара с двойными стенками (рис. 18), из пространства между которыми воздух выкачан и этим создана высокая тепловая изоляция. Для лучшего отражения тепловых лучей стенки изнутри обычно покрывают слоем серебра. В практике используют колбы Дьюара, стаканы и др. (рис. 19). Для небольших количеств жидкого кислорода можно использовать термос, состоящий из цилиндрического сосуда Дьюара, заключенного в металлическую оболочку. Даже при кратковременном сохранении жидкого кислорода и при перевозке его в сосудах Дьюара, в том числе и в термосе, нельзя закрывать горло сосуда пробкой, тем более нельзя завинчивать колпак термоса: жидкий кислород в сосуде хотя и медленно, но продолжает испаряться, и возрастающее давление может привести к разрыву сосуда. Закрывать такие сосуды можно только сверху крышкой из негорючих материалов (толстой асбестовой пластинкой или крупноволокнистой асбестовой ватой). Сосуды, не заключенные в металлический чехол, следует помещать в коробки или ящики и обкладывать асбестовой ватой. В практике нередко пользуются для закрывания сосудов обычной ватой, завертывают сосуды в войлок или футляры из плотной ткани, помещают в деревянные коробки с сухими древесными опилками, но во всех этих случаях нужно тщательно избегать попадания кислорода на горючие упаковочные и закрывающие материалы и абсолютно исключить попадание случайных искр при опытах. Очень удобны для перевозки и хранения небольших количеств жидкого кислорода в стеклянных колбах Дьюара металлические проволочные корзины со слоем войлока (рис. 20).

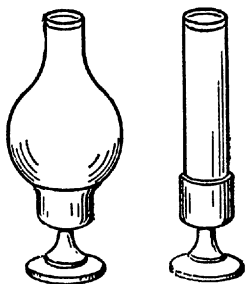


Рис. 19. Сосуды Дьюара на подставках.

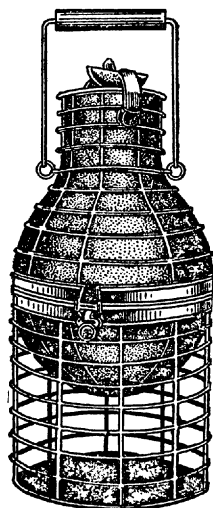


Рис. 20. Сосуд Дьюара в проволочной корзине.

Особую осторожность надо соблюдать при переливании жидкого кислорода из стеклянного сосуда в другие сосуды (стаканы и пр.) для демонстрации. Нередко переливание производят непосредственно, медленно наклоняя колбу с жидким кислородом над стаканом, чтобы холодная жидкость не попадала на место спая стенок в верхней части горла колбы: резкое охлаждение места спая может повести к образованию трещины и даже к разрыву сосуда. Для переливания жидкого кислорода лучше пользоваться приспособлением, устроенным по принципу обычной промывалки (рис. 18). В подобранной к горлу колбы резиновой пробке просверливают два отверстия и пропускают в одно из них длинную стеклянную трубку, доходящую почти до дна колбы и согнутую в верхней части, как показано на рисунке 18 (соединения с помощью резиновой трубки не допускаются, стр. 30), в другое — короткую трубку с присоединенным к ней резиновым баллоном. Медленно, чтобы избежать бурного кипения жидкости внутри колбы, опускают длинную трубку в колбу и осторожно вставляют пробку. При нажатии резинового баллона в колбе будет создаваться повышенное давление и жидкий кислород перельется в подставленный сосуд для демонстрации.

При переноске сосудов Дьюара, помещении их в подставки, ящики и т. д. нужно тщательно оберегать от случайного удара или нажима оттянутой запаянный кончик у дна сосуда (место откачки воздуха из пространства между стенками).

С жидким кислородом (воздухом) нельзя работать при наличии на руке бинта, повязки: случайное попадание на повязку холодной жидкости может дать сильный ожог кожи (обморожение). Попадание отдельных капель жидкого кислорода (воздуха) на незакрытую кожу рук (если не зажимать капли в ладони) не представляет опасности, так как жидкий кислород не смачивает кожу, капли его переходят в сферическое состояние (свертываются в шарики) и быстро скатываются.

При отсутствии специальных прозрачных (несеребряных) стаканов Дьюара опыты с жидким кислородом можно показать в обычных химических тонкостенных стаканах: 3—4 стакана с развернутыми краями подбирают так, чтобы они достаточно свободно входили один в другой и каждый внутренний стакан висел развернутым краем на краях наружного (рис. 21). Между стенками стаканов остается относительно неподвижный слой воздуха, который уменьшает приток тепла к стенкам. Если налить жидкий кислород (воздух) в не изолированный таким способом стакан, то наружные стенки его быстро покрываются слоем снега (конденсация и замерзание влаги из окружающего воздуха) и жидкость в стакане не будет видна.

Опыты с жидким кислородом (воздухом) можно разделить на три группы опытов: иллюстрирую-

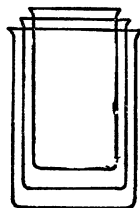


Рис. 21. Стаканы для жидкого кислорода.

щие физические свойства жидкого кислорода, иллюстрирующие его химические свойства, показывающие действие низкой температуры на различные вещества.

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОГО КИСЛОРОДА

1) Во внутренний стакан налить примерно на $\frac{1}{3}$ объема жидкий кислород (воздух). Вначале жидкость очень сильно кипит, потом, когда стенки стакана примут соответствующую температуру, кипение почти прекращается. В стакане хорошо видна слегка кипящая жидкость голубоватого цвета, это цвет жидкого кислорода (окраска жидкого воздуха менее заметна, так как жидкий азот бесцветен).

2) В приготовленную из картона воронку (стеклянная воронка может треснуть) вложить бумажный фильтр, поместить воронку в кольцо штатива или в горло колбы с небольшим количеством воды. Медленно вливать из стакана жидкий кислород в фильтр — жидкость свободно фильтруется. Для наливания внутренний стакан с жидким кислородом можно вынуть из описанной выше комбинации стаканов и держать двумя пальцами за верхний край, не охватывая стенки стакана рукой.

Для последующих опытов стакан заменить или, вылив из него остаток жидкости, «отогреть» в воде комнатной температуры, насухо вытереть и снова поставить на место.

3) В цилиндр емкостью 250—300 мл налить на $\frac{2}{3}$ воды и осторожно лить на поверхность ее жидкий кислород. Он энергично кипит, затем крупные капли его погружаются более чем до половины цилиндра в воду (плотность жидкого кислорода 1,14) и на образующихся газовых оболочках вновь всплывают, потом тонут снова, пока не испарятся совсем. Вода в цилиндре сильно охлаждается, но вследствие ее большой теплоемкости остается жидкой, только к концу испарения образуются тонкие корочки льда. Если опыт производится с жидким воздухом, то он плавает на поверхности воды, пока из него испарится почти весь азот.

4) В круглую плоскодонную колбу емкостью около 300 мл наливают до половины воды, ставят колбу в большую стеклянную чашку (кристаллизационную), наливают на поверхность воды немного жидкого кислорода (воздуха) и неплотно вставляют в горло колбы заранее подобранную резиновую пробку с доходящей почти до дна трубкой с оттянутым концом (*осторожно!* Меры предосторожности). Придерживая колбу рукой, осторожно вдвигают пробку в горло колбы плотнее. Из трубки начинает бить высокий фонтан, так как под давлением образующегося при испарении газа вода выбрасывается наружу.

5) Небольшую (25—30 мл) толстостенную склянку с длинным горлышком ставят на фарфоровое блюдечко (тарелку и т. п.) и медленно небольшими порциями вливают в нее жидкий кислород (воздух) примерно до половины объема. Когда склянка достаточно

охладится (прекращение кипения), надевают на горлышко резиновый баллончик (детский резиновый шарик, соску) и быстро привязывают крепкой ниткой или медной проволокой. После привязывания баллончика можно поставить склянку в жестяную банку. При испарении жидкости баллончик раздувает давление газа, и через некоторое время он лопается с сильным звуком.

Для опыта не следует брать склянку тонкого неровного стекла.

б) К зажиму штатива подвешивают на длинной нитке пробирку из тонкого стекла. На другом штативе устанавливают сильный электромагнит (имеется в кабинете физики) так, чтобы расстояние между ним и пробиркой было около 5—10 см. Пробирку наполняют жидким кислородом. При включении электромагнита пробирка притягивается к нему. Опыт показывает магнитные свойства жидкого кислорода.

Действие низкой температуры на различные вещества

1) Сжижение газов. Многие газообразные в обычных условиях вещества при действии низких температур переходят в жидкое и даже твердое состояние. При температуре жидкого кислорода (-183°C) можно наблюдать сжижение многих газов. Для опытов нужно приготовить несколько стеклянных толстостенных трубок диаметром 2,5—3 см, длиной 40—50 см, чисто вымыть их и хорошо высушить, один конец запаять, а у другого конца сделать перетяжку, в канал которой должна входить тонкая стеклянная трубка для ввода газа. Перед вводом в трубку газ тщательно сушат. Можно использовать для опытов следующие газы: хлор (сушить пропусканием через концентрированную кислоту), оксид углерода CO_2 (для сушки использовать также концентрированную серную кислоту), аммиак (сушить пропусканием через натронную известь или твердый едкий натр), оксид серы SO_2 (сушить концентрированной серной кислотой), оксид азота NO_2 (сушить хлоридом кальция).

Тонкую стеклянную трубку вводят почти до дна в трубку для запаивания и достаточно длительно пропускают соответствующий газ до полного вытеснения воздуха, затем тонкую трубку вынимают, а перетяжку на толстостенной трубке запаивают. Стенки запаянной части трубки не должны быть тонкими. При демонстрации опытов трубку с газом медленно погружают запаянным узким концом в стакан с жидким кислородом (воздухом) или непосредственно в сосуд Дьюара и держат несколько минут. При этом хлор превращается в темно-желтую маслообразную жидкость (окраска газа в непогруженной части трубки исчезает), которая скапливается в узкой отгнутой части трубки и переходит в твердую желто-зеленую снегообразную массу. Оксид углерода CO_2 превращается в твердую снегообразную массу. Аммиак и оксид серы SO_2 сначала становятся жидкими, затем замерзают. Бурая окраска оксида азота NO_2 исчезает, образующийся жидкий оксид азота N_2O_4 затвердевает в желтоватую кристаллическую массу. (О сжижении газооб-

разного оксида серы SO_2 см. также стр. 295.) По прекращении охлаждения все перечисленные вещества вновь переходят в газообразное состояние. Трубки с запаянными газами можно хранить длительное время, оберегая их от ударов.

2) Замораживание жидкостей. При температуре жидкого кислорода (воздуха) переходят в твердое состояние почти все известные жидкости. Для опытов можно использовать спирт и другие жидкости, которые при других условиях в твердое состояние не переходят. Жидкости наливают в пробирки до $\frac{1}{3}$ объема, погружают в них до дна круглые деревянные палочки и, придерживая, опускают пробирки в стакан с жидким кислородом. Спирт через некоторое время становится сначала вязким, затем замерзает в прозрачную массу; керосин медленно замерзает в снегообразную кристаллическую массу. Вынув пробирки, погружают их на 1—2 сек в стакан с холодной водой (чтобы твердая масса отстала от внутренних стенок) и за палочку вытягивают цилиндрики замерзших веществ. При начале плавления спирт образует сиропобразную тягучую жидкость.

3) Действие низкой температуры на резину. Резиновую трубку погружают в стакан с жидким кислородом (воздухом) и держат там до прекращения кипения жидкости. Резина становится твердой (при ударе о стол издает звук, как при ударе палкой) и хрупкой (при ударе молотком разлетается на мелкие куски). Небольшой резиновый мячик после охлаждения его жидким кислородом (опускать в стакан и вынимать только щипцами) при бросании на пол разбивается, как стеклянный.

4) Изменение окраски веществ при низкой температуре. Окрашенные твердые вещества помещают в пробирки, закрывают пробками и погружают в стакан с жидким кислородом (воздухом). Для опытов можно использовать чистую серу (при охлаждении желтая сера становится белой), оксид ртути (красный цвет переходит в желтый, желтый же оксид ртути заметно светлеет), иодид ртути (красный порошок становится желтым), сурик (красный цвет переходит в желтый). При комнатной температуре все названные вещества вновь принимают присущий им в этих условиях цвет.

5) Фосфоресценция веществ при низкой температуре. а) Кусок парафина на проволоке опускают в стакан с жидким кислородом и держат до окончания кипения жидкости. После этого охлажденный парафин быстро освещают ярким светом (горящим магнием или лучом проекционного фонаря) и в темноте показывают бледно-зеленое свечение. Подобным же образом ведет себя яичная скорлупа.

б) Комок ваты помещают в фарфоровую чашку, посыпают чистым сульфидом цинка, затем обливают жидким кислородом. После яркого кратковременного освещения (см. выше) наблюдается яркое желто-зеленое свечение. Опыты требуют хорошего затемнения помещения.

6) Изменение свойств металлов при низкой температуре.

а) Свинцовую пластинку привязывают на нитку и опускают в стакан с жидким кислородом (воздухом). Обычно легкогибаемая руками пластинка после охлаждения становится твердой и сильно сопротивляется гибанию (обмотать концы пластинки полотенцем), а будучи подвешенна на нитке издает при ударе металлический звон.

б) Из свинца отливают колокольчик. При обычной температуре такой колокольчик не звенит. После охлаждения в жидком кислороде он издает серебристый звон.

в) Из толстой свинцовой проволоки длиной до 30 см скручивают спираль и последовательно включают ее в осветительную сеть с лампочкой примерно на 25 *вт* (рис. 22). При значительном сопротивлении свинца лампочка горит тускло. Если же погрузить свинцовую спираль в жидкий кислород (воздух), лампочка горит намного ярче.

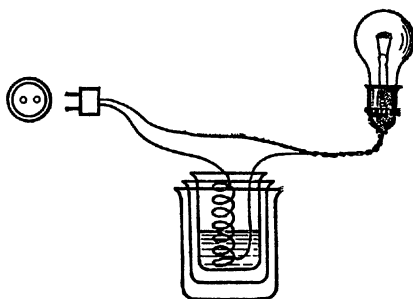


Рис. 22. Повышение электропроводности свинца при охлаждении (схема).

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОГО КИСЛОРОДА

При всех опытах, связанных со сжиганием веществ, на столе не должно быть никаких горючих материалов, кроме предназначенных для демонстрации. Возможность разливания жидкого кислорода по столу должна быть абсолютно исключена. Сосуд Дьюара с жидким кислородом нужно поставить в стороне и пользоваться для опытов кислородом из стакана, приливая его из сосуда по мере надобности.

1) Во внутренний стакан наливают до $\frac{1}{3}$ объема жидкого кислорода и выжидают почти полного прекращения его кипения. Длинную тлеющую лучинку вносят в стакан, держа ее на 2—3 см от поверхности жидкости или выше: лучинка вспыхивает. Погружают конец горячей лучинки в жидкость, не касаясь дна стакана: горение протекает весьма интенсивно с легким треском.

Если опыт производится с жидким воздухом, то в атмосфере газа над жидкостью горящая лучинка может погаснуть (слой газа состоит из испарившегося азота), но при быстром погружении тлеющей лучинки непосредственно в жидкость лучинка вспыхивает, так как жидкий воздух обогащен кислородом.

2) В фарфоровую чашку (ступку) наливают из стакана (*правильно*, см. стр. 28) достаточное количество жидкого кислорода (чтобы после прекращения кипения в чашке было еще около 15—20 мл жидкости). В пламени спиртовки нагревают кусочек древесного угля, держа его щипцами, и осторожно кладут на поверхность

жидкого кислорода. Уголь интенсивно сгорает, двигаясь при этом по поверхности жидкости.

3) Комок гигроскопической ваты, держа щипцами, погружают на 2—3 сек в стакан с жидким кислородом. Дав стечь избытку жидкости, помещают вату на керамическую пластинку или асбестированную сетку и зажигают длинной лучинкой. Вата вспыхивает и почти полностью мгновенно сгорает.

4) На керамическую пластинку насыпают около одной чайной ложки сухих древесных опилок, обливают их из стакана жидким кислородом, не разливая последний по поверхности пластинки, и зажигают опилки лучинкой. Происходит интенсивное сгорание.

Озон

ПОЛУЧЕНИЕ ОЗОНА

1) В небольших количествах озон образуется при пропускании электрических искр через воздух (например, при работе индуктора), а также при действии тихого электрического разряда на кислород. В лабораторных условиях для получения озона используют различного типа озонаторы. Один из них (конструкции К. Я. Парменова), имеющийся в продаже, изображен на рисунке 23. Он состоит из широкой запаянной с одного конца стеклянной трубки, внутри которой впаяна узкая стеклянная трубка с проходящей в ней железной проволокой. Наружная широкая трубка имеет спиральную обмотку из стальной проволоки. Кислород поступает в озонатор через боковой отросток 2, озонированный кислород выходит через

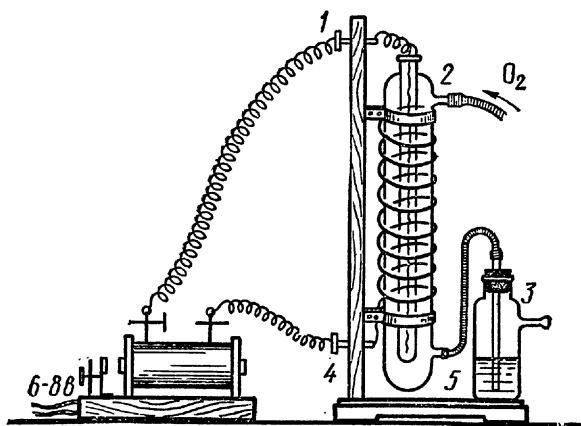


Рис. 23. Озонатор Парменова, подключенный к индуктору ИВ-50:

1 и 4 — клеммы; 2 — боковой отросток; 3 — промывалка; 5 — нижний отросток.

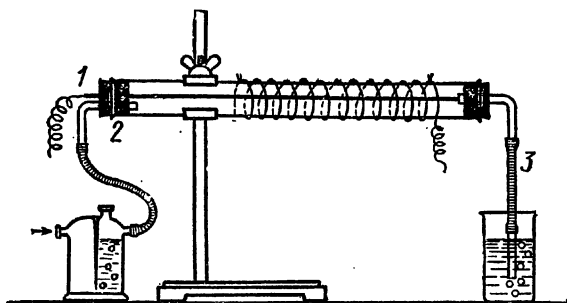


Рис. 24. Озонатор Верховского:

1 — проволока; 2 — трубочка для подачи кислорода; 3 — отводная трубка.

нижний отросток 5 и может быть пропущен через склянку (промывалку) 3, в которую наливают воду (растворение озона в воде) или соответствующие растворы (раствор иодида калия, индиго и пр.). Озонатор смонтирован на деревянном штативе. Внутренняя проволока и наружная обмотка присоединены соответственно к клеммам 1 и 4, к которым подводятся провода от вторичной обмотки индуктора ИВ-50 или ИВ-100. (Об устройстве индуктора и правилах работы с ним см. т. I, стр. 108.)

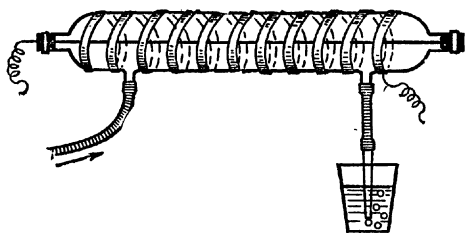
Перед демонстрацией опытов проверяют правильность сборки цепи, особенно соответствие подключенного к индуктору напряжения. (Для индуктора ИВ-50 6—8 в, для индуктора ИВ-100 10—12 в.) Включают на короткое время индуктор, чтобы убедиться в его исправности. Разрядники индуктора при подключенном к нему озонаторе должны быть установлены так, чтобы между ними не проскакивали искры. Отключив индуктор (имеющимся на нем переключателем), устанавливают ровный ток кислорода из газометра такой скорости, чтобы в склянке 3 можно было считать пробующиеся пузырьки, и вновь включают индуктор. В затемненном помещении и даже при рассеянном несильном свете на черном фоне внутри трубки озонатора хорошо видно голубоватое свечение: тихий электрический разряд проходит через стекло. При необходимости собрать озонированный кислород в пробирку (например, для ознакомления с запахом озона) стеклянную трубку из склянки 3 вынимают (вместе с пробкой) и наполняют пробирку озонированным кислородом вытеснением воздуха. Поступающий из газометра кислород можно осушать, пропуская его через промывалку с концентрированной кислотой, как это показано на рисунке 24, но необходимости в этом нет, кроме особых случаев (стр. 43). Иногда может быть полезным установить перед озонатором промывную склянку с одним из водных растворов, предназначенных для опытов с озоном (например, с раствором иодида калия, индиго). Это позволит подчеркнуть различие в химических свойствах молекулярного кислорода и озона (в растворе, через который проходит кислород из

газометра, изменений не будет). Выходящий из озонатора газ содержит до 10% озона.

При отсутствии газометра и достаточного количества кислорода через озонатор можно продувать несильной струей воздух с помощью резинового баллона и т. п. Концентрация озона при этом будет, конечно, меньше, но все основные опыты по ознакомлению с его свойствами могут быть выполнены.

Озонаторы более простых конструкций можно изготовить самостоятельно. Одной из доступных является конструкция, предложенная В. Н. Верховским. Озонатор (рис. 24) состоит из стеклянной трубки диаметром около 2 см, длиной 40—45 см. Концы трубки закрыты резиновыми пробками. Через одну из пробок по оси трубки проходит прямая железная (можно воспользоваться ложечкой для сжигания в кислороде), медная или алюминиевая проволока 1. К наружному концу этой проволоки присоединяют провод от индуктора. Внутренний конец ее входит в отводную трубку 3. С противоположной стороны в широкую трубку вставлена трубочка 2 для подачи кислорода через промывную склянку или непосредственно из газометра. При необходимости можно, как было сказано выше, вдвигать в озонатор воздух. Снаружи на стеклянную трубку наматывают неплотной спиралью тонкую железную или медную проволоку (можно использовать тонкие медные провода, не снимая с их поверхности изоляционный слой). Очень удобна для такой обмотки узкая лента из алюминиевой фольги, которую приклеивают (например, клеем БФ-2) непосредственно к стеклу. Один конец обмотки присоединяют проводом к разряднику индуктора.

Для устройства озонатора можно использовать кожух небольшого холодильника Либиха с обмоткой и даже сплошным покрытием из алюминиевой фольги (А. Д. Смирнов). Газоотводную трубку озонатора лучше сделать с резиновой перемычкой (рис. 25). Это имеет значение не только для придания большей подвижности трубке, но и для демонстрации действия озона на резину. Последнее совсем не значит, что в конструкциях самодельных озонаторов нельзя пользоваться резиновыми пробками. Настойчиво рекомендуемые во многих пособиях корковые пробки обычно «плохо держат». Резиновые пробки, конечно, портятся от действия озона, но только в местах непосредственного соприкосновения (обычно в нижнем су-



женном конце) и при относительно кратковременных демонстрациях опытов могут служить без замены много лет. Можно несколько защитить конец пробки от действия озона, обернув ее полиэтиленовой пленкой.

Рис. 25. Озонатор из кожуха холодильника.

Простейшие озонаторы изготовляют из обычного

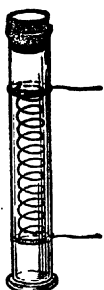


Рис. 26. Озонатор из цилиндра.

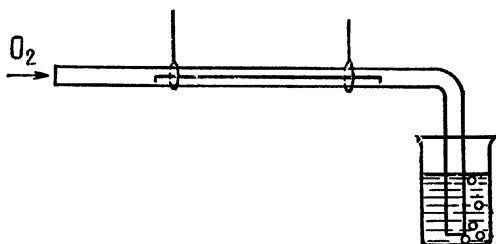


Рис. 27. Простейший озонатор из стеклянной трубки.

стеклянного цилиндра, большой пробирки и даже изогнутой стеклянной трубки (рис. 26, 27). Поскольку тихие электрические разряды могут проходить через стекло, нет необходимости соединять внутренний стержень с контактом вторичной обмотки индуктора. В стеклянный цилиндр (рис. 26) помещают медную спираль, наполняют цилиндр кислородом и закрывают резиновой пробкой. Снаружи на цилиндр надевают два металлических кольца (на достаточном расстоянии, чтобы между ними не проскакивала искра), которые проводами соединяют с контактами вторичной обмотки индуктора. При включении тока в цилиндре образуется некоторое количество озона, легко обнаруживаемого по запаху или индикатором (стр. 37). Такой озонатор можно использовать для доказательства уменьшения объема при озонировании газообразного кислорода (стр. 36). Еще проще по конструкции озонатор из стеклянной трубки. Устройство его понятно из рисунка 27. Металлический стержень (толстая проволока) вложен внутрь трубки, кольца с проводами находятся снаружи.

2) Уменьшение объема газа при образовании озона из кислорода. Чтобы наблюдать уменьшение объема газа при реакции:



надо показать, что давление в закрытом озонаторе при образовании озона заметно уменьшается. Для этого трубку, подводящую кислород, заменяют трубкой с краном, а к выводной трубке озонатора присоединяют водяной (с окрашенной водой) манометр с краном на тройнике (рис. 28). Для такого «дооборудования» удобны озонаторы, изображенные на рисунках 23 и 25, так как они имеют значительный объем.

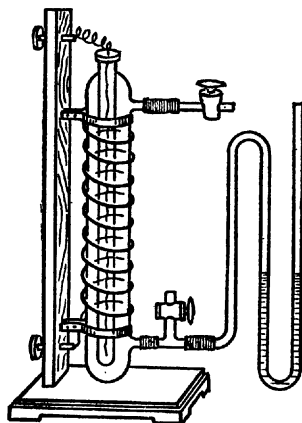


Рис. 28. Озонатор Парменова с манометром.

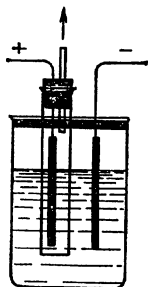


Рис. 29. Электролизер для демонстрации образования озона.

Трубки с кранами присоединяют к отрезкам озонатора «на стык», чтобы максимально уменьшить действие озона на резину. Осушенный серной кислотой кислород подается в озонатор через верхний кран при открытом нижнем кране и выходит через тройник наружу. Когда можно предположить, что весь воздух из озонатора вытеснен, закрывают последовательно верхний и нижний краны (при этом уровень жидкости в манометре не должен измениться) и на 15—20 сек включают индуктор. Вначале уровень жидкости в левом колене манометра немного понижается, так как вследствие небольшого разогревания происходит расширение газа, но через несколько секунд после включения индуктора манометр покажет заметное понижение давления.

Более упрощенно опыт может быть оформлен с использованием озонатора из цилиндра (рис. 26, В. С. Полосин). Цилиндр с вложенной в него спиралью наполняют кислородом, закрывают пробкой с вставленной в нее узкой и длинной (около 30 см) стеклянной трубкой. Снаряженный цилиндр переворачивают вверх дном, опускают конец стеклянной трубки в стакан с подкрашенной водой и подключают к наружным кольцам индуктор на 3—4 мин. По охлаждении газа в цилиндре после включения индуктора уровень воды в трубке несколько поднимается. (Опыт менее убедителен, чем предыдущий.)

3) Образование озона при электролизе раствора серной кислоты. В стеклянную трубку или обрезанную пробирку опускают в качестве анода угольный электрод (например, от батареи для карманного фонаря), прикрепленный к медной проволоке, проходящей через пробку с прямой газоотводной трубкой (рис. 29). В качестве катода также берут угольный электрод, прикрепленный к медной проволоке. Электроды укрепляют в деревянной или пластмассовой крышке и погружают в банку (стакан) с серной кислотой, разбавленной (*заранее!*) в отношении 1 : 5 по объему. Электролизер включают в цепь постоянного тока напряжением 20—30 в (*не перепутать полюса!*). Электрод в трубке должен быть анодом. Схемы включения см. т. I, стр. 108, 111, а также т. II, стр. 206). Через некоторое время у отверстия газоотводной трубки иодокрахмальной бумажкой можно обнаружить озон (В. С. Полосин).

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОЗОНА

1) Определение запаха озона. Пользуясь конструкциями озонаторов, показанными на рисунке 23 (вынуть трубку из склянки 3) или на рисунке 24, наполнить озонированным кислородом несколько пробирок и раздать учащимся, предложить определить запах озона. Несмотря на небольшую концентрацию (около 10%), запах озона

довольно резкий, раздражающий, весьма мало напоминает традиционно приписываемый озону запах «свежести» (последний ощущается только при небольшом содержании озона в воздухе).

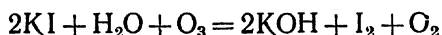
2) **Растворение озона в воде.** Озонированный кислород в течение некоторого времени пропускают в стакан (склянку) с водой, как на рисунках 23, 24. Вода приобретает хорошо ощутимый запах озона.

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОЗОНА

1) **Окисление индиго.** Газоотводную трубку озонатора погрузить в стакан или склянку с разбавленным голубым раствором индиго. При пропускании озонированного кислорода индиго через некоторое время обесцвечивается. Быстрее обесцвечивается смоченная раствором индиго бумажка, если ее держать перед отверстием газоотводной трубки.

2) **Действие озона на резину.** Резиновая газоотводная трубка у озонаторов конструкций, показанных на рисунках 23, 24 и 25, при более или менее длительном пропускании озонированного кислорода твердеет и трескается. При растягивании такой трубки на ней хорошо видны продольные трещины, особенно в тех местах, где она была надета на стеклянную трубку. Для дальнейших опытов с озоном резиновую трубку, конечно, придется заменить.

3) **Вытеснение иода из иодида калия.** В стакан с водой прибавить немного крахмального клейстера и несколько капель свежего (1 : 10) раствора иодида калия. При пропускании озона раствор тотчас же окрашивается в синий цвет:



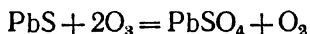
Для открытия озона используют также индикаторную иодокрахмальную бумагу. Для этого к газоотводной трубке озонатора поднести фильтровальную бумагу, смоченную указанным выше раствором. На ней появляются синие пятна. Иодокрахмальная бумага может быть куплена или заранее приготовлена, тогда перед опытом ее смачивают водой.

При помощи иодокрахмальной бумаги можно иногда обнаружить озон в воздухе после грозы или в солнечный зимний день. Для этого иодокрахмальную бумагу помещают в коротенькую пробирку или тигелек с небольшим количеством воды так, чтобы влажный конец выступал над краем, и выставляют на открытом воздухе (за окном и пр.).

4) **Окисление серебра.** Для опыта готовят посеребренную стеклянную пластинку, осадив на нее тонкий слой серебра реакцией серебряного зеркала. При действии направленной струи озонированного кислорода на поверхности серебра появляется черное пятно (В. Королев). При этом образуется оксид серебра Ag_2O .

5) **Окисление сульфида свинца.** Через свежеприготовленную (при сливании раствора нитрата свинца или карбоната свинца и сероводородной воды, стр. 291) взвесь черного сульфида свинца

пропускают озонированный кислород, осадок становится белым вследствие образования сульфата свинца:



6) Разрушение озона нагреванием. К отводной трубке озонатора присоединяют тонкую стеклянную трубку длиной около 20 см. Пускают через прибор слабый ток кислорода и включают индуктор. К отверстию трубки подносят влажную иодокрахмальную бумагу. Она синее. Прогревают трубку пламенем горелки, не прекращая ток кислорода, и подносят к отверстию свежую иодокрахмальную бумагу. Она не синее.

Продолжая держать иодокрахмальную бумагу у отверстия трубки, дают трубке остыть. Иодокрахмальная бумага снова открывает озон. Для успеха опыта важно хорошо отрегулировать ток кислорода, так как при слишком быстром токе озон не успевает разрушиться.

Горение

Температура воспламенения различных веществ

Цель опытов — подчеркнуть, что для «зажигания» какого-либо вещества его нужно нагреть до некоторой определенной температуры, которая для разных веществ неодинакова. Нагревание может быть произведено не только пламенем, но и любым достаточно нагретым предметом.

1) Воспламенение водорода и природного газа. а) Получить водород в аппарате Киппа или каком-либо другом приборе, дающем достаточно сильную струю газа (т. I, стр. 263), испытать его чистоту (*правила*, стр. 60).

Не закрывая кран (или зажим) на газоотводной трубке, нагреть в пламени газовой горелки средней толщины железную проволоку, не доводя до красного каления. Поднести нагретую проволоку к отверстию газоотводной трубки: водород не загорается. Повторить опыт еще 2—3 раза, нагревая проволоку более сильно. При красном калении (около 600°C) водород вспыхивает (температура воспламенения водорода в воздухе 510°C).

б) Опыт можно провести также с газовой горелкой, питаемой природным газом (температура воспламенения метана 537°C, пропана 466°C, бутана 430°C), но он не удается с бензиновой горелкой и спиртовкой.

в) Конец газоотводной трубки прибора для получения водорода после проверки чистоты (*правила*, стр. 60) поднести к спирали электрической плитки и тотчас же включить ее в сеть. Водород не загорается, пока спираль не раскалится докрасна.

2) Воспламенение целлулоида. Держа щипцами, внести в пламя горелки одновременно пластинку целлулоида (кусочек старой фото-

пленки и т. п.) и такой же по размеру кусок тонкого картона и тотчас же вынуть. Целлулоид загорается, картон нет.

3) **Воспламенение нитроваты (нитроклетчатка).** Головку спички обернуть тонким слоем нитроваты (нитроклетчатка). После этого слегка коснуться спичкой пламени спиртовки; нитровата вспыхивает и быстро сгорает, головка спички не успевает загореться.

4) **Сравнение температур воспламенения древесины и магния.** В пламя спиртовки внести одновременно тонкую сухую лучинку и ленту магния (держат щипцами). Лучинка загорается быстро (температура воспламенения сухой древесины около 600 °С), магний же следует нагреть сильнее (температура воспламенения около 800 °С).

5) **Воспламенение белого и красного фосфора** (стр. 340).

6) **Сравнение температур воспламенения керосина, бензина, эфира.** а) В небольшую фарфоровую чашку налить несколько миллилитров чистого керосина и поднести к его поверхности горящую лучину: керосин не загорается. Опустить конец горящей лучины в жидкий керосин и сразу вынуть: будет гореть только тот керосин, который успел впитаться в древесину. Взяв чашку щипцами, осторожно подогреть в ней керосин пламенем спиртовки, поднося время от времени горящую лучину к его поверхности. Через некоторое время керосин загорается (температура воспламенения керосина около 300 °С). Чашку с горящим керосином накрыть асбестированной сеткой.

б) Налить в фарфоровую чашку несколько миллилитров бензина и поднести горящую лучину, не касаясь поверхности жидкости; бензин сразу же воспламеняется (температура воспламенения бензина около 200 °С. Воспламеняемости его способствует также легкая испаряемость). Горящий бензин погасить, как указано выше.

в) В фарфоровую чашку налить 1—2 мл серного эфира (поблизости не должно быть открытого огня!), тотчас же закрыть пробкой склянку с эфиром и отставить ее в сторону. Зажечь длинную лучину и постепенно приближать пламя к чашке с эфиром: пары эфира, а за ними и жидкий эфир вспыхивают на расстоянии (температура воспламенения эфира 180 °С).

г) В отверстие пробирки ввести рыхлый комок ваты и облить его несколькими каплями серного эфира. Пробирку укрепить в штативе. Нагреть в пламени горелки стеклянную палочку до размягчения стекла и поднести раскаленный конец к отверстию пробирки: пары эфира вспыхивают.

7) **«Несгораемый» платок.** Носовой платок или соответствующий по размеру кусок хлопчатобумажной ткани смочить водой и отжать. В фарфоровую чашку налить около 30 мл ацетона. Взяв платок за верхние углы щипцами, смочить нижний его край ацетоном, погружая в чашку с помощью стеклянной палочки не более чем на 3 см. Поднести смоченный край платка к пламени спиртовки и сразу же отвести в сторону: вспыхивает большое пламя. Держа платок в щипцах, несильно размахивать им из стороны в сторону

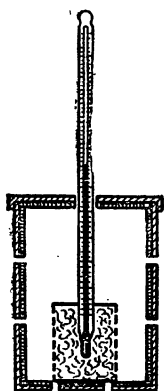


Рис. 30. Повышение температуры при медленном окислении.

(кисть руки во избежание случайного ожога смочить водой). Через некоторое время пламя гаснет, а смоченная водой ткань не успевает нагреться до температуры воспламенения.

Самовоспламенение

1) Самовоспламенение кремневодорода. Температура воспламенения кремневодорода ниже комнатной температуры. Чтобы показать это, нужно заранее заготовить силикат магния Mg_2Si , который на уроке бросить в стакан с соляной кислотой. Выделяющийся кремневодород загорается на воздухе.

2) Повышение температуры при медленном окислении. Жестяную банку с крышкой и несколькими небольшими отверстиями в боковых стенках, дне и в крышке обернуть войлоком или асбестом¹; в обертке сделать отверстия напротив отверстий в банке. Внутри банки на дно поставить небольшую (высотой 5—6 см) железную баночку с большим количеством отверстий в боковых стенках. В баночку поместить около 5—6 г гигроскопической ваты, смоченной 10 г (или более) растительного масла, ввести через отверстие в верхней крышке наружной банки подходящий по размерам термометр, слегка уплотнить вату, следя, чтобы шарик термометра был погружен в вату полностью, и наблюдать за повышением температуры. Через час или более температура заметно повышается и постепенно может дойти до 80 °C и выше (рис. 30).

Более просто можно поставить опыт, обернув шарик термометра несколькими слоями ваты, смоченной растительным маслом. Поверх слоя ваты накладывают 2—3 слоя тонкого асбестового картона, привязывают ниткой и оставляют на воздухе. Через некоторое время наступает заметное повышение температуры. опыты показывают выделение и накопление теплоты при медленном окислении, что приводит к самовоспламенению многих горючих веществ.

С минеральными маслами опыт не удастся.

ОПЫТЫ С НЕКОТОРЫМИ ОГНЕОПАСНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ.

Цель опытов — показать свойства некоторых огнеопасных веществ и обратить внимание на меры предосторожности при обращении с ними.

1) Огнеопасность бензина и эфира. а) В небольшую фарфоровую чашечку налить немного бензина, чтобы образовалась лужица

¹ Можно обмазать банку асбестовым тестом, приготовленным из размоченной в воде асбестовой ваты или картона с добавкой силикатного клея, и высушить.

около 8 см в поперечнике. Отставить склянку с бензином и через минуту зажечь лучинку на расстоянии около 15 см от чашечки и затем приближать ее постепенно все ближе и ближе. Пары бензина вспыхивают на расстоянии до 10 см, и весь бензин загорается. Погасить бензин, накрыв чашечку куском жести или картона.

б) На железной пластинке укрепить зажженную свечу и на расстоянии 8—10 см от нее щипцами поместить комок ваты, смоченный бензином. Через 2—3 мин происходит воспламенение. Горящую вату погасить, накрыв ее жестяной банкой.

Такой же опыт можно поставить с эфиром, но смоченную им вату помещают на расстоянии до 20 см от горящей свечи.

в) *Распространение и воспламенение паров эфира.* Гладкую окрашенную доску 50×15 см толщиной около 1—1,5 см устанавливают в виде наклонной плоскости под углом около 30° , положив верхний конец, например, на подъемный столик или другую подставку, а нижний — на резервуар горящей стеклянной спиртовки (рис. 31).

Из пробирки (но не из склянки!) выливают на верхнюю часть доски 1—1,5 мл серного эфира, приложив край пробирки к обрезу доски (сверху лить эфир нельзя, пары могут воспламениться раньше времени). Струйки эфира стекают примерно до половины доски и испаряются. Пары эфира продолжают стекать по наклонной плоскости и, дойдя до пламени, вспыхивают.

г) *Вода не гасит горящий бензин.* В фарфоровую чашку, поставленную в средних размеров кристаллизационную чашку, наливают 20—30 мл бензина и зажигают. Льют в чашку воду из кружки. Вода переливается через края в кристаллизационную чашку, бензин растекается по поверхности воды и горит еще интенсивнее, вступив в большее соприкосновение с воздухом. (О тушении горящего бензина углекислым газом см. стр. 349.)

д) *Взрыв смеси паров бензина с воздухом.* Для опыта готовят тубулированную склянку емкостью около 0,5 л, но не более 1 л. В нижний тубулус вставляют резиновую пробку с прямой стеклянной трубкой, к которой присоединен резиновый баллон с двумя шарами (рис. 32, а). Горло склянки во избежание растрескивания обмазывают внутри и снаружи асбестовым тестом (готовится смешиванием асбестовой ваты с силикатным клеем) и высушивают.

Перед опытом в склянку наливают 20—25 мл бензина (лучше через воронку, чтобы бензин не попадал на обмазку горла) и, пово-

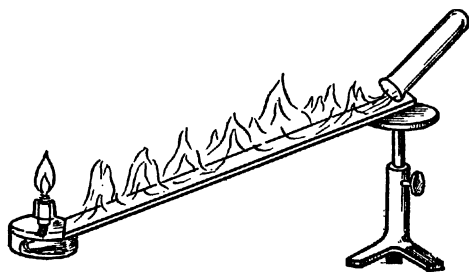


Рис. 31. Стеkanie паров эфира по наклонной плоскости.

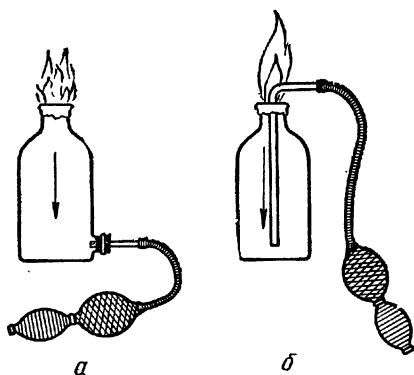


Рис. 32. Взрыв смеси паров бензина с воздухом.

2) Взрыв смеси бытового газа с воздухом. Для опыта нужна склянка (бутылка) емкостью до 1 л с обрезанным дном. Снизу склянку заклеивают (вместо дна) несколькими слоями бумаги, загибая края бумаги к наружной части склянки на 1—1,5 см. В горло склянки вставляют пробку с прямой стеклянной трубкой длиной около 20 см (рис. 33). Укрепив горло склянки в зажиме штатива, прокалывают в бумажном дне отверстие, вводят в него на высоту 1 см стеклянную трубку и подают по ней бытовой газ, который вытесняет из склянки воздух через верхнюю трубку. Когда воздух из склянки будет вытеснен, собрать выходящий газ в пробирку и испытать его (испытание чистоты водорода, стр. 60). Зажечь газ на конце трубки и вынуть подводящую трубку из бумажного дна склянки. По мере выгорания газа в склянку через отверстие в бумаге будет входить воздух. Когда будет достигнуто определенное соотношение газов, пламя проскочит внутрь — произойдет взрыв: бумажное дно разрывается. За неимением бытового газа аналогичный опыт можно поставить с водородом (стр. 73).

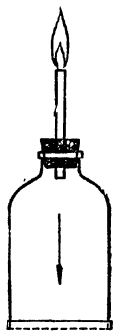


Рис. 33. Взрыв смеси бытового газа с воздухом.

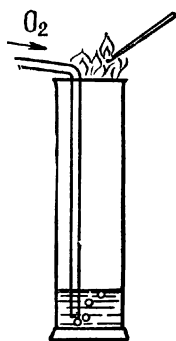


Рис. 34. Взрыв смеси паров бензола с кислородом.

рачивая склянку, смачивают жидкостью внутренние стенки. Установив склянку на столе, вдвигают в нее баллоном воздух и подносят к горлу горящую лучинку. Пары бензина вспыхивают и горят светящимся пламенем. Через некоторое время светимость пламени ослабевает (образование более бедной парами бензина смеси) и с шумом и свистом проскакивает внутрь. За неимением тубулированной склянки опыт можно провести в широкогорлой бутылке, опустив в нее стеклянную трубку, соединенную с баллоном, до дна (рис. 32, б).

Опыты с газами и парами бензина подтверждают опасность оставления открытыми газовых кранов, плохо завинченных баллонов со сжиженными газами в помещениях, а также дают представление о верхней и нижней границе воспламенения газовых смесей.

3) Взрыв смеси паров бензола с кислородом. В стеклянный цилиндр (без ранта) объемом 150 мл (не более) наливают 10 мл бен-

зола и опускают почти до дна цилиндра стеклянную трубку, соединенную с газометром, наполненным кислородом (рис. 34). Пускают слабый ток кислорода и через некоторое время подносят к отверстию цилиндра горящую лучинку. Увлекаемые кислородом пары бензола вспыхивают у отверстия коптящим пламенем, но взрыва не происходит, так как смесь бедна кислородом. Увеличивают постепенно ток кислорода, и, как только смесь им достаточно обогатится, пламя проскакивает внутрь цилиндра и происходит довольно сильный взрыв. Пламя у отверстия обычно остается, и при дальнейшем поступлении кислорода взрывы повторяются несколько раз. Для безопасности цилиндр необходимо обернуть по всей длине двумя слоями медицинского лейкопластыря или изоляционной ленты.

ВОСПЛАМЕНЕНИЕ ВЗВЕСЕЙ ГОРЮЧИХ ТВЕРДЫХ ВЕЩЕСТВ В КИСЛОРОДЕ

а) В фарфоровой ступке растирают древесный уголь в тонкую, не осаждаемую пальцами пыль. Угольную пыль всыпают слоем около 1 мм на дно совершенно сухого стеклянного цилиндра емкостью 0,5 л с пришлифованными краями. После этого наполняют цилиндр сухим (стр. 33) кислородом и закрывают стеклом (без смазки, чтобы угольная пыль не прилипла к стеклу). Сильно встряхивают цилиндр, снимают стекло и тотчас подносят к отверстию горящую лучинку. Тонкая суспензия угольной пыли воспламеняется в кислороде.

б) Подобный опыт хорошо удается, если взять вместо угля тонкий порошок ликоподия (споры плауна).

Эти опыты демонстрируют опасность употребления открытого огня, когда в воздухе закрытых помещений без достаточной вентиляции может накопиться пыль горючих веществ (мучная пыль на мельницах, угольная пыль в шахтах и др.).

ЗАВИСИМОСТЬ ВОСПЛАМЕНЯЕМОСТИ ВЕЩЕСТВА ОТ СТЕПЕНИ ЕГО РАЗДРОБЛЕНИЯ

Цель опытов — показать, что, чем мельче раздроблено вещество, тем быстрее отдельные частички его прогреваются до температуры воспламенения, следовательно, тем легче оно воспламеняется и быстрее сгорает, так как лучше перемешивается с воздухом.

1) Горение измельченного железа. а) Стальные опилки сыпать с высоты 5—10 см в пламя спиртовки, получается сноп искр. Железная пластинка или проволока в пламени спиртовки не загорается.

б) Нагреть порошкообразное (восстановленное) железо в пробирке (около $\frac{1}{4}$ ее объема), укрепленной в держалке. Если железо достаточно прогрето, то при падении его с некоторой высоты в ведро, банку и т. п. оно загорается и дает сноп искр.

2) Воспламенение парафина. Около $\frac{1}{3}$ пробирки (обязательно в держалке) наполнить кусочками парафина. Нагреть его до бур-

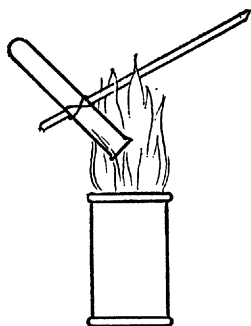


Рис. 35. Воспламенение парафина.

ного кипения и вылить с высоты 10—15 см тонкой струей в банку или в ведро с водой (рис. 35). Парафин вспыхивает, образуя большое пламя.

СЖИГАНИЕ РАСПЫЛЕННОГО ЖИДКОГО И ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

Распылением жидкого и твердого топлива для обеспечения большей полноты сгорания и получения высоких температур пользуются при сжигании его в форсунках.

а) Простейшую модель форсунки для распыления жидкого топлива легко устроить из двух скрепленных под прямым углом трубок (рис. 36). Вертикальную трубку погружают в пробирку или склянку с керосином. Через горизонтальную трубку (она обычно немного толще вертикальной и прилегает к ней вплотную) резиновым баллоном (или даже ртом с помощью длинной резиновой трубки) вдувают воздух. Струю распыленного керосина направляют на пламя горелки. Получается громадное шумящее пламя длиной до 0,5 м.

Если распылитель хорошо действует, то горелку можно отставить и пламя останется. Лучший результат получается, если вместо простейшего распылителя взять парикмахерский пульверизатор и изготовить из него модель керосиновой форсунки (рис. 37). Такой

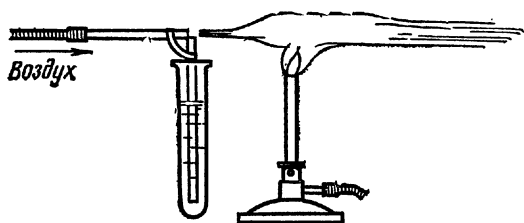


Рис. 36. Простейший распылитель.

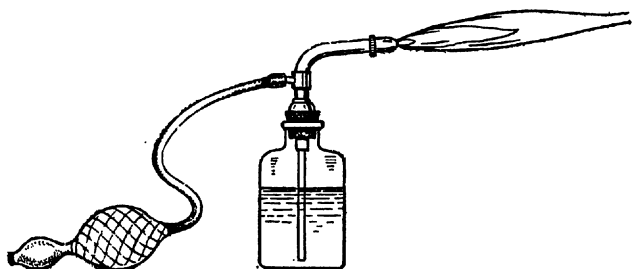


Рис. 37. Модель форсунки.

распылитель может работать после поджигания струи и без подставленной горелки.

Пламя следует направить вдоль демонстрационного стола, чтобы учащиеся видели пламя сбоку. На столе не должно быть ничего, что могло бы загореться или испортиться от брызг керосина. Для сравнения желательно зажечь керосин в фарфоровой чашке.

б) Сжигание порошкообразного твердого топлива можно иллюстрировать при помощи прибора, изображенного на рисунке 38. В качестве горючего порошка берут лycopодий. Порошок его насыпают в баночку на 50—75 мл, которую закрывают пробкой с двумя стеклянными трубками. Трубка 1, через которую вдувают воздух, доходит почти до дна баночки, трубка 2 оканчивается у самой пробки. Трубку 1 берут диаметром 5—6 мм (стеклянная газоотводная трубка). Трубку 2 следует взять пошире, с наружным диаметром около 8 мм.

Установив приборчик с лycopодием против горелки и слегка встряхивая баночку вверх и вниз, сильно вдувают в нее воздух резиновой грушей, направляя струю пыли на пламя горелки вдоль демонстрационного стола.

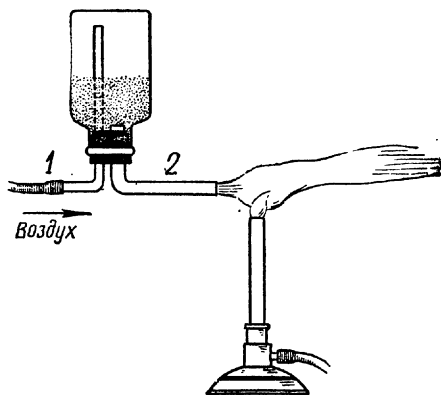


Рис. 38. Модель форсунки для твердого топлива.

Прекращение горения охлаждением

Цель опытов — показать, что при охлаждении горящего вещества ниже температуры воспламенения горение прекращается, откуда следует ряд практических выводов: тушение пожаров, предотвращение взрывов с использованием медной сетки и др.

1) Прекращение горения охлаждением горячей жидкости.

а) В железный тигель высотой 5—6 мм или соответствующих размеров жестяную коробку налить 1—2 мл скипидара или керосина. Показать, что жидкость трудно зажигается лучинкой. Лучинка, опущенная в керосин или скипидар, может даже погаснуть. Взять тигель щипцами, слегка нагреть его на горелке и затем зажечь жидкость. По мере того как тигель прогревается, горение усиливается.

Погрузить тигель до $\frac{1}{3}$ его высоты щипцами в приготовленную в большой чашке холодную воду и перемещать его круговыми движениями, не допуская попадания воды внутрь тигля. Пламя начинает постепенно уменьшаться, и, наконец, горение совсем прекращается. После того как пламя погаснет, снова нагреть тигель

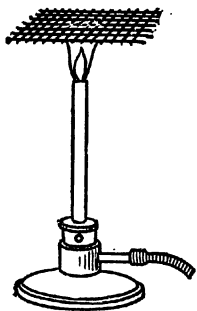


Рис. 39. Охлаждение пламени газа сеткой.

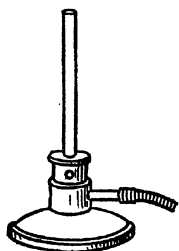
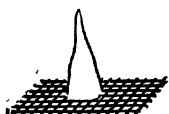


Рис. 40. Охлаждение пламени газа сеткой.

в пламени горелки и зажечь жидкость, чтобы показать, что угасание произошло от охлаждения, а не от того, что вся жидкость сгорела.

б) Опыт можно видоизменить таким образом: зажечь жидкость в фарфоровой чашке и затем вылить немного горячей жидкости на чугунную сковородку или на какой-нибудь другой массивный металлический предмет подходящих размеров. При соприкосновении с металлом, обладающим большой теплопроводностью, скипидар быстро охлаждается и гаснет. Для сравнения часть горящего скипидара вылить в фарфоровую чашку; он продолжает гореть.

2) Прекращение горения охлаждением пламени газа или спирта металлической сеткой. Опыты основаны на том, что металл как хороший проводник тепла быстро отводит его и отдает окружающему воздуху. Поэтому температура горящего газа падает ниже точки его воспламенения.

Для опыта нужна медная или латунная (не железная) сетка, не слишком тонкая, с просветами не более 0,5 мм.

а) Держа сетку щипцами, наложить ее на пламя газовой горелки приблизительно до половины его. Пламя не проходит через сетку (рис. 39). Затем зажечь лучинку и поднести ее к проходящему через сетку газу: он вспыхивает, пламя появляется и над сеткой.

Погасить горелку, затем, держа сетку в прежнем положении, пустить газ и поднести горящую лучинку к газу ниже сетки. Газ вспыхивает, но пламя не распространяется выше сетки.

Снова погасить горелку и проделать то же, но поднести пламя лучинки к газу выше сетки. Газ загорается, но пламя не распространяется вниз (рис. 40). Пламя проходит через сетку только в том случае, если она сильно прогреется.

б) Изложенные выше опыты можно выполнить с лабораторной спиртовкой. Фитиль следует выдвинуть побольше. Сначала внести сетку в пламя сверху и показать, что горение не распространяется выше сетки. Если теперь сетку приблизить к фитилю настолько, чтобы они соприкасались, то можно зажечь проходящие сквозь сетку пары спирта: погасив спиртовку, нужно положить сетку на фитиль и зажечь спирт поверх сетки. Пламя не распространяется вниз.

в) Налить в фарфоровую чашку спирта и поставить на середину чашки свернутую из медной сетки трубку диаметром 5—6 см

и высотой около 20 см. Бросить в трубку зажженную спичку. Спирт внутри трубки загорается, но пламя не распространяется наружу. Если поднять трубку щипцами, спирт вспыхивает по всей поверхности. Вспыхнувшее пламя погасить, накрыв чашку куском картона или жести.

г) Опыт охлаждения пламени сеткой можно выполнить и с бензиновой или спиртовой лампой Бартеля, но, так как температура пламени ламп Бартеля значительно выше температуры пламени газа, сетка довольно быстро прогревается и пламя проходит сквозь сетку. Опыт удастся лучше, если сетку сложить в два или три ряда. Пламя должно быть слегка светящимся.

д) Аналогичные опыты могут быть выполнены с использованием простейшей установки для карбюрирования (т. I, стр. 192) с газовой горелкой или самодельной горелкой из стеклянных трубок (стр. 56), которую может сделать учитель.

Предотвращение взрыва и вспышки с помощью медной сетки

а) В приборах для демонстрации взрыва смеси паров бензина или бытового газа с воздухом (стр. 42, рис. 32 и 33) используют в качестве предохранителя медную сетку, вставив достаточно плотно свернутые из нее цилиндрики в отводную трубку склянки с «бумажным дном» (стр. 42) или непосредственно в обмазанное асбестом горло тубулированной склянки. Опыты выполнять, как описано на странице 42. При наличии предохранительной медной сетки взрыва внутри склянки не происходит. (Об аналогичных опытах с водородом см. стр. 73.)

б) В познавательном отношении представляют интерес опыты с моделью рудничной лампы (лампы Дэви). В настоящее время такие лампы не используются, но учащимся следует напомнить об исключительно важном значении лампы с сеткой для предотвращения взрывов в шахтах.

Упрощенную модель лампы (без стекла) легко изготовить из корковой пробки диаметром около 5 см и такого же диаметра цилиндра, свернутого из медной сетки и сшитого по высоте мягкой медной проволокой. Края цилиндра должны заходить один на другой не менее чем на 1 см. Высота цилиндра 10—12 см. В верхний конец цилиндра вкладывают на глубину до 1 см два кружка из такой же сетки и края цилиндра загибают внутрь. К кружкам прикрепляют крючок из проволоки. Нижний конец цилиндра плотно (но так, чтобы можно свободно снимать) надевают на пробку по всей ее толщине. На пробке внутри цилиндра укрепляют огарок свечи высотой 2—3 см (рис. 41). Для опыта нужен большой (батарейный) стакан или стеклянная банка с широким горлом объемом около 3 л.

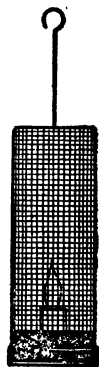


Рис. 41. Упрощенная модель лампы Дэви.

Перед демонстрацией опыта смачивают бензином комок ваты, обильно протирают им внутренние стенки и дно банки (стакана) и закрывают сверху кружком жести. После этого снимают цилиндр с пробки, зажигают свечу (чтобы пламя не было очень большим, можно обрезать фитиль), затем вновь надевают цилиндр на пробку и, следя, чтобы пламя не очень отклонялось в сторону, сдвигают жестяную крышку и опускают «лампу» до дна стакана (банки). Пламя внутри цилиндра вытягивается, колеблется и обычно гаснет; иногда перед этим происходит небольшая вспышка внутри «лампы», однако за пределы сетки она не распространяется. Повторение опыта (без предварительного смачивания стенок банки бензином) дает тот же результат. Вынув и погасив «лампу», бросают в банку (стакан) зажженную спичку. Из банки вырывается большое пламя. Чтобы погасить его, закрывают банку жестяной крышкой.

Воспламенение веществ при некоторых химических реакциях

Описанные ниже опыты могут быть использованы не только на уроках, но и на внеклассных кружковых занятиях, атеистических вечерах, вечерах занимательной химии.

1) Окисление спирта, эфира и других веществ перманганатом калия. а) На жестяную крышку, кусок жести или крышку от фарфорового тигля с отбитым ушком, помещенную на асбестированную сетку, насыпать около 1 г мелких кристалликов перманганата калия и осторожно облить из капельной («глазной») пипетки концентрированной серной кислотой (*правила*, см. т. I, стр. 170 и т. II, стр. 369) так, чтобы масса не растекалась. Из пипетки приливать к смеси по каплям спирт (лучше с небольшой добавкой серного эфира). Каждая капля вызывает появление пламени.

б) На приготовленную изложенным выше способом окислительную смесь выжать спирт из комка ваты. Для этого обильно смоченную спиртом вату зажать в руке и как бы взмахнуть ею над окислительной смесью (на высоте не менее 50 см), нажать при этом пальцами на вату, чтобы выжимаемый спирт попал на смесь. Появляется большое пламя, которое после сгорания спирта гаснет само собой. Поблизости не должно быть легковоспламеняющихся материалов.

в) Можно взять некоторое количество окислительной смеси на стеклянную палочку и коснуться ею бумаги или ваты, смоченных смесью спирта с эфиром.

Вместо спирта можно взять бензин.

г) Фитиль стеклянной спиртовки обильно смочить спиртом и насыпать на него измельченный перманганат калия. Конец стеклянной палочки обмакнуть на 0,5 см в концентрированную серную кислоту и прикоснуться им к фитилю; спиртовка загорается.

д) *Пламя из стеклянной трубки.* Для опыта нужна стеклянная трубка длиной 35 см, диаметром 1 см, согнутая на $\frac{1}{3}$ длины под углом около 20° . В трубку до места сгиба плотно вставляют просвер-

ленную (отверстие диаметром около 3 мм) корковую пробку (рис. 42).



Рис. 42. Трубка для демонстрации воспламенения эфира.

Перед демонстрацией в чистый фарфоровый тигель, помещенный (*обязательно!*) в стеклянную пол-литровую банку, насыпают около половины чайной ложки измельченного перманганата калия, осторожно пипеткой наливают столько серной кислоты, чтобы получилась жидкая кашица (*не перемешивать!*), и закрывают банку стеклянной пластинкой, предохраняющей от вылетания брызг и хлопьев твердых продуктов реакции в случае самопроизвольного разложения. Рыхлый комок ваты обильно смачивают серным эфиром и кладут на стол (можно прикрыть стаканом). Сдвинув стекло с банки, опускают короткий (от места сгиба) конец трубки в окислительную смесь и слегка поворачивают трубку, без нажима на дно тигля. На конце трубки остается после этого зеленое или темноватое кольцо шириной около 0,5 см. Вынув трубку и закрыв банку, следует возможно быстрее взять смоченную эфиром вату, вставить ее в длинный конец трубки, протолкнуть стеклянной палочкой почти до пробки и, взяв этот конец трубки в рот, сильно подуть в него. У короткого конца трубки появляется большое пламя. Вдувание воздуха с небольшими перерывами можно повторить несколько раз. Трубку после опыта хорошо вымыть (особенно короткий конец) и просушить (пробку можно не вынимать). Тигель с оставшейся в нем окислительной смесью залить водой, не вынимая из банки. Повторять опыт в случае неудачи и т. п. с невымытой или мокрой трубкой нельзя. Не рекомендуется демонстрировать опыт, не вставив в трубку просверленную пробку: при вдувании воздуха вата может вылететь из трубки и воспламениться. Посуда, реактивы должны быть чистыми, попадание случайных, особенно горючих, примесей может вызвать преждевременное разложение окислительной смеси и даже взрыв.

Более просто можно нанести окислитель на конец трубки, погрузив ее на 1 см в тигель (стаканчик) с концентрированной серной кислотой, а затем, держа трубку вертикально, прижать смоченный конец ее к мелкому порошку перманганата калия, насыщенному в другой тигель слоем не менее 0,5 см. Но при таком нанесении окислителя опыт не удастся значительно чаще, чем в первом варианте.

е) Опыт внезапного воспламенения эфира под названием «Опыт алхимика» можно поставить в более сложном оформлении следующим образом (рис. 43). В пробирку 1 введена через резиновую пробку почти до дна тонкая (внутренний диаметр 1,5—2 мм) стеклянная трубка 2, согнутая в верхней части под тупым углом и оттянутая на конце. Согнутый верхний конец трубки 2 введен в отверстие пробки, на которую можно надевать тонкостенную стеклянную трубочку 3 длиной около 5 см, диаметром около 5 мм;

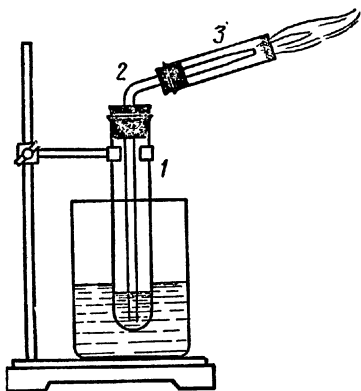


Рис. 43. Воспламенение эфира:

1 — пробирка; 2 — стеклянная трубка с вытянутым концом; 3 — стеклянная трубочка

она должна легко сниматься с пробки. Оттянутый конец трубки 2 находится внутри трубочки 3 на расстоянии 0,5 см от ее края.

Перед демонстрацией опыта в закрепленную в штативе пробирку 1 наливают 2 мл (не более!) серного эфира, погружают пробирку в стакан емкостью 100 мл почти до дна и наливают в него 40 мл воды. Затем готовят окислительную смесь, как описано в предыдущем опыте, со всеми указанными выше предосторожностями. Снимают с пробки трубочку 3, погружают конец ее в окислительную смесь (можно за второй конец осторожно держать щипцами) и быстро надевают обратно. После этого в стакан с водой вливают 10 мл

концентрированной серной кислоты и перемешивают. Из отверстия трубки 3 вырывается длинное пламя, так как эфир в пробирке вскипает, а под давлением паров его жидкий эфир выбрасывается через трубку 2 и загорается.

Вблизи не должно быть огнеопасных веществ. Ликвидацию оставшейся окислительной смеси следует произвести, как и в предыдущем опыте.

ж) *Горение под жидкостью.* В стеклянный цилиндр емкостью 150—200 мл, поставленный в кристаллизационную чашку, наливают 30—40 мл концентрированной серной кислоты так, чтобы не смочить ею стенки цилиндра. Затем медленно по внутренней стенке вливают 50—60 мл этилового спирта. Так как спирт значительно легче, он в этих условиях не смешивается с кислотой и граница между ними ясно видна. После этогосыпают в цилиндр около $\frac{1}{4}$ чайной ложки не очень мелких кристаллов перманганата калия, которые опускаются на дно цилиндра и, реагируя с серной кислотой, образуют оксид марганца Mn_2O_7 . Капельки этого оксида поднимаются вверх и, дойдя до слоя спирта, воспламеняют его. На границе слоев возникают яркие вспышки, сопровождающиеся потрескиванием. Процесс может протекать длительное время.

По окончании демонстрации (можно не ожидать окончания процесса) следует, взяв цилиндр за дно, приложить его недалеко от отверстия к краю ведра с водой и, наклоняя, быстро вылить содержимое в воду. При этом может произойти вспышка, не представляющая опасности, однако наклоняться над ведром не рекомендуется.

з) *Воспламенение глицерина.* Около $\frac{1}{4}$ чайной ложки мелкого порошка перманганата калия насыпать кучкой на железную пластинку. В небольшое углубление в середине кучки влить пипеткой

несколько капель глицерина. Через некоторое время происходит воспламенение. Глицерин для опыта нужен чистый, так называемый динамитный (плотность 1,22). С туалетным парфюмерным глицерином опыт не удастся.

и) *Воспламенение лучины.* В пробирке нагреть мелкие кристаллы перманганата калия, насыпанные слоем 1—1,5 см, до начала разложения. Продолжая нагревание, погрузить в пробирку длинную сухую лучинку и перемешивать ею перманганат: лучинка загорается (П. К. Григориади).

2) *Воспламенение спирта при действии оксида хрома CrO_3* (стр. 366). В фарфоровую чашку поместить немного мелкого красного порошка сухого оксида хрома CrO_3 и пипеткой приливать спирт: происходит воспламенение.

3) *Воспламенение металлического калия* (стр. 92). В небольшую крышку от тигля с отбитым ушком положить кусочек металлического калия величиной немного более спичечной головки. Поместить крышку на лист жести и положить вокруг нее немного древесных стружек, слегка смоченных бензином. Из стакана вылить в крышку немного воды. При взаимодействии с водой калий воспламеняется и зажигает стружки (*правила* обращения с натрием, стр. 88).

4) Аналогично можно выполнить опыт с металлическим натрием (стр. 90), но кусочек его таких же размеров поместить на фильтровальную бумагу и при приливании воды смочить бумагу в том месте, где находится натрий.

Пламя

СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА ПЛАМЕНИ

Строение пламени свечи

Для классических опытов по изучению пламени свечи лучше взять толстую парафиновую свечу, но можно воспользоваться и тонкой (например, елочной) свечой. Свече следует дать предварительно погореть некоторое время в защищенном от колебания воздуха месте, чтобы сгорела верхняя суженная часть и чтобы вокруг фитиля образовалось правильное углубление.

а) Во внутренней темной части пламени свечи находятся горючие газы, которые можно вывести из пламени стеклянной трубочкой и зажечь. Не очень толстостенную трубку длиной 10 см, диаметром 5—7 мм укрепить в проволочной держалке, прогреть ее предварительно в пламени лабораторной спиртовки (чтобы горючие пары не конденсировались в трубке), ввести трубку несколько наклонно в темную часть пламени и через некоторое время зажечь отходящие газы у верхнего конца (рис. 44).

Для успеха опыта важно, чтобы около свечи не было сильного движения воздуха. Размеры и наклон стеклянной трубки также

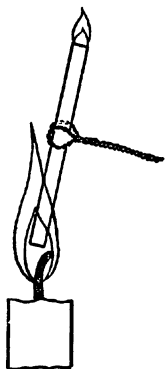


Рис. 44. Строение пламени свечи.

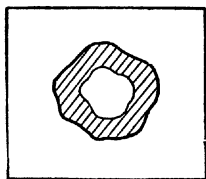


Рис. 45. Строение пламени спиртовки (проекция на плоскость).

имеют значение. После небольшого навыка опыт удастся очень хорошо, пламя у конца трубочки получается достаточных размеров и не гаснет в течение долгого времени.

б) Для определения самой горячей части пламени внести в пламя свечи бумагу, держа ее натянутой горизонтально над самым фитилем, но не касаясь его. Когда на бумаге сверху обозначится круг, вынуть бумагу из пламени. На верхней поверхности бумаги круг виден лучше, чем на нижней, так как на последней имеется слой копоти. Если бумага требуемой толщины и плотности, опыт удастся очень хорошо. Получается как бы проекция пламени на плоскость (рис. 45).

Строение пламени спиртовки

а) Зажечь лабораторную спиртовку, установив фитиль на такой высоте, чтобы получилось не очень большое пламя (длиной около 10 см); фитиль полезно подрезать, чтобы он был ровный, нерастрепанный. Прогреть в пламени стеклянную трубочку длиной 10 см и диаметром 9 мм. Установить трубочку наклонно, держа нижний конец ее внутри пламени, как в опыте со свечой. Зажечь выходящие через трубочку пары спирта. Для успеха опыта нужно найти надлежащий наклон трубочки. Нижний конец

ее должен находиться на расстоянии около 1 см от верхнего конца фитиля.

б) Установить у спиртовки маленькое пламя длиной 6—7 см. Внести в него натянутую горизонтально полоску бумаги и держать ее на расстоянии 1—1,5 см от верха фитиля. На бумаге получается очень отчетливый круг.

в) Прodelать опыт с лучинками (или спичками), как он изложен ниже для газовой горелки.

г) Выдвинуть фитиль спиртовки и расправить его возможно шире. В середину фитиля вставить обломок спички длиной 1—1,5 см таким образом, чтобы головка спички оказалась внутри пламени. Если зажечь спиртовку, осторожно поднеся огонь сбоку, и если пламя не колеблется, то вставленная в фитиль спичка не будет загораться долгое время. Если на пламя слегка подуть, оно отклонится, наружная горячая часть его коснется головки спички и она вспыхнет. (О характеристике пламени см. также т. I, стр. 175.)

д) Обнаружить наличие в пламени трех частей, наблюдая пламя горячей лучинки, свернутой в трубку бумаги.

Строение пламени газовой горелки

Для опытов лучше всего воспользоваться газовой горелкой с регулировкой доступа воздуха. Если в классе нет сетевого газа и газового баллона, основные опыты по изучению строения газового пламени можно показать, используя простейшую установку для карбюрирования (т. I, стр. 192). Собирать горючий газ или карбюрированный воздух (смесь воздуха с парами бензина) в газометр, как это рекомендуется в некоторых пособиях, не следует из-за очень большой опасности при работе со значительными объемами смесей горючих газов с воздухом.

Температура внутреннего конуса пламени газовой горелки ниже, чем наружного. а) Отрегулировать доступ воздуха в горелку таким образом, чтобы внутренний конус пламени был возможно отчетливо виден. Затем горелку погасить и в трубку горелки поместить спичку, проколотую на расстоянии 1 см от головки тонкой иглой. Игла должна лечь на края трубки горелки так, чтобы спичка висела вдоль оси горелки, головкой вверх (рис. 46, а).

Если теперь зажечь горелку, то спичка не загорается в течение очень долгого времени. Если слегка подуть на пламя горелки, чтобы оно отклонилось в сторону, то спичка оказывается в более горячей части пламени и тотчас же вспыхивает. Можно положить спичку поперек на трубку горелки. Спичка обгорает в двух местах, середина же, находящаяся в центре пламени, не обгорает.

Можно вносить в пламя одну за другой лучинки, держа их последовательно все выше и выше. Не давая лучинкам загораться, а вынимать их, как только начнется обугливание, тогда лучинки, положенные на лист бумаги в том порядке, в каком они вносились в пламя, дадут картину, как на рисунке 46, б.

б) В пламя горелки внести на несколько секунд бумагу, которая при этом обугливается в месте соприкосновения с жаркой частью пламени. На бумаге получается черное кольцо (рис. 45, опыт со свечой).

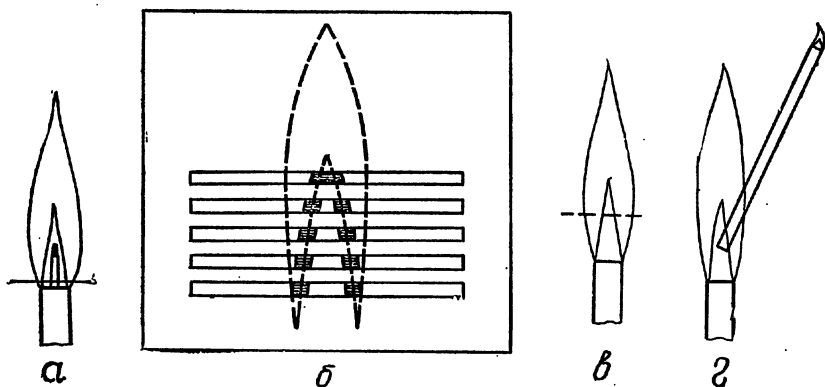


Рис. 46. Строение пламени газа,

Для опыта следует взять довольно толстую, но не особенно плотную бумагу в виде полосы 7—8 см в поперечнике и 20—25 см длиной. Опыт лучше всего удастся с белой фильтровальной бумагой. Пламя горелки для опыта нужно установить не очень большое, с умеренным притоком воздуха.

Бумагу вносят в пламя сбоку быстрым движением, как будто бы разрезают пламя по линии, обозначенной на рисунке 46, в пунктиром. Держать бумагу в пламени нужно горизонтально, натянув за оба конца. При небольшом навыке легко удастся определить тот момент, когда бумага уже достаточно обуглилась, но еще не успела загореться. Если бумага соответствующей плотности, то образование кружка хорошо видно сверху.

в) В пламя горелки щипцами внести стеклянную трубку диаметром 7—8 мм и длиной 10—15 см. Нижний конец трубки должен находиться во внутреннем конусе горелки (рис. 46, з). Выходящий из верхнего конца газ зажечь.

г) Внести в пламя горелки щипцами тонкую железную сетку, держа ее вертикально по оси пламени. Железо накаливается в тех местах, где пламя имеет высокую температуру. Таким образом, строение пламени делается видным издали. Кусок сетки должен быть примерно в 3 раза шире и в 2 раза длиннее пламени. Сетку следует взять мелкую, светлую и чистую, незаржавевшую. После того как сетка вынута из пламени, на ней остается как бы зарисованным его строение, так как железо чернеет в тех местах, где оно было накалино! Опыт показывает также распределение температуры в пламени горелки.

Обращенное пламя газа

Чтобы показать образование пламени в месте соприкосновения двух реагирующих газов независимо от того, какой из газов находится внутри пламени и какой снаружи, можно воспользоваться прибором, изображенным на рисунке 47. Прибор представляет собой стеклянный цилиндр, закрытый с обоих концов пробками. В пробки в середине вставлены два одинаковых обреза довольно широкой стеклянной трубки 1 и 2 диаметром 8—9 мм и длиной 8—10 см. В одну из пробок вставлена изогнутая трубочка 3, которая соединяется с газовым краном. Кроме того, готовится еще тонко оттянутая и изогнутая трубочка 4, длинное и тонкое колено которой должно быть немного длиннее трубок 1 и 2. Трубочку 4 присоединяют резиновой трубкой к другому газовому крану. Прибор укрепляют в штативе в таком положении, как на рисунке 47, а. Трубочка 4 вначале не используется.

Через трубочку 3 пускают не особенно сильный ток газа и, выждав немного, зажигают его у конца трубки 1. Получается большое, слегка светящееся пламя.

Если приток газа не слишком силен, то, будучи значительно легче воздуха, весь газ направляется в трубку 1, через трубку же 2

в цилиндр входит струя воздуха, смешивающегося с газом. Если теперь у конца трубочки 4 зажечь небольшое (длиной 3—4 мм) пламя газа и ввести его через трубку 2 внутрь цилиндра, то между входящим в цилиндр через трубку 2 воздухом и находящимся там газом начинается реакция и появляется второе пламя, имеющее обратное строение по сравнению с первым. Внутренний его конус состоит из воздуха, атмосфера же, окружающая пламя, — из газа. В первый момент после возникновения второго пламени стенки цилиндра покрываются капельками воды, но вскоре цилиндр прогревается и стенки высыхают. Приток газа через трубочку 3 должен быть отрегулирован таким образом, чтобы второе пламя имело высоту около 3 см. Пламя это получается почти бесцветное, и, чтобы оно было лучше видно издали, внутренние концы трубок 1 и 2 следует смазать до опыта концентрированным раствором едкого натра. Тогда пламя будет окрашиваться парами натрия в желтый цвет.

Внутренний конус второго пламени, очевидно, может поддерживать горение. Внесенное в него маленькое пламя, горящее у конца трубочки 4, продолжает гореть. Получается пламя внутри пламени (рис. 47, а).

Вынув из муфты зажим, в котором укреплен цилиндр, можно затем осторожно перевернуть последний таким образом, чтобы трубка 2 оказалась наверху, а трубка 1 вниз. Газ тогда устремится вверх через трубку 2, через трубку же 1 в цилиндр будет подниматься воздух. Поверхности, разделяющие оба газа, передвигаются по трубкам, но реакция при этом не прекращается, и у верхних концов той и другой трубки появляется пламя. У конца трубки 2 появляется пламя газа в воздухе, у трубки 1 — обращенное пламя (рис. 47, б). Происходит как бы выворачивание каждого пламени.

Этот опыт можно повторить несколько раз подряд. Если при неосторожном переворачивании какое-нибудь пламя погаснет, его снова можно зажечь маленьким пламенем трубки 4, которое не следует гасить. Переворачивать цилиндр нужно не очень быстро и не слишком медленно. После небольшой практики легко научиться производить опыт безошибочно.

Иногда при зажигании внутреннего пламени, если приток газа плохо отрегулирован и в цилиндр поступает слишком много воздуха, внутри цилиндра происходит взрыв смеси газа с воздухом, не представляющий, впрочем, никакой опасности.

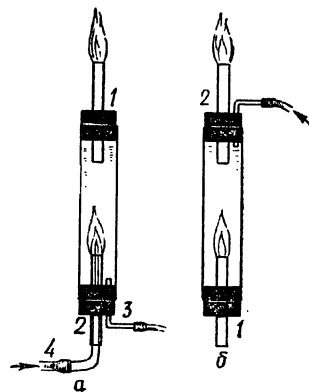


Рис. 47. Обращенное пламя газа:

1 и 2 — широкие стеклянные трубки; 3 — изогнутая трубочка; 4 — трубочка с оттянутым концом.

Нередко обращенное пламя характеризуют как эффект «горения воздуха в газе». Такую трактовку следует считать ошибочной. Горение протекает на границе соприкосновения газа с воздухом, при этом горит (окисляется) газ, а кислород воздуха является окислителем (см. также о так называемом горении кислорода в водороде, стр. 71).

Светимость и температура пламени

1) Пламя газовой горелки. Цель опытов — показать, что пламя газовой горелки может быть светящимся и несветящимся в зависимости от притока воздуха, и объяснить устройство имеющихся горелок. Для опытов можно также изготовить модель горелки Бунзена из стеклянных трубок (рис. 48).

Обрезок широкой стеклянной трубки диаметром 9 мм, длиной около 10 см укрепить вертикально в зажиме штатива. Под ней укрепить трубку с оттянутым тонким кончиком, на который надет пробковый кружок. Другой конец этой трубки соединен с газовым краном. Если при таком относительном расположении трубочек, как на рисунке, пустить газ и зажечь его у конца верхней трубки, то получается несветящееся пламя, как у горелки Бунзена. Если же поднять нижнюю трубку так, чтобы пробковый кружок закрыл доступ воздуха в верхнюю трубку, пламя делается светящимся.

Опыт можно проделать с карбюрированным воздухом (т. I, стр. 192).

2) Обнаружение частичек угля в светящемся пламени. Внести в светящееся пламя газа, бензина (лампа Бартеля) или свечи фарфоровую чашку. На дне оседает копоть.

3) Несветящееся пламя можно сделать светящимся. Для опыта удобнее всего воспользоваться газовой горелкой, имеющей отверстие для притока воздуха снизу (рис. 49, а). Такие горелки во время опыта не ставят на стол, а укрепляют в штативе.

Отрегулированное несветящееся пламя горелки можно сделать светящимся, если вводить в него порошок угля, сажу, мел и т. п. Тонкий порошок угля или мела можно ввести в пламя с помощью приспособления, изображенного на рисунке 49, а. При вдувании воздуха в банку (при отсутствии резинового баллона можно вдувать воздух ртом по длинной резиновой трубке) частички твердого вещества попадают в пламя.

Проще вводить уголь в виде копоти. Для этого лабораторную спиртовку наполнить скипидаром. Фитиль отрегулировать так, чтобы получалось маленькое пламя (рис. 49, б). Можно зажечь скипидар на лучинке.



Рис. 48. Упрощенная горелка Бунзена из стеклянных трубок.

В качестве других твердых веществ используют порошки извести, мела (зубной порошок), магнезии и т. п. Известь берут гашеную, но сухую.

Для горелки с боковым притоком воздуха или лампы Бартеля желательнее сделать из жести воронку в виде конуса, конец которого вставить наискосок в отверстие для доступа воздуха. В эту воронку и направлять копоть или порошок. Нет надобности, чтобы конец воронки был изогнут или очень плотно вставлялся в отверстие горелки. Благодаря току воздуха копоть (или порошок) попа-

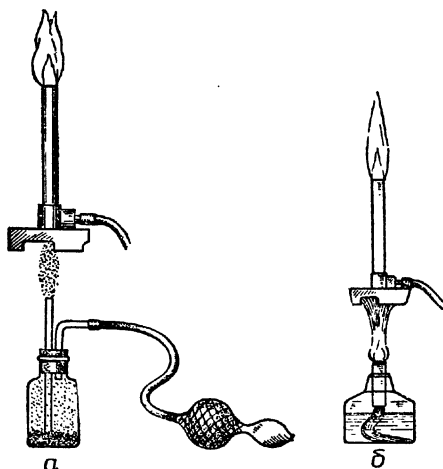


Рис. 49. Введение угля и сажи в пламя.

дает в горелку в достаточном количестве. Для опыта с лабораторной спиртовкой трубку прибора для вдвухания порошка сгибают под углом и направляют непосредственно в пламя.

Цель этих опытов — показать, что светимость пламени зависит от наличия в нем твердых (несгоревших или негорючих) частиц. В связи с этим полезно повторить (или вспомнить) горение в кислороде и в воздухе водорода, серы, фосфора, магния.

4) При охлаждении пламени оно становится менее светящимся. Из толстой медной проволоки диаметром около 3 мм свернуть спираль, внутренний диаметр которой равнялся бы диаметру пламени горелки или свечи, а длина — длине пламени. Накрывать светящееся пламя газовой горелки или свечи спиралью. Пламя, пока спираль не прогреется, делается менее светящимся из-за понижения температуры.

5) При вдвухании в пламя воздуха оно делается несветящимся и температура его повышается. а) В светящееся пламя свечи вдвухать воздух паяльной трубкой через инъекционную иглу или тонко оттянутый стеклянный капилляр. Нагреть стеклянную трубку в светящемся пламени свечи (выделение копоти) и в несветящемся отклоненном конусе (размягчение стекла).

б) Повторить те же опыты с лабораторной спиртовкой, в которую налит керосин, и со спиртовкой, наполненной спиртом. Показать учащимся восстановительное (шумящее) пламя и окислительное (несветящееся) пламя, позволяющие выполнять простые стеклoduвные работы (т. I, стр. 179).

в) Показать учащимся паяльную горелку любой конструкции (т. I, стр. 185) с регулировкой подачи воздуха и разными типами пламени (с полным и неполным сгоранием) и различной температурой.

Г л а в а II

ВОДОРОД

В предыдущих разделах I и II томов уже были рассмотрены опыты с водородом, связанные с различными темами школьной программы (т. I, стр. 311 и т. II, стр. 38). При изучении темы «Водород» в систематическом курсе химии необходимо выполнить и относящийся к ней эксперимент, описание которого приводится ниже.

Предупреждение! Прежде чем выполнять какие бы то ни было опыты с водородом, следует внимательно изучить правила техники безопасности (т. I, стр. 168) и не только соблюдать общие требования, но неукоснительно выполнять все указания, связанные с особенностями отдельных опытов.

ПОЛУЧЕНИЕ ВОДОРОДА

Основным лабораторным способом получения водорода является реакция взаимодействия разбавленной серной (реже соляной) кислоты с цинком. Все прочие реакции — взаимодействие серной или соляной кислоты с магнием и другими металлами, взаимодействие воды с натрием, кальцием, магнием, железом (железо-паровой способ промышленного получения водорода), взаимодействие алюминия со щелочью, даже электролиз водных растворов (кроме работ специального назначения) — в учебных лабораториях используются при изучении свойств соответствующих веществ, а для получения сколько-нибудь значительных количеств водорода в учебных лабораториях не используются. Описание этих опытов отнесено поэтому к соответствующим разделам.

Для получения водорода обычно используют чистый зернистый (гранулированный) цинк или технический цинк в виде обрезков, стружек и т. п. Однако следует избегать слишком загрязненного цинка, который иногда содержит значительные количества мышьяка и сурьмы, образующих при реакции получения водорода мышьяковистый (AsH_3) и сурьмянистый (SbH_3) водород. От примесей этих газов пламя горящего водорода приобретает беловатый цвет, и

над ним иногда даже заметен белый дымок образующихся при горении оксидов As_2O_3 и Sb_2O_3 . Оба указанных выше газа *крайне ядовиты*, и при опытах с загрязненным водородом можно серьезно отравиться.

Вообще никогда не следует нюхать и вдыхать в значительных количествах водород, получаемый действием серной кислоты на цинк, так как цинк редко совсем не содержит мышьяка (кроме особо очищенного «безмышьякового» цинка для специальных целей, экспериментов). Небольшие количества соединений мышьяка бывают обычной примесью также к серной кислоте, особенно технической, поэтому кислоту для получения водорода следует брать чистой.

Если нет достаточно чистого цинка, то следует очистить получаемый водород, пропуская его через промывную склянку (т. I, стр. 269) с подщелоченным раствором перманганата калия, который окисляет мышьяковистый водород. Если желательно иметь сухой, освобожденный от водяных паров водород (обычно только для специальных работ, например количественного синтеза воды и пр.), то газ пропускают через осушительную склянку или промывалку с серной кислотой. Можно осушить водород также пропусканием его через безводный хлорид кальция или натронную известь (т. I, стр. 271). Для улавливания мельчайших капелек кислоты, увлекаемых током водорода, его пропускают через слой ваты, вложенной в шариковую трубку, аллонж (только для отдельных опытов, например при наполнении мыльных пузырей, стр. 65).

Серную кислоту для получения водорода берут разбавленной водой в отношении 1:5 по объему (правила разбавления см. стр. 308, а также т. I, стр. 166). Если взятый цинк и серная кислота очень чистые, то выделение водорода идет весьма медленно, особенно вначале. Поэтому к остывшему после разбавления раствору иногда прибавляют немного раствора медного купороса. Осевшая на поверхности цинка металлическая медь ускоряет реакцию (см. образование гальванической пары, стр. 308). Если нет серной кислоты, то можно воспользоваться и соляной. Наиболее подходящее разбавление: концентрированную кислоту плотностью 1,19 разбавить равным объемом воды, но можно взять и более разбавленную кислоту.

За неимением цинка можно взять железо в виде опилок, стружек (опилки и стружки, взятые из мастерских, обычно бывают жирные от смазочного масла, и их полезно промыть чистым бензином), мелких гвоздей, нарезанного листового железа и т. п. Вследствие загрязненности железа водород получается с заметным запахом.

Опыты с водородом могут представить большую опасность при неосторожном с ним обращении и совершенно безопасны при соблюдении мер предосторожности: необходимо обязательно испытать чистоту водорода при каждом его зажигании, никогда не полагаясь на «уверенность», что водород чистый (правила, стр. 60, а также т. I, стр. 281). В томе I (стр. 251) рассмотрены различные приборы для получения водорода. При первом демонстрационном опыте

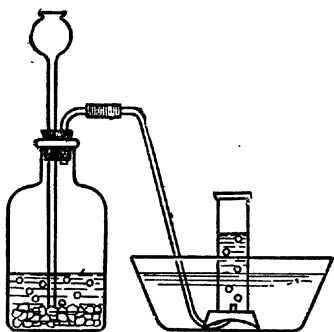


Рис. 50. Прибор для получения водорода.

получение водорода лучше показать в одном из простых приборов с воронкой (рис. 50). Для дальнейших опытов потребуется более или менее значительное количество водорода, и потому следует снарядить один из автоматических приборов — аппарат Киппа, Сен-Клер-Девилья или другой подобный прибор.

Насыпав в склянку (рис. 50) 1—1,5 столовых ложки гранулированного цинка и вставив пробку так, чтобы трубка воронки доходила почти до самого дна склянки, погружают газоотводную трубку в чашку (четырёхугольную ванну с жестяным или другим мостиком, см. в т. I, стр. 275) с водой, наливают столько серной кислоты, чтобы она покрыла цинк на 2—3 см (следить, чтобы конец воронки был обязательно погружен в жидкость), и, как только начнется выделение газа, провести испытание водорода на чистоту. Для этого в ванну опрокинуть наполненную водой пробирку и собрать в нее газ. Закрывать отверстие пробирки пальцем под водой, вынуть из ванны и, поднеся к пламени горелки, отнять палец. Сначала, пока идет воздух с малым содержанием водорода, никаких явлений при этом не наблюдается. Затем начинаются резкие взрывы со свистом (после того как примесь водорода превышает 5—10%). С каждым новым испытанием взрывы сначала делаются резче, а затем слабее, и, наконец, когда пойдет чистый водород, он загорается с легким звуком «пп-а». Для того чтобы учащиеся могли хорошо проследить весь ряд явлений, следует взять склянку для прибора побольше, чтобы в нем было достаточно воздуха, и не наливать сразу очень много кислоты.

В дальнейшем испытание проводят не в момент начала выделения газа, а через некоторое время, когда можно предположить, что весь воздух уже вытеснен. Кроме того, нет необходимости собирать газ над водой в четырёхугольной ванне. Достаточно поддержать некоторое время опрокинутую пробирку надетой на газоотводную трубку прибора (рис. 51, а), затем медленно снять пробирку с трубки и, держа в наклонном положении, поднести к пламени горелки (рис. 51, б). Убедившись в чистоте водорода, наполнить водой цилиндр объемом 200—250 мл, опрокинуть его в чашку с водой и собрать водород вытеснением воды. Обратить внимание учащихся на то, что водород практически не растворяется в воде.

Показать учащимся, что при зажимании газоотводной резиновой трубки кислота в приборе поднимается вверх по воронке. Объяснить, исходя из этого, устройство и действие имеющегося автоматического прибора, где верхний сосуд представляет как бы увеличенную воронку предыдущего прибора, способную вместить в себя всю

кислоту, влитую в прибор, вследствие чего реакция может быть прекращена при закрывании крана или зажимании отводной резиновой трубки. Если имеются два прибора Киппа, то рядом со снаряженным прибором полезно выставить и пустой, который можно разобрать и по которому легко объяснить устройство прибора, обыкновенно представляющегося учащимся на первый взгляд весьма сложным. Можно воспользоваться разбитым прибором Киппа, который следует склеить и сохранить для такой демонстрации.

Цилиндр с собранным водородом закрыть под водой стеклянной пластинкой, поставить на стол и, сняв стекло, поднести к отверстию цилиндра горящую лучинку, напомнив учащимся, что водород — газ горючий и с воздухом может образовать в закрытом сосуде опасную взрывчатую смесь (соответствующие опыты приведены на стр. 73). Повторить испытание чистоты водорода, получаемого в автоматическом приборе, зажечь водород у конца газоотводной трубки, показав учащимся прием зажигания водорода. Как правило, водород следует зажигать не лучинкой или горелкой, а пламенем, которое остается в пробирке после испытания чистоты водорода: достаточно сразу же после спокойной вспышки поднести пробирку в вертикальном положении (дном вверх) к отверстию газоотводной трубки прибора (кран или зажим на трубке, конечно, должен быть открыт), чтобы зажечь водород у ее конца. Если при испытании оказывается, что водород выходит из прибора с примесью воздуха, то в результате легкого взрыва весь водород сгорает, пламени в пробирке не остается и зажечь газ будет невозможно. Данный способ исключает возможность зажигания водорода без его испытания.

Обязательным является требование вложить в стеклянную часть газоотводной трубки прибора свернутую в цилиндр предохранительную медную сетку или достаточно плотную «колбаску» из тонкой медной проволоки длиной 3—4 см. Это следует сделать во всех приборах для демонстрационных и лабораторных опытов (стр. 62 и т. I, стр. 168).

Для лабораторных опытов учащихся можно использовать простейшие приборы из пробирок, банок (рис. 50), приборы, перечисленные в томе I (стр. 251), а также упрощенные приборы прерывного действия из U-образных трубок (т. I, стр. 261) и автоматический прибор конструкции Д. М. Кирюшкина (т. I, стр. 262).

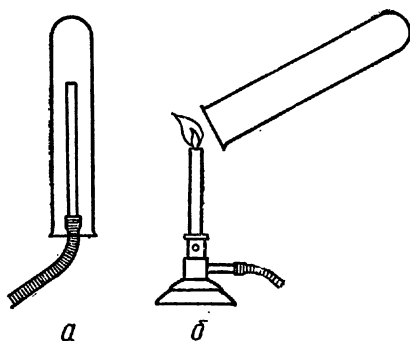


Рис. 51. Собираение водорода в пробирку вытеснением воздуха и испытание его чистоты.

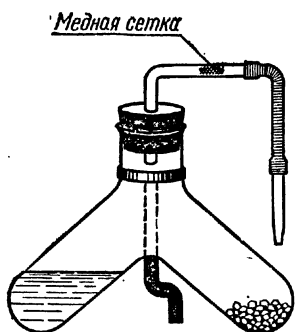


Рис. 52. Прибор для получения водорода.

Очень удобным для получения газов, в том числе и водорода, является прибор, используемый для демонстрации закона сохранения массы веществ (сосудик Ландольта, рис. 52). К нему надо лишь подобрать пробку с прямой оттянутой трубкой или изогнутой стеклянной трубкой с надетой на нее резиновой трубкой с наконечником. В одно колено прибора насыпают цинк, в другое наливают раствор кислоты и закрепляют прибор в зажиме штатива или в держалке. Дополнительная стойка из толстой медной проволоки с кольцом, охватывающим горло прибора, позволяет ставить его на стол без штатива. Приливать кислоту к цинку нужно небольшими порциями, наклоняя прибор в сторону колена с цинком. Для опытов получения различных газов (стр. 251) прибор является универсальным (П. К. Григориади).

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДОРОДА

Легкость водорода

1) Опыт с открытыми цилиндрами. Наполнить водородом (удобнее из большого автоматического прибора) два цилиндра для собирания газов над водой или вытеснением воздуха.

Закрывать первый цилиндр стеклом и поставить отверстием книзу на край стола. Другой цилиндр укрепить отверстием книзу на некоторой высоте от стола. Первый цилиндр перевернуть, поставить отверстием кверху и снять стекло. Через некоторое время, которое зависит от размеров цилиндров и должно быть установлено предварительными опытами, испытать содержащиеся в них газы, поднеся цилиндры в наклонном положении отверстиями к пламени спиртовки (стр. 63).

В цилиндре, который был укреплен отверстием книзу, часть водорода сохраняется и газ загорается с небольшим взрывом (не представляющим опасности) от примешавшегося к нему воздуха. В цилиндре же, стоявшем отверстием кверху, вспышки не происходит.

Лабораторный опыт учащиеся могут выполнить в обычных пробирках.

2) Переливание водорода из одного цилиндра в другой. Наполнить большой цилиндр водородом (вытеснением воздуха). Держать его вертикально книзу отверстием, приблизить к нему второй цилиндр (меньшего размера) так, чтобы он нижним рантом касался цилиндра с водородом (рис. 53). Постепенно наклонять цилиндр с водородом, пока он не примет почти вертикального положения.

Скорость, с которой нужно наклонять большой цилиндр, для того чтобы большая часть водорода перешла во второй цилиндр, следует установить предварительными опытами. Цилиндры желательно взять пошире.

Поднести малый цилиндр к горелке. Водород в нем вспыхивает с более или менее сильным взрывом. В большом цилиндре при испытании водорода не оказывается.

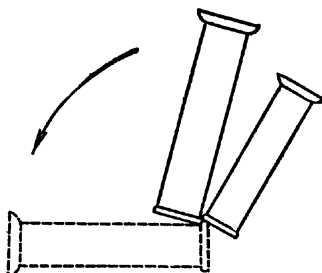


Рис. 53. Переливание водорода.

За неимением цилиндров можно взять две пробирки (пошире), поставить одну на другую и, повернув так, чтобы пробирка с водородом оказалась внизу, поддержать некоторое время в таком положении (сколько — зависит от диаметра пробирок).

3) **Опыт с весами** (правила пользования весами, см. т. I). а) Две одинаковые по объему колбы, не менее 500 мл (или два стакана такой же емкости), подвесить с помощью тонкой медной проволоки (или ниток) вверх дном к коромыслу весов и тщательно уравновесить (при этом приходится прибегать к тарированию). Перед демонстрацией опыта привести весы в рабочее положение (повернуть винт арретира), обратить внимание учащихся на положение стрелки весов посередине шкалы. Поднести к горлу левой (или правой) колбы (или к стакану), не касаясь его, трубку, по которой идет ток водорода из прибора. Стрелка весов заметно отклоняется, так как воздух из колбы вытесняется более легким водородом (рис. 54).

б) Колбу на 1—2 л, закрытую пробкой, уравновесить на весах. Наполнить эту колбу водородом, перевернув ее вверх дном и введя газоотводную трубку аппарата для получения водорода почти до дна колбы. Когда можно будет предположить, что колба наполнена, закрыть ее, не перевертывая, пробкой и снова поместить

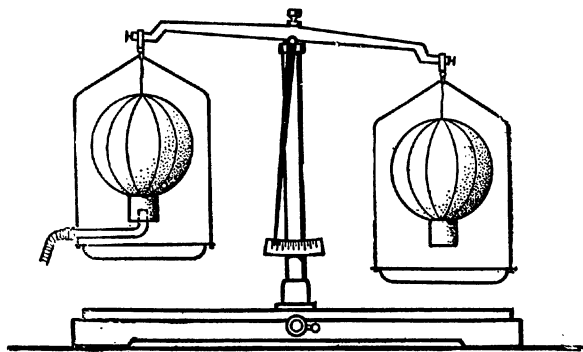


Рис. 54. Водород легче воздуха.

на весы. Чашка с разновесками перетягивает. Вынуть пробку, положить ее на чашку весов, оставив колбу открытой. По мере удаления водорода чашка с колбой будет постепенно опускаться, и, наконец, весы возвратятся к положению равновесия. Чтобы водород выходил не слишком медленно, горло колбы должно быть достаточно широко.

Если желательно, чтобы весы пришли в полное равновесие, водород следует высушить, пропуская его через серную кислоту.

4) Наполнение водородом мыльных пузырей. Для приготовления мыльного раствора можно воспользоваться обыкновенным, легко дающим пену туалетным мылом, которое следует настрогать ножом на тонкие стружки и затем растворить в мягкой (лучше в дистиллированной) воде при обыкновенной температуре в таком количестве, чтобы раствор при вдувании в него ртом воздуха через стеклянную трубочку давал хорошие пузыри. Вместо того чтобы строгать мыло, трут куском мыла о дно ступки с небольшим количеством воды. Очень быстро можно приготовить хороший раствор мыла, воспользовавшись мыльным порошком для бритья.

Можно приготовить особый раствор по следующему рецепту: в склянку с 400 мл дистиллированной воды поместить 10 г натриевой соли, олеиновой кислоты и, закрыв пробкой, оставить растворяться при обыкновенной температуре. После растворения прибавить 100 мл чистого глицерина и, хорошо взболтав, оставить в темноте на несколько дней. Когда раствор отстоится, прозрачную жидкость слить (лучше при помощи сифона) в чистую склянку и, прибавив каплю крепкого раствора аммиака, плотно закупорить. Полученный раствор дает хорошие устойчивые пленки (на большой воронке надуют воздухом пузыри до 30 см и более в диаметре) и, кроме того, сохраняется годами, если его держать хорошо закупоренным и в темноте. Взятый для опыта раствор не следует потом сливать обратно в склянку с чистым раствором. Очень хорошие растворы получаются при использовании различных стиральных порошков (например, столовую ложку порошка «Лотос» растворяют в одном стакане горячей воды).

Для наполнения и пускания пузырей удобно воспользоваться аллонжем, воронкой (шириной до 5 см и более). Между аллонжем (воронкой) и прибором для получения водорода нужно вставить шариковую трубку, наполненную (не очень плотно) гигроскопической ватой для удержания капелек кислоты, увлекаемых током газа (рис. 55).

Вместо шариковой трубки можно взять обыкновенную ши-

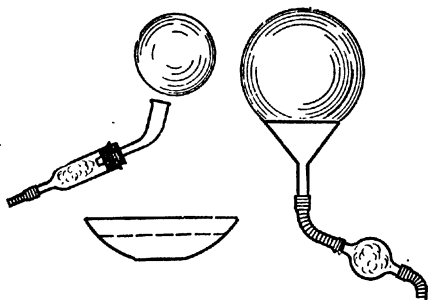


Рис. 55. Наполнение мыльных пузырей водородом.

рокую трубку, вытянутую с одного конца (рис. 55), или трубку с пробкой и вставленной в нее более тонкой трубкой и т. п. Можно также вложить комок ваты в самый аллонж или в трубку воронки у расширения.

Если для опыта пользуются обыкновенным мылом, то полезно в отверстие аллонжа вставить кружок из мыла, чтобы выдуваемый пузырь соприкасался не со стеклом, а с мылом. Для этого из куска мыла следует вырезать пластинку толщиной около $\frac{1}{2}$ см и, положив ее на стол, прижать к ней широкий конец аллонжа, чтобы он врезался в мыло. В оставшемся внутри аллонжа кружке сделать небольшое отверстие. Перед демонстрацией опыта пустить из прибора не очень сильный ток газа и затем, зажав каучук пальцами, опустить конец аллонжа (воронку) в чашку с мыльным раствором. При поднимании аллонжа (воронки) в отверстие должна остаться тонкая пленка. Держа аллонж наклонно (воронку вертикально), пустить ток газа и, когда пузырь достигнет диаметра 4—5 см, стряхнуть его с аллонжа довольно резким боковым движением по касательной к пузырю: он оторвется и быстро поднимется до потолка. Очень больших пузырей надуть не удастся.

На воронке (если раствор приготовлен из стирального порошка) можно получить пузыри значительно большего размера; их не надо стряхивать: при вертикальном положении воронки (рис. 55) пузырь отрывается сам и на его месте нередко появляется второй.

Основная цель опыта — показать легкость водорода и иллюстрировать возможность применения его в воздухоплавании. Поджигание оторвавшихся пузырей показывает огнеопасность водорода и необходимость замены его в воздухоплавательных аппаратах менее опасной смесью водорода с гелием, однако сам эффект «вспышка пузыря» обычно отвлекает учащихся от основной идеи и служит больше развлечением.

5) Наполнение водородом резиновых шаров. Цветные тонкостенные резиновые шары наполнить водородом даже из аппаратов Киппа и Сен-Клер-Девилья при обычных условиях невозможно, так как в них не создается необходимого давления для растягивания резиновой пленки. Но если сделать к аппарату Киппа простое приспособление (рис. 56), надуть такие шары можно, хотя и не без усилий, особенно при аппаратах небольшого объема.

В верхнее отверстие воронки аппарата Киппа плотно вставляют резиновую пробку со стеклянной трубкой, на которую надета резиновая трубка с наконечником. Резиновую оболочку будущего шара надевают на газоотводную трубку аппарата Киппа

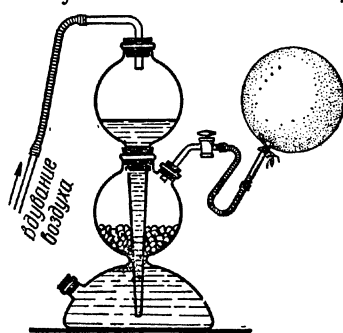


Рис. 56. Надувание резинового шара водородом.

(лучше присоединить к ней оттянутую переходную трубочку, см. т. I, стр. 236) и крепко привязывают толстой суровой ниткой. Открыв кран аппарата, пускают водород в оболочку, отчего она немного раздувается. Закрывают кран, кислота поднимается в верхний шар аппарата. Повторным открытием крана обычно удается еще раз ввести в оболочку некоторое количество водорода, но далее это уже невозможно, так как давление газа внутри оболочки становится равным давлению столба жидкости в аппарате. Тогда при закрытом кране начинают сильно вдвухать воздух в верхний шар, лучше всего ртом, плотно охватив губами стеклянный наконечник трубки, чтобы создать в нем давление над жидкостью. Не прекращая вдвухания воздуха, открывают кран, отчего жидкость из верхнего шара опускается и вытесняет водород в оболочку. Вдвухание воздуха продолжают до тех пор, пока кислота поднимется в средний шар и войдет в соприкосновение с цинком, после чего кран аппарата быстро закрывают. При закрытом кране кислота вновь вытесняется в верхний шар, после чего вдвухание воздуха повторяют в том же порядке. После нескольких таких операций оболочка раздувается в шар нужного объема. При вдвухании воздуха не следует допускать пробулькивания его через нижнее отверстие воронки аппарата Киппа (вовремя закрыть кран). Надутый шар слегка оттягивают у конца трубки, к которой он привязан, перекручивают несколько раз, перевязывают ниткой и снимают с трубки. Хорошо надутый шар быстро летит вверх и может даже поднять небольшой груз (пустую спичечную коробку, пробку, лист бумаги и т. п.). Существование шара по времени невелико: водород постепенно диффундирует через оболочку, шар уменьшается в объеме и опускается через 2—3 ч.

Теплопроводность водорода

Для опыта нужен прибор, изображенный на рисунке 57 (электрическая часть показана схематично). В стеклянную трубку длиной 30—35 см, диаметром 2—3 см вставлены две резиновые пробки.

В одну из них (на рисунке — левую) вставлен тройник, по которому можно по очереди подавать водород или углекислый

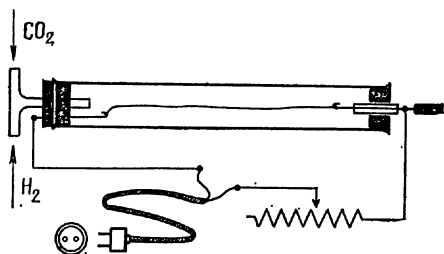


Рис. 57. Прибор для демонстрации теплопроводности водорода.

газ (из заряженных для получения этих газов аппаратов Киппа или других достаточно мощных приборов прерывного действия), и толстая медная проволока с крючком, на который надет скрученный в кольцо конец никромовой проволоки (от электрической плитки). Другой конец ее прикреплен к крючку второй медной проволоки с деревян-

ной ручкой на наружной части. Медная проволока свободно может передвигаться внутри стеклянной трубки, вставленной в правую пробку (при накаливании нихромовая проволока несколько «провисает», и ее можно растянуть, потянув за деревянную ручку). К наружным концам медных проволок присоединены провода, которые через реостат (*обязательно!*) включают в осветительную сеть (лучше от трансформатора) так, чтобы подаваемое напряжение не превышало 120 в (можно и меньше). При демонстрации устанавливают с помощью реостата хорошо видимый издали накал нихромовой проволоки (при необходимости потянуть за деревянную ручку, чтобы устранить «провисание», иначе стеклянная трубка может треснуть, рис. 57), затем через тройник пускают ток углекислого газа. Различие в накале проволоки в атмосфере углекислого газа и воздуха незаметно. Когда весь воздух из трубки будет вытеснен (достаточно пропускать углекислый газ в течение полминуты), закрывают кран на трубке, подающей CO_2 , и одновременно открывают кран на трубке, подающей водород через второе колено тройника. Накал проволоки тотчас же пропадает. При переключении кранов накал снова появляется и т. д. Опыт убедительно показывает высокую теплопроводность водорода и принцип водородного охлаждения (для электрогенераторов и т. п.).

Опыты по диффузии водорода (т. I, стр. 311)

Один из упомянутых в томе I опытов можно видоизменить следующим образом (рис. 58): пористый цилиндр на длинной трубке с хорошими пробками присоединяют к U-образной трубке, наполненной почти наполовину концентрированным раствором медного купороса. Во втором колене U-образной трубки через неплотно вставленную пробку проходят две проволоки, присоединенные к электрической цепи со звонком и лампочкой (достаточно 25 вт). Цепь включают непосредственно в осветительную сеть. Кнопку звонка нужно замкнуть. При надевании на пористый цилиндр стакана, наполненного водородом, жидкость в правом колене U-образной трубки вследствие повышения давления поднимается, замыкает электроды, отчего лампочка загорается, а звонок звонит. При снятии стакана с пористого цилиндра давление падает, жидкость в трубке опускается и сигналы прекращаются.

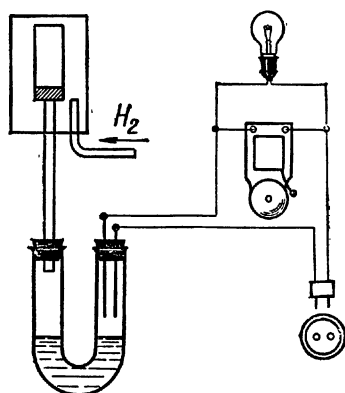


Рис. 58. Диффузия водорода через пористый цилиндр со световым и звуковым сигналами.

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДОРОДА

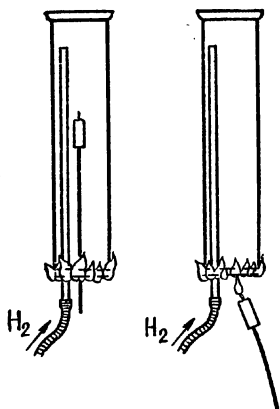


Рис. 59. Внесение горячей свечи в цилиндр с водородом.

1) Свеча не горит в атмосфере водорода. Большой цилиндр (лучше с тонким рантом) наполнить водородом и укрепить в штативе вверх дном (трубку, подводящую водород, можно из цилиндра не вынимать). Поднести к отверстию цилиндра снизу горящую свечу; водород вспыхивает у отверстия, а свеча, внесенная в цилиндр, гаснет. При вынимании из цилиндра свеча вновь зажигается пламенем водорода (рис. 59).

2) Демонстрация пламени водорода.

Для демонстрации пламени водорода нужна хорошо вычищенная металлическая трубка; можно воспользоваться трубкой, отпиленной от узкого пробочного сверла или латунной паяльной трубки (на конце стеклянной трубки пламя водорода быстро окрашивается в желтый цвет).

Зажигать выходящий из трубки водород можно *только после испытания* и пламенем, которое остается в пробирке, после вспышки чистого водорода. Почти бесцветное (слегка синеватое) пламя водорода показать учащимся на черном фоне (экран). Внести в пламя водорода тонкую стеклянную трубочку: пламя окрашивается в желтый цвет. Внести в пламя водорода свернутую спиралью стальную проволоку (балалаечную струну): она сильно раскаливается, частично плавится и сгорает.

Чтобы показать, что водород имеет определенную температуру воспламенения, погасить пламя водорода, прижав каучук пальцами, нагреть в пламени поставленной поблизости горелки конец железной проволоки (ложечки для сжигания и т. п.) и, поднеся к отверстию трубки, пустить газ. Воспламенение водорода происходит только тогда, когда проволока накалиена до красного каления — 600°C (стр. 38).

За неимением паяльной или иной металлической трубки свертывают трубку из полоски жести или меди и надевают ее на конец стеклянной трубки.

Используя пламя водорода, можно показать интересный опыт с «поющим пламенем». В склянку, снабженную длинной (до 20 см), оттянутой на конце газотводной трубкой (рис. 60), собирают водород и после испытания чистоты (*правило!*) зажигают его у конца трубки. Медленно надвигают на пламя широкую (от 1 до 2 см и более), длинную (от 40 до 80 см) стеклянную трубку. При определенном положении трубки раздается гудящий звук. Если брать трубки разных диаметров и разной длины, можно получить различные

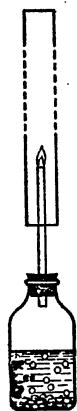


Рис. 60. Поющее пламя.

по высоте звука. Изменение тона происходит также при вертикальном перемещении трубки. Пламя не должно быть слишком большим, иначе оно легко гаснет. Звуковой эффект основан на физическом явлении резонанса.

Чтобы не собирать прибор каждый раз заново, нужно по окончании опыта слить из склянки кислоту, промыть два раза оставшийся цинк водой и сохранить прибор для последующих демонстраций.

3) Образование воды при горении водорода. а) Пламя водорода, зажженное на конце металлической (или стеклянной) трубки, накрывают холодным тонкостенным стаканом (рис. 61, а).

На внутренней поверхности стакана появляется «роса», которая исчезает, когда стакан прогреется. Если стакан достаточно велик, образуются капельки. Вместо стакана можно взять большой колокол, который укрепляют в штативе наклонно. Тогда несколько капель воды могут стечь в подставленный стаканчик.

б) Для получения большого количества воды направляют достаточно сильное пламя водорода на наружную стенку круглодонной колбы, через которую по двум трубкам проходит ток холодной воды (рис. 61, б). При конденсации паров капельки воды стекают в подставленный стакан.

в) Направляют пламя водорода, лучше из паяльной трубки (см. выше), на массивный металлический предмет (желательно утюг, рис. 62, а). Стеkanie в стакан капель воды видно при этом весьма отчетливо. Можно также подвести пламя водорода под воронку и просасывать образующиеся водяные пары насосом или аспиратором (т. I, стр. 255) через U-образную трубку, погруженную в стакан с холодной водой (рис. 62, б). Полученную воду пробовать на вкус нельзя (содержит примеси мышьяка, стр. 59).

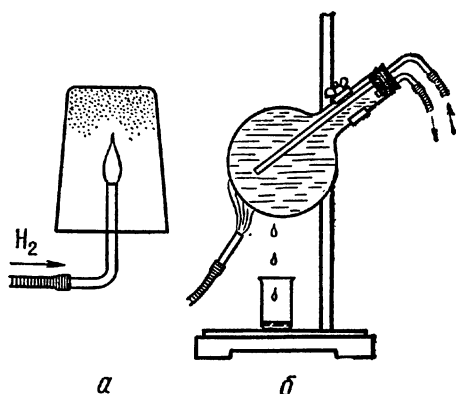


Рис. 61. Образование воды при горении водорода.

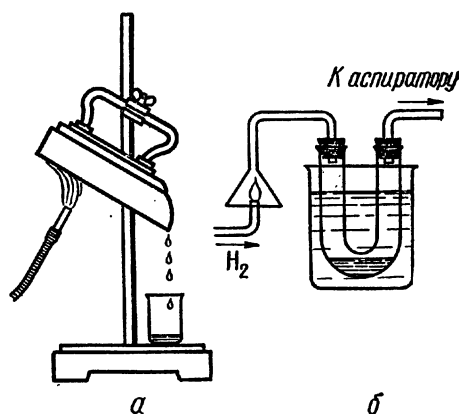


Рис. 62. Образование воды при горении водорода.

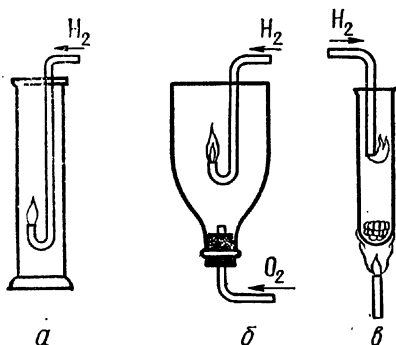


Рис. 63. Горение водорода в кислороде.

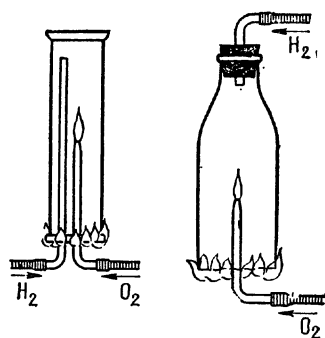


Рис. 64. Обращенное пламя водорода в кислороде.

4) Каталитическое воспламенение водорода. Струю водорода, который выделяется из аппарата через узкий конец паяльной или оттянутой стеклянной трубки, направляют на платинированный асбест¹ (при необходимости платинированный асбест слегка прокалить в пламени спиртовки для удаления влаги). Он раскаливается в отдельных местах докрасна, а водород у конца трубки вспыхивает. Для получения водорода при этой демонстрации нельзя пользоваться цинком, содержащим заметные количества мышьяка, отравляющего катализатор.

5) Горение водорода в кислороде. Цель опытов — показать, что горение водорода в кислороде протекает энергичнее, чем в воздухе, с образованием того же конечного продукта воды и что горение протекает на границе соприкосновения газов (в данном случае водорода и кислорода).

а) Цилиндр высотой 25—30 см (рис. 63, а) или обрезанную бутылку (рис. 63, б) наполнить кислородом (*испытание*, стр. 20) и внести туда пламя водорода, зажженного на конце изогнутой, как на рисунке, стеклянной (или лучше медной) трубки. В еще более простом оформлении можно выполнить опыт, как показано на рисунке 63, в. Отметить значительно более интенсивное горение и образование «росы» на стенках сосуда (хорошо видна только в опыте с цилиндром и бутылкой).

б) Укрепленный в штативе цилиндр, перевернутый вверх дном, или узкую обрезанную бутылку объемом 250 мл (рис. 64) наполнить водородом и зажечь его внизу у отверстия (для опыта не следует брать цилиндр с толстым рантом, так как он легко дает трещины). Ввести в цилиндр (бутылку) стеклянную трубку, оттянутую на

¹ Мелкораздробленная платина, нанесенная на асбест (приготовление см. в специальных руководствах по неорганическому синтезу), обладает каталитическим действием, вызывая воспламенение водорода в воздухе и взрыв смеси водорода с кислородом (стр. 75).

конце и соединенную с источником кислорода (газомером или прибором для получения кислорода). Ток кислорода из газометра лучше отрегулировать заранее так, чтобы струя его едва чувствовалась при приближении конца трубки к губам. Если же кислород приходится тут же получать, например, из перманганата калия в пробирке с газоотводной трубкой, то следует начать нагревание ее небольшим пламенем спиртовки до зажигания водорода. Как только начнет выделяться кислород (см. испытание тлеющей лучинкой, стр. 20), зажечь водород и ввести трубку внутрь цилиндра (бутылки). На конце трубки появляется язычок пламени (кислород как бы зажигается о пламя водорода), на стенках цилиндра (бутылки) появляется «роса». По чисто внешнему признаку (пламя у конца трубки, по которой поступает кислород) явление называют горением кислорода в водороде, хотя горит, конечно, водород на границе соприкосновения с кислородом, образуя «обращенное пламя». Если в процессе опыта пламя на конце трубки почему-либо погаснет, опыт следует немедленно прекратить, кран (зажим) у прибора, подающего водород, закрыть, трубку от прибора с кислородом вынуть во избежание образования взрывчатой смеси. Последняя особенной опасности не представляет (открытые сосуды), но неожиданный взрыв пугает учащихся и дезориентирует их в понимании сущности явления.

б) Водородно-кислородное пламя. а) В простейшем случае водородно-кислородное пламя можно показать вдуванием кислорода в пламя водорода. На конце стеклянной (лучше металлической) трубки зажигают водород (*правила!*) и вдувают в пламя кислород из газометра или кислородной подушки (стр. 11) через оттянутую в тонкий, но толстостенный капилляр стеклянную трубку, паяльную трубку, но лучше всего через стальную медицинскую инъекционную иглу (рис. 65). Ток кислорода должен быть достаточно сильным. Положение иглы (трубки) в пламени (или на некотором расстоянии от него) нужно отрегулировать. При вдувании кислорода водородное пламя отклоняется и принимает горизонтальное положение. Температура пламени очень высокая (до 2500 °C). В нем легко плавится нетолстая медная проволока, стальная проволока горит с разбрасыванием искр. Этим пламенем можно разрезать тонкую стальную пластинку (лезвие бритвы и т. п.). Кусочек натурального мела или негашеной извести, тонко заточенный на конце, при накаливании в пла-

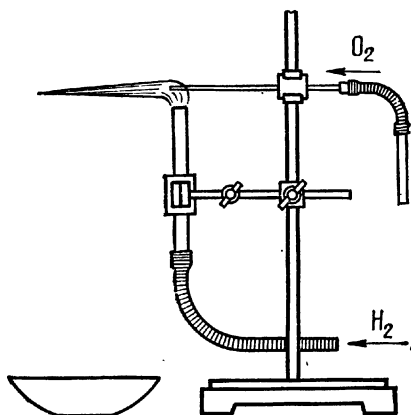


Рис. 65. Вдувание кислорода в пламя водорода.

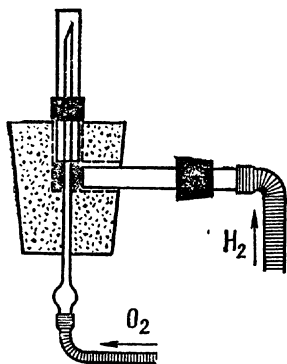


Рис. 66. Горелка для демонстрации водородно-кислородного пламени (в разрезе).

ровать, вдвигая или выдвигая ее, а также слегка поворачивая за нижний конец. Резиновой трубкой игла соединена с газометром или (лучше) с кислородной подушкой. По боковой трубке подается водород из аппарата Киппа. Пробка на боковой трубке служит для закрепления горелки в штативе. Горелку укрепляют в штативе под нужным углом, пускают ток водорода и зажигают у отверстия трубки (*правила!*). Затем пускают кислород и регулируют положение иглы, чтобы получилось острое направленное пламя. С этим пламенем можно успешно выполнять все опыты, упомянутые выше. Иглу время от времени следует прочищать тонкой стальной проволокой (балалаечной струной и т. п.).

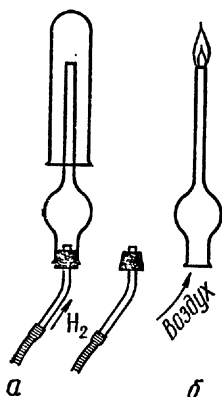


Рис. 67. Взрыв смеси водорода с воздухом в шариковой трубке:

а — наполнение трубки и собирание водорода для испытания; *б* — горение водорода перед взрывом смеси.

мени дает яркое свечение («друмондов свет»).

б) Для демонстрации водородно-кислородного пламени очень удобна самодельная горелка (конструкция А. Д. Смирнова). В резиновой пробке средних размеров выверливают два расположенных перпендикулярно друг к другу отверстия (на рис. 66 показаны пунктиром). В каждое отверстие вставляют металлические (можно использовать тонкое, диаметром около 3 мм, пробочное сверло) или фарфоровые трубки (от фарфоровых треугольников). Через нижнюю суженную часть пробки вводят достаточно длинную медицинскую инъекционную иглу (без сверления пробки) так, чтобы она прошла через ось вертикальной трубки. Положение иглы можно регулировать, вдвигая или выдвигая ее, а также слегка поворачивая за нижний конец. Резиновой трубкой игла соединена с газометром или (лучше) с кислородной подушкой. По боковой трубке подается водород из аппарата Киппа. Пробка на боковой трубке служит для закрепления горелки в штативе. Горелку укрепляют в штативе под нужным углом, пускают ток водорода и зажигают у отверстия трубки (*правила!*). Затем пускают кислород и регулируют положение иглы, чтобы получилось острое направленное пламя. С этим пламенем можно успешно выполнять все опыты, упомянутые выше. Иглу время от времени следует прочищать тонкой стальной проволокой (балалаечной струной и т. п.).

7) Взрывы смесей водорода с воздухом.

а) Взрыв в шариковой трубке. Трубку с шариком (хлоркальцевая трубка) можно применить для демонстрации взрыва смеси водорода с воздухом (рис. 67). Стекланный конец газоотводной трубки аппарата Киппа (или другого прибора, см. т. I, стр. 265) вставляют в пробку и на нее неплотно надевают шариковую хлоркальцевую трубку. Пускают ток водорода, испытывают на чистоту (собирают в пробирку). Оставшимся в пробирке пламенем зажигают водород (если он чистый) у конца трубки, затем, не закрывая кран аппарата, снимают шариковую трубку с пробки и отводят руку с трубкой в сторону. Часть водорода постепенно сгорает, а оставшийся водород смешивается с входящим снизу воздухом. Когда эта смесь будет обогащена до

требуемой пропорции, происходит несильный взрыв (абсолютно безопасный). Если в тонкую часть трубки поместить кусочек медной сетки, то взрыва не происходит (П. В. Верещагин).

б) *Взрыв в колоколе.* В качестве колокола можно воспользоваться толстостенной обрезанной склянкой размером примерно 26×13 см или обрезанной бутылкой. В горло колокола вставляют пробку с прямой оттянутой на конце стеклянной трубкой. Низ колокола вместо дна заклеивают листом бумаги и укрепляют колокол в штативе (*ставить колокол для демонстрации взрыва на стол нельзя!*). Газоподводящую трубку вводят в колокол снизу на 1—2 см, проколов в бумажном дне отверстие, пускают сильный ток водорода и собирают его у конца верхней трубки в пробирку.

Убедившись в чистоте водорода (весь воздух из колокола вытеснен), зажигают его (рис. 68), после чего сразу же вынимают газоподводящую трубку из колокола. По мере выгорания водорода в колокол через отверстие в бумажном дне входит воздух. Наконец, пламя проскакивает внутрь и происходит взрыв: бумажное дно колокола разрывается.

Можно не заклеивать колокол бумагой и наполнять его водородом через верхнюю трубку, присоединив к ней резиновую трубку от прибора. Когда можно будет думать, что воздух из колокола вытеснен (испытание чистоты водорода в этом случае исключается), снимают резиновую газоподводящую трубку, отводят конец ее в сторону и горящей лучинкой зажигают водород у конца стеклянной трубки (рис. 68). Если водород чистый, то он вспыхивает и горит вначале спокойно; если же в колоколе имеется взрывчатая смесь (не весь воздух вытеснен), взрыв может произойти в момент зажигания. В таком оформлении опыта взрыв слабый, но, как и в первом случае, вполне безопасный.

в) *Взрыв в колбе.* Цель опыта — предостеречь учащихся от неосторожного обращения с водородом.

В маленькую (100—150 мл) коническую колбочку поместить несколько кусочков цинка и облить их небольшим количеством воды. Колбочку закрыть корковой пробкой с двумя отверстиями, в одно из которых вставить маленькую, сделанную из пробирки вороночку. К короткой трубке вороночки присоединить выше или ниже пробки (рис. 69) стеклянную трубку, доходящую до дна колбы. В другое отверстие пробки вставить изогнутую под прямым углом газотводную стеклянную трубку.

Прикрепить к плоской широкой пробке свечу такой высоты, чтобы пламя приходилось как раз напротив вставленной в пробку колбы трубочки. Колбочка и свеча должны свободно помещаться в большой толстостенный батарейный стакан или банку. Чтобы

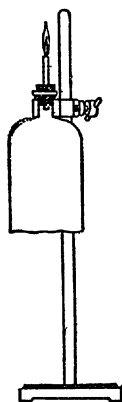


Рис. 68.
Взрыв смеси
водорода с
воздухом в
колоколе.

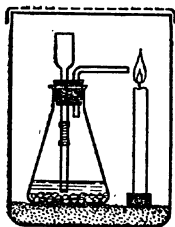


Рис. 69. Взрыв смеси водорода с воздухом в колбе.

колбочка и свеча правильнее стояли, на дно банки можно насыпать слой песка.

Перед демонстрацией опыта зажигают в стакане свечу, вливают в колбочку через воронку несколько миллилитров концентрированной соляной кислоты и сразу же закрывают наружный стакан сверху металлической сеткой (удобно использовать металлическое бытовое сито с положенным на его середину листом бумаги).

Через некоторое время, когда из колбочки начнет выходить смесь водорода с воздухом, произойдет взрыв, которым или выбросит из колбы пробку, или даже разорвет саму колбу. Опыт безопасен при соблюдении указанного выше порядка демонстрации.

г) *Взрыв в двугорлой склянке.* Опыт со взрывом в двугорлой склянке может показать несколько сторон этого явления: звуковой эффект, механическое действие взрыва, распространение взрывной волны и предохранительное действие медной сетки.

Прибор (рис. 70) состоит из двугорлой склянки, в одно горло которой вставляют пробку с пропущенной в нее длинной стеклянной трубкой (около 45 см длиной), в другое — пробку с пропущенной через нее газоподводящей трубкой, соединяемой с прибором для получения водорода, которым наполняют склянку в начале опыта (рис. 70, а).

Перед демонстрацией опыта пускают из прибора через склянку водород и собирают его в пробирку для испытания. Пробирку снимают с трубки каждый раз медленно. Вначале по длинной трубке выходит смесь водорода с воздухом. Как только из склянки будет выходить чистый водород, его зажигают у конца трубки. После этого, не закрывая кран аппарата, вынимают пробку вместе с газоподводящей трубкой, кладут на открытое горло склянки картонный кружок, проколотый спичкой (во избежание соскальзывания) и закрывают кран аппарата. Водород у конца длинной трубки продолжает некоторое время спокойно гореть, вместо него через горло склянки под картонным кружком входит воздух. Пламя постепенно бледнеет, колеблется, уменьшается в размерах, опускается вниз по трубке и после нескольких колебательных движений вниз и вверх проскакивает внутрь склянки: происходит довольно сильный взрыв — картонный кружок вместе со спичкой взлетает вверх. Опыт вполне безопасен, если склянка не имеет трещин. Из предосторожности ее можно поставить в широкий батарейный стакан или поставить перед склянкой прозрачный защитный экран (т. I, стр. 68). Предназначенную для этого опыта испытанную склянку не следует использовать для других целей (П. В. Верещагин).

Если в длинную трубку прибора перед заполнением склянки водородом ввести цилиндр из медной сетки, то взрыва не про-

исходит. В темноте видно, как пламя опускается по трубке, доходит до сетки и гаснет, не проникая в склянку, хотя взрывчатая смесь в ней сохраняется. Последнее легко доказать, если, сняв со второго горла склянки картонный кружок, поднести к отверстию горящую лучинку: происходит взрыв (безопасный), медную сетку обычно выбрасывает при этом из длинной трубки.

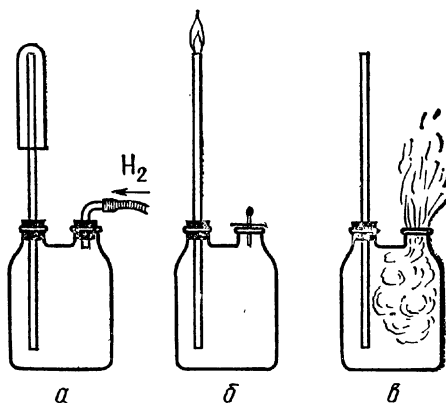


Рис. 70. Взрыв смеси водорода с воздухом в двухгорлой склянке:

а — наполнение склянки и соби́рание водорода в пробирку для испытания; *б* — горение водорода; *в* — взрыв.

8) Взрывы смесей водорода с кислородом (взрыв «гремучего газа»).

а) Взрыв в пробирке. Демонстрационную (15×1,5 см) пробирку или

небольшой цилиндр наполнить водой и собрать на $\frac{1}{3}$ ее объема чистого кислорода. Оставшийся объем заполнить водородом из любого прибора. Объем пробирки (цилиндра) при необходимости можно измерить бюреткой и нанести черту, соответствующую $\frac{1}{3}$ объема от дна, но обычно достаточно приблизительного деления. Вынув пробирку (цилиндр) из воды, поднести ее в наклонном положении (стр. 60) к пламени спиртовки. Происходит резкий негромкий взрыв. Для предосторожности следует обернуть пробирку (цилиндр) куском ткани, а еще лучше двумя слоями изоляционной ленты или лейкопластыря. При выполнении опыта с пробиркой ее можно не обертывать, однако предпочтительнее брать пробирку без отогнутого края.

Взрыв гремучего газа в пробирке можно вызвать также при помощи каталитического действия губчатой платины (стр. 70). Для этого небольшой комочек платинированного асбеста вносят в пробирку пинцетом и держат у отверстия. Взрыв происходит не сразу, а через несколько секунд. Асбест необходимо предварительно прокалить в пламени горелки.

б) Взрыв в мыльных пузырях. Для опыта можно воспользоваться обрезанной в виде колокола бутылкой объемом до 0,5 л. К ней подбирают резиновую пробку с газоотводной трубкой и краном или зажимом. Бутылку-колокол погружают в большой стакан (банку) с водой и заполняют его водой до самого верха (при необходимости можно осторожно засосать воду в колокол). В поднятом положении бутылку-колокол наполняют сначала кислородом (на $\frac{1}{3}$ объема), затем оставшийся объем заполняют водородом (объем измерить и нанести деления заранее, рис. 71). Наполненный газами колокол опускают насколько возможно в стакан с водой и, опустив газоотводную трубку в ступку с приготовленным мыльным раство-

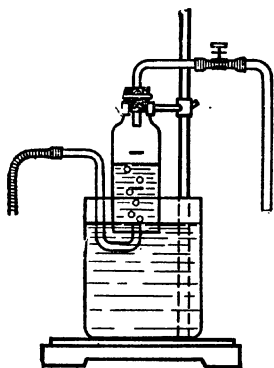


Рис. 71. Наполнение склянки-колокола кислородом и водородом.

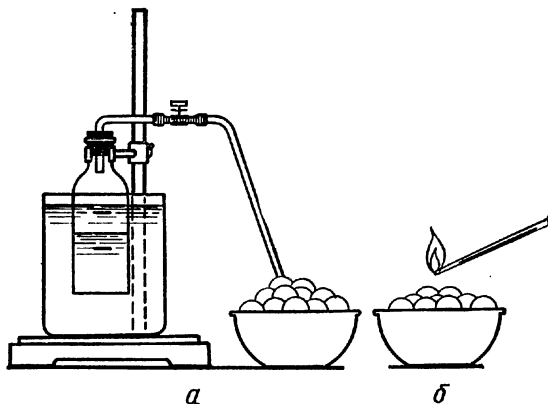


Рис. 72. Взрыв смеси водорода с кислородом в мыльных пузырях:

а — наполнение гремучей смесью мыльных пузырей в ступке; *б* — поджигание.

ром, открывают зажим (кран). Под давлением воды газовая смесь пробулькивает через раствор и образует большое количество пузырей (рис. 72, *а*). Отставив прибор в сторону, подносят к пузырям длинную горящую лучину (рис. 72, *б*): происходит громкий и весьма резкий, но вполне безопасный взрыв (перед поджиганием следует приоткрыть рот). Вместо обрезанной бутылки-колокола можно взять большую делительную воронку.

В более простом оформлении опыта пускают водород и кислород в мыльный раствор одновременно из двух приборов (например, из аппарата Киппа и из газометра) по двум трубкам, держа их вплотную одну к другой; при этом надо следить, чтобы ток водорода был примерно вдвое быстрее тока кислорода (трубки разных диаметров, по-разному открытые краны и т. п.). При таком наполнении из-за несоответствия объемов газов взрыв при поджигании пузырей получается значительно слабее.

Можно приготовить заранее и больший объем гремучей смеси, например, в литровой градуированной бутылке (измерение объема и градуировку см. в т. I, стр. 90) с просверленным дном (сверление стекла см. в т. I), как на рисунке 73, или снабженной длинной, достигающей до дна, стеклянной трубкой, как на рисунке 74. Через уравнительные сосуды (тубулированная склянка на рис. 73 или бутылка с обрезанным или просверленным дном на рис. 74) градуированные бутылки заполняют водой, затем через газоотводные трубки в них подают соответствующие объемы кислорода и водорода (градуировка слева). Уравнительные склянки, в которые при этом вытесняется вода, должны быть опущены вниз, а после заполнения сосудов газами — вновь подняты, как показано на рисунках 73 и 74. При открывании крана (зажима) на газоотводной

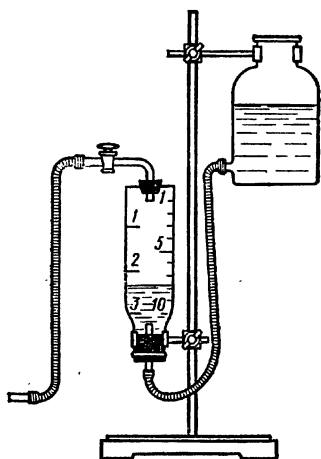


Рис. 73. Прибор для приготовления гремучих газовых смесей.

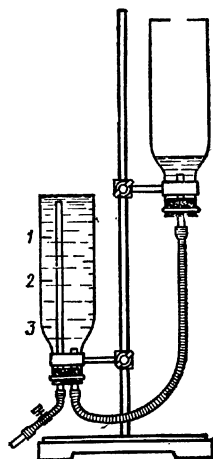


Рис. 74. Прибор для приготовления газовой смеси.

трубке из сосуда можно вытеснить нужный объем гремучей смеси в пробирку (наполнять над водой), в мыльный раствор и т. п. Одной зарядки сосудов хватит на несколько демонстраций. Прибор позволяет готовить газové взрывчатые смеси из различных газов (смесь метана с кислородом и пр.). Объемы газов, рассчитанные по уравнению реакции, можно вводить, пользуясь градуировкой, нанесенной на сосуд справа. Работа с прибором требует строгого соблюдения правил безопасности: вблизи наполненного прибора не должно быть открытого огня, не оставлять в сосудах взрывчатую смесь по миновании надобности в ее использовании (П. К. Григориади).

С вполне убедительным эффектом можно показать взрыв гремучей смеси в одном большом мыльном пузыре, образованном на воронке (стр. 64). Воронку диаметром около 5 см присоединяют на длинной (20—25 см) эластичной резиновой трубке к среднему концу тройника (рис. 75), но так, чтобы конец трубки можно было легко снять с тройника (смазать мыльным раствором). К двум другим концам тройника присоединяют газоотводные трубки от газометра и от аппарата Киппа. Обмакнув широкий конец воронки в мыльный раствор (приготовление, см. стр. 64), открывают кран газометра и поворачивают воронку отверстием вверх. На воронке появляется пузырь, наполненный кислородом (не следует раздувать большой пузырь, он может лопнуть при последующем наполнении

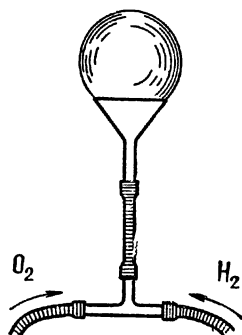


Рис. 75. Наполнение мыльного пузыря водородом.

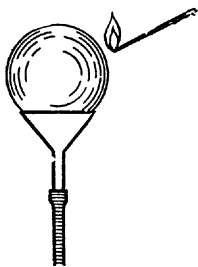


Рис. 76. Взрыв гремучей смеси в мыльном пузыре на воронке.

водородом). После этого кран газометра закрывают и открывают кран аппарата Киппа. Пузырь наполняется водородом до размера, примерно в три раза большего, чем первоначальный. Закрывают кран аппарата, снимают резиновую трубку со среднего конца тройника, поднимают воронку с пузырем вверх (выше лица) и сразу же подносят к пузырю горящую лучинку (рис. 76). Происходит довольно громкий, но не резкий взрыв (А. Д. Смирнов).

Опыт взрыва гремучей смеси в мыльных пузырях при соблюдении правил наполнения и зажигания настолько безопасен, что его можно показать даже на ладони. Из ступки (чашки)

захватывают двумя сложенными руками пригоршню мыльного раствора и, не давая раствору вытекать, пропускают в него гремучую смесь из прибора, изображенного на рисунках 71, 72, 73, в крайнем случае пропускают кислород и водород одновременно из двух трубок, как указано на странице 76. В ладонях образуется шапка пузырей. Разжимая слегка ладони внизу, дают вытечь избытку жидкости, переносят все пузыри на одну ладонь (провести плоскостью одной ладони о ребро другой) и сразу же подносят к пузырям горящую лучинку. Происходит взрыв (сила взрыва зависит от количества и объема оставшихся пузырей), причем демонстратор не испытывает никаких неприятных ощущений (А. Д. Смирнов).

в) *Взрыв в бутылке.* Опыт обычно проводят в пол-литровой толстостенной бутылке с широким горлом. В бутылках с узким горлом опыт проводить нельзя: они очень часто разрываются. Объем бутылки следует точно измерить (стр. 76) и нанести на ней карандашом для стекла, лаком, краской две черты в местах, соответствующих $\frac{1}{3}$ объема. Вначале $\frac{1}{3}$ объема бутылки наполняют кислородом (над водой), оставшиеся $\frac{2}{3}$ объема также над водой заполняют водородом. Не вынимая бутылку из воды, закрывают ее резиновой пробкой. В таком виде гремучую смесь можно при необходимости сохранять длительное время, поставив бутылку вверх дном. В горлышке бутылки при заполнении ее водородом можно оставить небольшой слой воды, которая после закрывания бутылки пробкой служит надежным затвором, препятствующим проникновению газов через пробку. Широкогорлая бутылка вполне надежно выдерживает взрыв при зажигании смеси, однако при демонстрации взрыва на уроке ее обязательно нужно обернуть полотенцем или заранее оклентить несколькими слоями марли (если вдруг бутылка неожиданно разорвется, то осколки не разлетятся), чтобы поддерживать у учащихся убеждение о необходимости мер предосторожности при работах с водородом. Для демонстрации взрыва поворачивают бутылку отверстием от себя и, держа параллельно демонстрационному столу (не направлять в сторону класса), вынимают пробку и подносят к горящей свечке. Можно поставить

в ряд несколько свечей, которые гаснут от взрывной волны (рис. 77). Зажигание лучинкой менее рационально, так как ее обычно взрывом вырывает из руки, а раскаленные угольки разлетаются на значительное расстояние. Вместо стеклянной бутылки для демонстрации взрыва можно использовать бутылочки из полиэтилена, винипласта и т. п. объемом 250—500 мл. Они не дают осколков, но нередко после нескольких взрывов в них образуются едва заметные отверстия, через которые легко улетает водород.

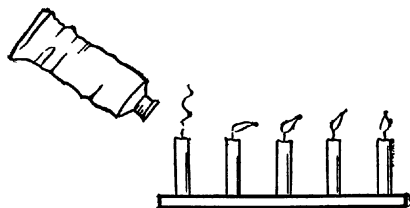


Рис. 77. Взрывная волна гасит свечи.

Восстановительные свойства водорода

1) **Восстановление водородом оксида меди CuO .** а) Наиболее простое оформление опыта показано на рисунках 78 и 79. Чистую сухую пробирку с небольшим количеством оксида меди CuO надевают на наклонную газоотводную трубку прибора для получения водорода. Наклон должен быть такой, чтобы порошок оксида меди не съезжал вниз по стенкам пробирки. К цинку, насыпанному в резервуар прибора, приливают раствор кислоты (стр. 59), испытывают чистоту водорода (стр. 60) и надевают на газоотводную трубку пробирку с заранее насыпанным порошком оксида меди ¹. Осторожно прогрев пламенем спиртовки пробирку (не приближать пламя к отверстию: водород вспыхнет и погасить его в этом случае будет трудно), нагревают оксид меди CuO на некотором расстоянии от дна пробирки. Как только начнется легкое раскаливание, спиртовку отставляют — экзотермическая реакция сама доходит до конца. На стенках пробирки конденсируются капельки воды. По окончании реакции вновь прогревают пробирку (не прекращая ток водорода), чтобы удалить со стенок воду (предосторожность, см. выше), и оставляют полученную медь для охлаждения в токе водорода, иначе в пробирку войдет воздух и не успевший остыть

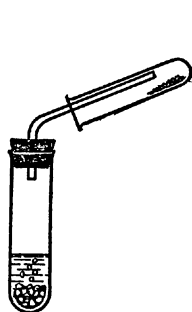


Рис. 78. Восстановление водородом оксида меди CuO (лабораторный опыт).

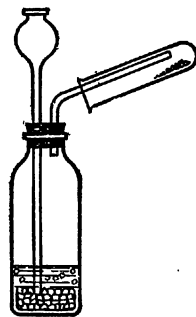


Рис. 79. Восстановление водородом оксида меди CuO (лабораторный опыт).

¹ Для опыта более пригоден оксид меди CuO , свежеполученный при разложении основного карбоната меди (т. I, стр. 325 и 346); он активнее и быстрее восстанавливается с более заметным на глаз экзотермическим эффектом.

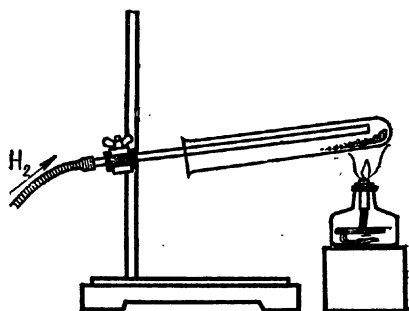


Рис. 80. Восстановление водородом оксида меди CuO (демонстрационный опыт).

Для этого нужно только заменить пробку с обычной газоотводной трубкой на пробку с наклонной трубкой. Если часть газоотводной трубки резиновая, к ней вместо короткого стеклянного наконечника присоединяют длинную (около 20 см) стеклянную трубку, надевают на последнюю просверленную пробку и закрепляют в слегка наклонном положении в зажиме штатива (рис. 80). Так обычно оформляют демонстрационный опыт, для которого нужен более мощный источник водорода (аппарат Киппа или другой прибор автоматического действия). При использовании приборов автоматического действия и даже при наличии резиновой газоотводной трубки у прибора с воронкой сравнительно легко погасить пламя водорода, неожиданно вспыхнувшее у отверстия пробирки при прогревании, кратковременно закрыв кран или зажав резиновую трубку. Иногда для демонстрационного опыта вместо пробирки берут шариковую трубку, но особой необходимости в этом нет.

б) Если желательно собрать образующуюся при реакции воду, опыт проводят в приборе, изображенном на рисунке 81. Реакционную изогнутую и оттянутую трубку, длина которой около 18 см, наружный диаметр 1,5 см, можно изготовить из соответствующей стеклянной трубки на хорошей горелке (т. I, стр. 224) или зака-

металл окислится. Порошок металлической меди высыплют на наковальню и расковыряют молотком до получения небольших тонких пластинок. Можно растереть часть порошка в чистой фарфоровой ступке. На ее стенках образуется тонкий слой меди характерного цвета. Удалить его со стенок легко, смочив их азотной кислотой.

Опыт может быть выполнен в любом приборе, предназначенном для лабораторных работ учащихся с водородом и медью.

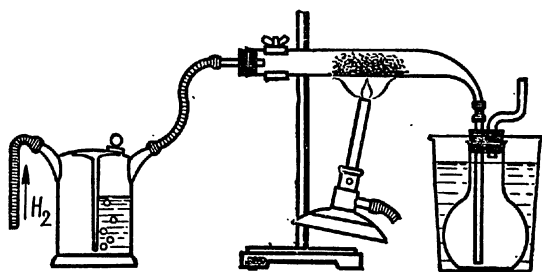
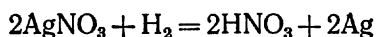


Рис. 81. Восстановление водородом оксида меди CuO с собиранием воды.

зять (лучше из тугоплавкого стекла). В трубку помещают зер-
ненный или «проволочный»¹ оксид меди CuO столбиком до 5 см
между двумя рыхлыми пробками из прокаленной асбестовой ваты.
Водород из аппарата Киппа сушат, пропуская его через серную
кислоту. Образующаяся вода конденсируется в колбочке, опущен-
ной в стакан с холодной водой. Она имеет изогнутую газоотводную
трубку для отвода избытка водорода. У конца этой трубки испы-
тывают чистоту выходящего водорода перед началом нагревания.

За неимением изогнутой реакционной трубки можно воспользо-
ваться шариковой или прямой (диаметром 1,5 см) трубкой с
изогнутой под прямым углом газоотводной трубкой, а вместо
колбочки применить охлаждаемую водой пробирку (см. также ко-
личественные опыты, стр. 123).

2) Восстановление водородом нитрата серебра. В стакан, содер-
жащий 100 мл 0,04 н. раствора нитрата серебра ($0,68 \text{ г AgNO}_3$
в 100 мл воды), пропускают в течение 5—10 мин водород из аппа-
рата Киппа, очищенный пропусканием через промывалку со щелоч-
ным раствором перманганата калия от возможных следов примесей,
например AsH_3 , H_2S (стр. 58). Прозрачный бесцветный раствор
постепенно чернеет от выделяющегося мелкоиздробленного
серебра:



Жидкость в стакане приобретает заметно кислый характер
(сравнительное испытание индикатором).

Опыт предназначен для учащихся старших классов.

¹ «Проволочный» оксид меди CuO готовят прокаливанием в струе кислорода
мелко нарезанной (кусочками длиной 0,5 см) вычищенной медной проволоки
(из многожильных электропроводов).

Глава III

ВОДА. ПЕРОКСИД ВОДОРОДА

Вода

ПОЛУЧЕНИЕ ЧИСТОЙ ВОДЫ

Приведенные ниже опыты имеют учебно-познавательное значение и не рассчитаны на получение значительных количеств чистой воды (для этой цели предназначены приборы и аппараты, описанные в т. I, стр. 237).

1) **Фильтрация** (о приготовлении фильтров и правилах фильтрации см. в т. I, стр. 245). В двух колбах или склянках приготовить грубые взвеси («загрязненную воду»), примешав к обычной воде какой-нибудь нерастворимый порошок: песок, мел, крахмал, тальк. Последний очень удобен тем, что хорошо удерживается фильтром. Испытать, прозрачный ли получается фильтрат при пропускании загрязненной воды через фильтр. В одну из колб прибавить, кроме порошка, какой-нибудь окрашенной жидкости (раствор медного купороса, чернил и т. п.). Профильтровать ту и другую загрязненную воду. Взвесь удерживается фильтром, растворенное же вещество проходит сквозь фильтр. (Об осветлении воды, содержащей тонкие взвеси, см. т. I, стр. 237.)

2) **Перегонка воды холодильником Либиха**. Собрать прибор, изображенный на рисунке 82, состоящий из колбы 1 (300—500 мл) с природной или искусственно загрязненной водой, пароотводной трубки 2, вставленной в холодильник, холодильника 3, форштосса (аллонжа) и колбы-приемника 4. За неимением форштосса приемник можно надеть горлом непосредственно на конец холодильника и укрепить в наклонном положении.

Подготовку и сборку прибора следует начать с подгонки нужных пробок. Затем, установив на штативах колбу и холодильник в таком положении, как на рисунке 82, согнуть под соответствующим углом трубку. Для этого сначала необходимо выгнуть из проволоки шаблон (т. I, стр. 223). Нижний конец трубки должен лишь немного выступать из пробки, конец же, входящий во внутреннюю трубку холодильника 2, должен быть длинный и доходить до охлаждаемой части внутренней трубки. Пароотводную трубку вставить в пробку колбы и надеть на противоположный конец трубки вторую пробку. Пробку продвинуть по трубке настолько, чтобы она была в таком

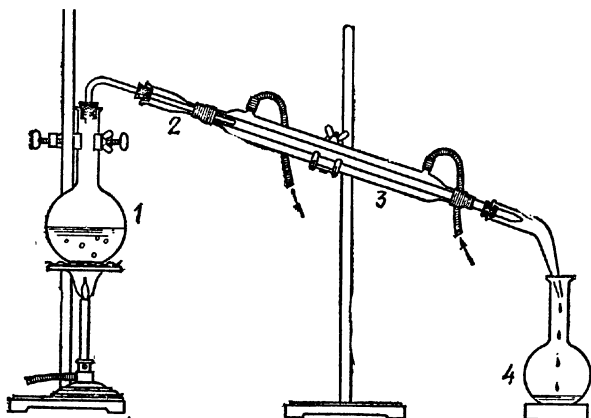


Рис. 82. Перегонка воды (при наличии водопровода):
1 — колба; 2 — паротводная трубка; 3 — холодильник;
4 — приемник.

положении, как на рисунке. Чтобы соединить колбу с холодильником, надо ослабить винт зажима, держащего холодильник, и, подвинув сначала холодильник направо (рис. 82), надвинуть его на паротводную трубку до пробки, затем снова закрепить винт зажима.

Можно поступить и иначе: укрепив паротводную трубку на холодильнике, надеть снизу на пробку колбу 1.

Установив прибор, соединить нижнюю резиновую трубку холодильника с водопроводным краном, а верхнюю опустить в раковину. Все каучуковые трубки на холодильнике нужно привязать тонким мягким электрическим проводом. Перед демонстрацией объяснить учащимся устройство холодильника, для чего хорошо иметь второй разобранный холодильник, из которого легко можно было бы вынуть внутреннюю трубку. Пустить в холодильник воду (несильной струей) и зажечь под колбой горелку. Для равномерного кипения жидкости бросить в колбу стеклянные капилляры, неглазурованные фарфоровые черепки и т. п. (т. I, стр. 125).

Приступать к опыту лучше по возможности в начале урока, чтобы набралось побольше дистиллированной воды. По окончании перегонки показать учащимся полученную дистиллированную воду. Выпарить несколько капель природной и дистиллированной воды на стекле или куске жести (стр. 167), сравнить результаты.

За неимением водопровода перегонку воды можно показать, пропуская в холодильник воду из поставленной выше бутылки или ведра, как показано на рисунке 83. Холодильник здесь является частью сифона между верхней и нижней бутылками.

Чтобы пустить холодильник в действие, нужно высасывать воздух из трубки 1 до тех пор, пока вода не появится в холоди-

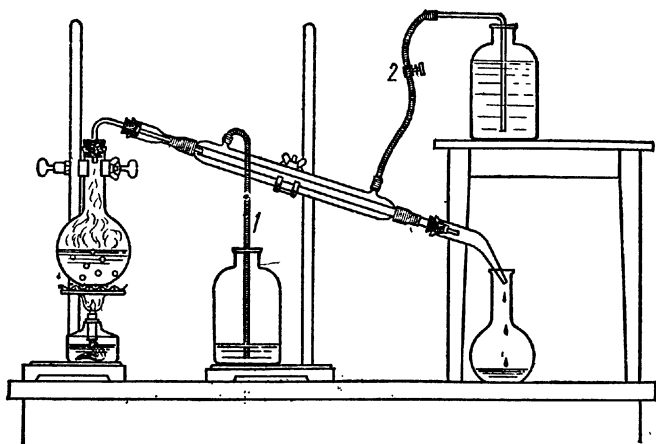


Рис. 83. Перегонка воды (при отсутствии водопровода).

нике. Скорость поступления воды в холодильник регулируется винтовым зажимом 2. При использовании колбы Вюрца пароотводная трубка, очевидно, не нужна.

Для получения очень небольших количеств дистиллированной воды на уроке можно воспользоваться приборами, изображенными на рисунке 84. В варианте *а* на трубку, по которой идут пары воды, повешен листок фильтровальной бумаги 1, охлаждаемый водой. Вода стекает в подставленную чашку. Чтобы вода не стекала вниз по трубке, на нее надета пробка 2, срезанная, как показано на рисунке. В варианте *б* к пробирке на пробке присоединяют изогнутую трубку. На трубку насаживают пробку с надетой на нее пробиркой, которую погружают в стакан с холодной водой. В пробке необходимо сделать сбоку прорез или отверстие для выхода воздуха и паров, иначе при повышении давления может выбросить пробки и даже разорвать прибор.

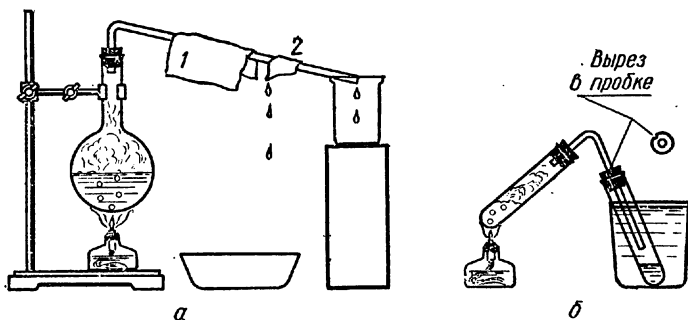


Рис. 84. Лабораторные опыты по перегонке воды:

1 — фильтровальная бумага; 2 — пробка.

ВЫДЕЛЕНИЕ ГИГРОСКОПИЧЕСКОЙ ВОДЫ

Поместить в сухую пробирку немного высушенного на воздухе песка и слегка нагреть нижнюю часть пробирки, держа ее наклонно. Обратить внимание на капельки воды, оседающие на холодных стенках пробирки. Прodelать то же самое с поваренной солью.

Кусочки бумаги, древесные опилки, вату, муку также нагреть в сухой пробирке. Нагревание этих веществ надо вести осторожно и недолго, чтобы они не чернели.

Сравнить эти опыты с опытом нагревания основного карбоната меди (т. I, стр. 346), объяснить причины выделения воды в том и другом случае.

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ

Плотность воды

1) Определение плотности ареометром (т. I, стр. 94).

2) Плотность теплой воды меньше, чем холодной ¹. Стекланную трубку около 1 см диаметром изогнуть, как показано на рисунке 85, в виде квадрата, длина сторон которого около 25 см. Загнутые концы трубки соединить короткими обрезками каучука с тройником того же диаметра, что и трубка. Еще лучше весь прибор спаять из стекла. Наполнить прибор холодной, предварительно прокипяченной (чтобы при нагревании не выделялись пузырьки воздуха) водой и укрепить на штативе в положении, показанном на рисунке.

В отросток тройника прибора влить немного раствора какой-нибудь краски: флуоресцеина (приготовление см. в т. I, стр. 290), индиго, чернил. Краска начнет распространяться в воде в обе стороны. Тогда начать нагревать один из углов прибора горелкой. Вода в нагреваемом колене делается легче и начнет подниматься, отчего во всей трубке установится циркуляция воды в направлении, указанном на рисунке стрелками. Вся краска перейдет в противоположное колено и начнет опускаться вниз. Если вовремя перенести горелку и начать нагревать другое колено, то можно перегнать краску обратно в первое колено.

Прибор может служить моделью центрального водяного отопления.

Расширение воды

1) Расширение воды при нагревании.

В круглодонную колбу с пробкой и длинной прямой трубкой налить подкрашенной воды

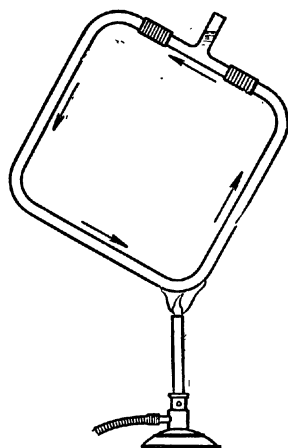


Рис. 85. Уменьшение плотности воды при нагревании.

¹ До 4 °C, см. опыт с плавающим льдом.

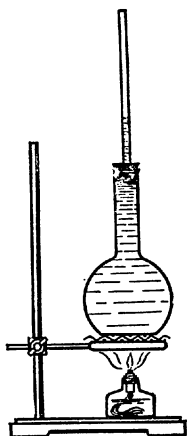


Рис. 86. Расширение воды при нагревании.

до верхнего обреза горла колбы, так чтобы при вставлении пробки некоторое количество воды поднялось в трубку (нижний конец трубки не должен выступать из пробки). Осторожно нагревать колбу: вода поднимается по трубке (рис. 86).

2) Расширение воды при замерзании. а) Слянку на 50—60 мл (желательно плоскую) наполнить холодной водой (лучше наибольшей плотности при -4°C), плотно закрыть резиновой пробкой, привязав ее к горлу слянки. Поместить слянку в охлаждающую смесь (1 объем поваренной соли смешать с 2 объемами снега или толченого льда) в деревянной чашке. Слянка должна быть вся покрыта этой смесью. Закрыв чашку полотенцем или деревянной крышкой, отставить ее в сторону.

Слянку разрывает обыкновенно через 10—20 мин, причем бывает слышен сухой, негромкий удар.

б) В пробирку налить 5—10 мл воды, опустить до самого дна ее длинную нитку и поставить пробирку в охлаждающую смесь. Когда вода полностью замерзнет, вынуть пробирку и, осторожно нагрев ее в теплой воде, вытащить за нитку кусочек льда. В стакане с водой лед не тонет, а плавает по поверхности (плотность льда равна 0,9). Для сравнения сделать такой же опыт с бензолом, заморозить который можно в ледяной воде (температура замерзания $+6^{\circ}\text{C}$). Твердый бензол не плавает в жидком бензоле, а тонет в нем.

Влияние давления на температуру плавления льда

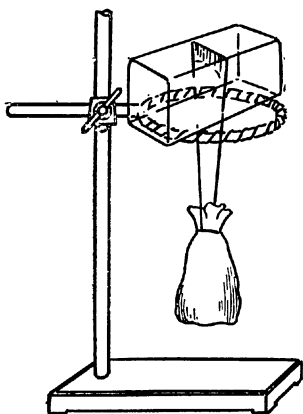


Рис. 87. Плавление льда под давлением.

Из цельного прозрачного куска льда выпилить пилой с крупными, сильно разведенными зубьями брусок длиной около 25 см и шириной около 10—15 см. Поместить его на кольцо штатива, обернутое жгутом из бумаги (рис. 87), или на края двух табуретов и т. п. Через брусок перекинуть петлю из тонкой проволоки, подвесить к ней груз в 6—8 кг или более и оставить на морозе. Проволока постепенно перерезает лед. Когда груз упадет, брусок оказывается снова сросшимся, так что даже при ударе лед разбивается не по тому направлению, где он был перерезан.

Цвет воды

Дистиллированную воду налить в возможно более высокий цилиндр для собирания газов (35—40 см и выше, можно использовать длинную трубку от обрезанной с одного конца лампы дневного света). На дно цилиндра поместить белую крышку от фарфорового тигля, подходящую по размерам фарфоровую пластинку и т. п.

Если смотреть сверху, то видно, что на этом фоне вода имеет голубоватый оттенок, особенно если рядом положить такой же кусок фарфора, на который смотреть не через слой воды. Еще резче заметен голубой цвет воды, если рядом поставить такой же цилиндр с чистым бензолом.

Малая теплопроводность воды

Приготовить охладительную смесь (см. выше) и заморозить в пробирке воду, налитую почти на $\frac{3}{4}$ объема. Держа пробирку со льдом за дно, осторожно нагревать ее в верхней части небольшим пламенем. Лед плавится, и вода в верхнем слое закипает, внизу же остается лед.

Опыт может быть выполнен также с налитой в пробирку холодной водой.

Кипение воды под уменьшенным давлением

В круглодонной колбе на 200—250 мл с хорошей резиновой пробкой и газоотводной трубкой нагреть до кипения 100 мл воды, затем отставить горелку, выждать, пока кипение полностью прекратится, присоединить газоотводную трубку колбы к водоструйному насосу (т. I, стр. 64) и пустить его в действие. В колбе создается разрежение, и вода снова закипает.

Вместо водоструйного насоса можно воспользоваться ручным масляным насосом, который обычно имеется в кабинете физики. Но в этом случае между пароотводящей трубкой колбы и всасывающей трубкой насоса надо поставить поглотительную трубку (или склянку) с хлоридом кальция, чтобы в механизм насоса не попадали пары воды.

При самом простом оформлении опыта в круглодонной колбе на 150—200 мл с узким горлом нагревают до кипения около 50 мл воды и выжидают, пока водяным паром будет вытеснен почти весь воздух. После этого, отставив горелку, быстро закрывают колбу резиновой пробкой, переворачивают ее вверх дном (держат полотенцем) и кладут сверху тряпку, смоченную холодной водой. На охлаждаемых стенках колбы конденсируются водяные пары, над водой создается разрежение, и она закипает. Опыт прост в выполнении, но объяснение его имеет дидактические трудности. (Опыты по определению температур кипения и замерзания воды см. в т. I, стр. 303.)

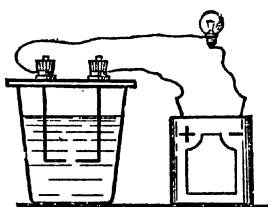


Рис. 88. Испытание электропроводности воды.

Чистая вода практически не проводит электрического тока

Проволочные или пластинчатые медные электроды, смонтированные в приборе для определения электропроводности, включенном в осветительную сеть (стр. 185), опустить в стакан с чистой водой — лампочка в приборе не горит. Не вынимая концы электродов из воды, замкнуть их, приложив к оголенным частям нож с деревянной ручкой или вбитый концом в деревянную палочку гвоздь, — лампочка загорается, а при отнятии замыкающего металла вновь гаснет (рис. 88).

При необходимости опыт может быть выполнен с лампочкой и батареей для карманного фонарика, но все соединяющие провода следует взять по возможности короткие, а электроды в стакане с водой должны быть расположены близко друг к другу, чтобы для замыкания их можно было привести в соприкосновение, не вынимая из воды.

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ

1) Взаимодействие воды с натрием. Опыты с натрием являются наиболее доступными в демонстрационном и лабораторном вариантах из серии опытов по взаимодействию воды с металлами, тем не менее производить их надо весьма осмотрительно, так как реакция идет очень энергично и при несоблюдении необходимых предосторожностей может произойти разбрызгивание образующейся щелочи, разбрасывание капелек расплавленного металла, а иногда (особенно при превышении оптимальных размеров кусочков металла, помещаемых на поверхность воды) *сильный и опасный взрыв*.

Для опыта следует брать *небольшие* кусочки натрия, не больше горошины. Кроме того, с натрия необходимо тщательно срезать ножом серовато-желтую корку, которой натрий покрывается при хранении (она может содержать пероксидные соединения). Поступающий в продажу и присылаемый в школьных наборах натрий обычно залит парафиновым или другим минеральным маслом в железных запаянных банках. В такой заливке натрий можно хранить и в стеклянных банках с притертой пробкой, но некоторое (требуемое) количество натрия лучше сохранять в керосине, отмыв куски его керосином от излишне вязкой густой заливки. Керосин перед этим необходимо испытать, чтобы выяснить, не содержится ли в нем вода. Для этого в пробирку с керосином всыпают немного белого порошка безводного медного купороса $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Если последний посинеет, значит, керосин содержит воду. Влажный керосин можно осушить, опустив в него куски безводного хлорида

кальция. Через несколько дней отфильтровать керосин, не сливая нижний слой.

При демонстрации опытов с натрием следует надевать предохранительные очки, а при выполнении лабораторных опытов предупредить учащихся, чтобы они не наклоняли лицо близко к реакционному сосуду (пробирке, стакану и пр.).

В качестве ванны для опытов с натрием лучше взять круглый стеклянный сосуд (например, кристаллизационную чашку, коническую круглую чашку, батарейный стакан и т. п.), но не четырехугольную ванну (в углах ванны натрий легче прилипает к стеклу, отчего может произойти воспламенение и растрескивание стекла). Чтобы натрий не приставал к стенкам круглого сосуда, последний нужно хорошо вымыть внутри раствором соды и прополоскать дистиллированной водой. Для опытов отрезают от куска натрия, очищенного и осушенного от керосина фильтровальной бумагой, небольшие кусочки размером от спичечной головки до горошины. Не следует нарезать сразу много мелких кусочков натрия, так как они на воздухе окисляются и становятся непригодными для опытов. Руками куски натрия брать не следует (во всяком случае нельзя разрешать это учащимся), если это нужно почему-либо сделать (например, показать высокую пластичность металла, металлический блеск), то необходимо смочить пальцы керосином и по окончании демонстрации руки тщательно вымыть. Резать натрий можно только на сухой фильтровальной бумаге и брать кусочки сухим пинцетом или щипцами. Если во время опытов концы пинцета окажутся смоченными водой, их нужно каждый раз вытирать. Бумагу, на которой резали натрий, по окончании работы опустить в чашку с водой и только после этого выбросить. Случайно уроненные на пол мелкие кусочки натрия обязательно разыскать, при невозможности же сделать это соответствующие участки пола полить водой.

Мелкие обрезки натрия обязательно складывать в отдельную баночку с керосином. Из остатков натрия можно выплавить маленькие шарики, нагрев их на песчаной бане под слоем керосина или парафинового масла. Совсем мелкие обрезки и остатки, из которых выплавить ничего нельзя, заливают этиловым спиртом (*не водой!* Может быть взрыв), добавляя их небольшими порциями и ожидая каждый раз окончания реакции. Со спиртом натрий реагирует медленно, образующийся этилат натрия вымывают из сосуда водой.

а) *Опыт в чашке.* Вымытую содой круглую чашку наполняют на $\frac{3}{4}$ объема чистой водой и, отрезав кусочек натрия, кладут (не бросают) его пинцетом или щипцами на поверхность воды в середине чашки. Натрий плавится от теплоты реакции, расплавленный шарик «бегает» в воде, не приставая к стенкам, а как бы отталкиваясь от них, если стенки чистые¹. Под конец обычно происходит

¹ Чисто вымытое, обезжиренное стекло вода хорошо смачивает и, несколько поднимаясь по стенке чашки, образует небольшое возвышение (мениск), с которого, как с «горки», скатывается шарик натрия.

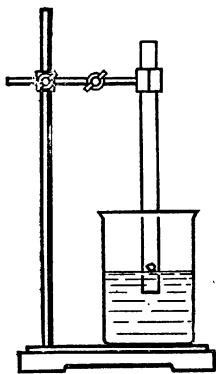


Рис. 89. Взаимодействие натрия с водой в трубке.

небольшое разбрызгивание щелочи (*не наклоняться над чашкой!*). По окончании реакции в чашку прибавляют спиртовой раствор фенолфталеина, окрашивание которого указывает на образование щелочного раствора. Можно прилить индикатор в воду перед опытом, тогда изменение цвета наступает в процессе взаимодействия натрия с водой. Чтобы учащимся опыт был виден лучше, можно поставить перед чашкой зеркало под углом (т. I, стр. 340) или провести опыт в чашке Петри, проектируя его на экран с помощью кодоскопа или насадки к проекционному фонарю (т. I, стр. 17).

б) *Опыт на фильтровальной бумаге.* На поверхность воды в чашке кладут кружок фильтровальной бумаги диаметром 6—8 см так, чтобы он не погружался в воду. В центр кружка осторожно сталкивают с конца пинцета лучинкой маленький кусочек натрия, не прикасаясь пинцетом к бумаге. На влажной поверхности бумаги натрий реагирует с водой, образуя шарик, и загорается ярким желтым пламенем. До окончания реакции нужно отойти от чашки во избежание попадания брызг щелочи¹. Затем действуют фенолфталеином.

в) *Опыт в пробирке или трубке.* Пробирку с отверстием в дне или такого же диаметра стеклянную трубку укрепляют в зажиме штатива и погружают на 1—2 см в стаканчик с водой, в которую добавляют фенолфталеин (рис. 89). С конца пинцета или кусочка фильтровальной бумаги осторожно сталкивают в пробирку кусочек натрия объемом немного более спичечной головки. Выделяющийся водород поджигают у отверстия пробирки, он может вспыхнуть с легким взрывом (смесь водорода с воздухом). Струйки образующейся щелочи проникают через отверстие вниз и окрашивают индикатор. Опыт можно рекомендовать для выполнения учащимися. Он может быть проведен и в пробирке, укрепленной в штативе, но на случай растрескивания пробирки (если натрий пристанет к стеклу и т. п.) лучше поставить под нее фарфоровую чашку, стаканчик и т. п.

г) *Опыт в стакане с водой и керосином.* В стакан на 100—150 мл наливают 30—40 мл воды, прибавив фенолфталеин, и затем осторожно наливают такой же слой керосина. Поставив стакан на блюдечко, кладут на слой керосина кусочек натрия величиной с горошину. Натрий опускается вниз, но, дойдя до водного слоя, вступает в реакцию с водой и пузырьками выделяющегося водорода выталкивается в керосиновый слой, откуда снова опускается вниз и т. д. Нижний водный слой окрашивается в красный цвет.

¹ Разбрызгивание происходит обычно с легким треском. Можно укрепить над чашкой воронку, как в опытах с калием (см, ниже), но особой необходимости в этом нет.

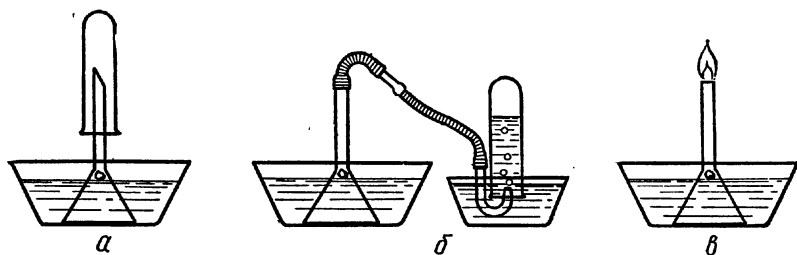


Рис. 90. Взаимодействие натрия с водой (опыт с воронкой).

Опыт можно эффектно дополнить, погрузив в водный слой электроды с лампочкой (см. стр. 185, опыты по электропроводности растворов).

д) *Опыт в воронке.* На дно чашки ставят средних размеров воронку (диаметром 6—7 см) и наливают столько воды, чтобы уровень ее внутри воронки находился не ниже 2 см от трубки (трубка воронки должна быть по возможности тонкой). Вынув воронку, помещают на поверхность воды в центре чашки кусочек натрия величиной с горошину и сразу же накрывают его воронкой, ставя ее на дно чашки. Натрий реагирует с водой внутри воронки в небольшом пространстве. На трубку воронки надевают пробирку, собирают в нее выделяющийся водород и зажигают его у пламени спиртовки (рис. 90, а). Можно присоединить к воронке тонкую резиновую трубку (через переходную трубочку, см. т. I, стр. 236) с наконечником и собрать водород в пробирку над водой (рис. 90, б). Можно не собирать водород, а, выждав некоторое время, зажечь его у отверстия воронки (рис. 90, в). Водород горит хорошо заметным издали желтоватым (пары натрия) пламенем. До полного прекращения горения (окончания реакции) нельзя вынимать воронку из воды или приподнимать ее: через трубку воронки внутрь ее войдет воздух и может произойти опасный взрыв.

е) *Опыт в трубке.* В короткий конец трубки, изогнутой, как на рисунке 91, помещают кусочек натрия (можно вдавить кончик трубки в очищенный кусок натрия на 0,5 см и получить внутри трубки «колбаску» из металла). Закрыв длинный конец трубки пальцем, быстро подводят конец трубки с натрием под пробирку с водой, опрокинутую в чашке. Водород наполняет пробирку, вытесняя воду. Кусочек натрия может выскочить из трубки и подняться внутри пробирки на поверхность воды, где реакция спокойно дойдет до конца. Собранный водород и раствор в чашке испытать обычным способом (см. выше). Если заготовить несколько таких изогнутых стеклянных трубок (в смоченную водой трубку помещать натрий нельзя), то можно наполнить водородом небольшой цилиндр.

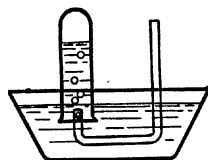


Рис. 91. Взаимодействие натрия с водой (опыт с трубкой).

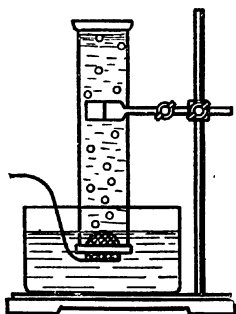


Рис. 92. Подведение натрия под цилиндр с водой с помощью сетки.

ж) *Опыт в цилиндре с сеткой.* Для опыта следует приготовить сетчатую ложечку для погружения натрия в воду. Сначала нужно выгнуть кольцо (диаметром около 2 см) и ручку из толстой медной проволоки. Затем из отожженной (т. е. нагретой в пламени горелки и остуженной) медной сетки (с просветами в $1/2$ — 1 мм) сделать колпачок. Для этого вырезанный из сетки кружок натягивают на конец ручки напильника, пока сетка не примет требуемую форму. Полученный колпачок вставляют в приготовленное проволочное кольцо и края сетки либо загибают, либо припаивают к кольцу (удобнее всего тинолем, см. т. I, стр. 77).

Перед опытом в кристаллизационную чашку или другой сосуд с водой опрокинуть небольшой (высотой 20—25 см) цилиндр для собирания газов, который закрепляют в зажиме штатива (рис. 92). Цилиндр следует установить на такой высоте, чтобы под него свободно можно было подвести ложечку из сетки. Кусочек натрия положить на поверхность воды, сразу же накрыть его ложечкой из сетки и погрузить под воду. После того как несколько пузырьков водорода выйдут наружу, подвести ложечку под цилиндр, в который и начинает собираться водород. То же самое проделать со вторым, третьим кусочком натрия и т. д., пока цилиндр не наполнится водородом.

Если, погружая кусочек натрия, каждый раз не выпускать первых пузырьков газа мимо цилиндра, то водород может получиться с примесью воздуха, так как сетка всегда увлекает в воду несколько пузырьков воздуха.

При действии на воду погруженного в нее при помощи сеточки натрия всегда происходит более или менее сильное «урчание» выделяющегося газа, что опасности не представляет. Собранный водород испытать, поджигая его в открытом цилиндре (поставить на стол отверстием вверх), внося свечу (стр. 68) и т. п.

За неимением сетчатой ложечки можно завертывать натрий в мягкую сетку, марлю и т. п. (но не в бумагу) или вводить его непосредственно в цилиндр. Для этого кусочек натрия (не больше горошины) плотно сжимают щипцами и затем быстро подводят под цилиндр. Если натрий прилипнет к стенке цилиндра, его можно смыть на поверхность воды покачиванием цилиндра.

2) **Взаимодействие воды с калием.** Хранение калия и обращение с ним такое же, как и с натрием (стр. 88, и т. I, стр. 171).

При действии калия на воду реакция идет еще энергичнее, чем при действии натрия. Выделяющийся водород загорается и горит фиолетовым пламенем, при этом сгорает и часть калия с образованием белого дыма, состоящего из твердых частиц пероксида калия. На уроках в школе ограничиваются только демонстрацией

этого явления. Собирать водород ввиду опасности взрыва нельзя. В качестве реакционного сосуда берут достаточно большой (от 1 л и более) стакан и накрывают воронкой для защиты от брызг, которые выбрасываются из стакана в конце реакции. Очищенный кусочек калия величиной не более горошины сталкивают с конца пинцета лучинкой на поверхность воды, приподняв воронку, и сразу же накрывают ею стакан (рис. 93). Испытание раствора щелочи фенолфталеином проводят, как указано выше.

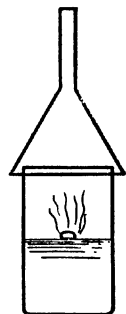


Рис. 93.
Взаимодействие воды с калием.

3) Взаимодействие воды с литием. Литий — самый легкий из щелочных металлов, в керосине он плавает, поэтому хранят его обычно залитым парафином. Резать ножом литий труднее, чем калий и натрий. На свежем разрезе литий имеет желтоватый оттенок (натрий серебристо-белый, а калий синеватый), на воздухе быстро покрывается черной пленкой, состоящей из нитрида лития. Для демонстрации опыта кусочек лития кладут на поверхность воды в чашке или опускают в трубку, как на рисунке 89. Реакция протекает медленнее, чем с натрием и калием. Выделяющийся водород при поджигании образует пурпурно-красное пламя.

4) Взаимодействие воды с кальцием. Металлический кальций поступает в продажу обычно в виде стружек. Для опытов удобны мелкие стружки, но их труднее сохранять, так как они быстрее окисляются. Нарезать стружки от куска кальция можно только на станке (кальций по твердости почти равен меди). Хранить стружки кальция следует в банке с хорошо залитой парафином корковой пробкой или с хорошо притертой и смазанной стеклянной пробкой, но даже и в этом случае кальций постепенно окисляется, и после нескольких лет хранения стружки кальция уже непригодны для опытов.

Если банка с притертой пробкой, то нужно брать кальций как можно осторожнее, чтобы не насыпать кусочков металла на смазанный шлиф. Банку со стружками кальция сразу же плотно закрывают. Если пробка корковая, то сейчас же после опыта ее следует залить парафином.

Для демонстрации опыта в чашку с водой опрокинуть наполненный водой цилиндр для собирания газов. Ложечку кальциевых стружек (около 1 г) завернуть в кусок марли, взять щипцами, как показано на рисунке 94, и погрузить в воду. Как только выделятся первые несколько пузырьков газа, смешанного с воздухом, подвести мешочек под цилиндр, держа последний в руке.

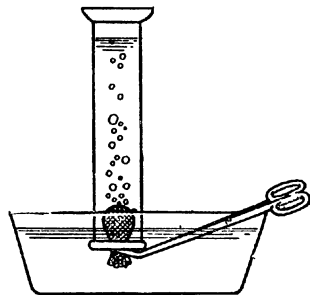


Рис. 94. Взаимодействие воды с кальцием.

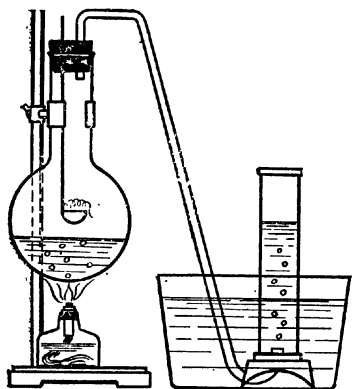
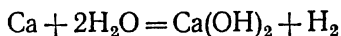


Рис. 95. Взаимодействие паров воды с магнием.

Реакция вначале идет медленно, но вскоре делается весьма бурной, и через несколько секунд цилиндр наполняется водородом. Несмотря на бурность реакции, опыт вполне безопасен, никакого взрыва не происходит. Вода мутнеет от образующегося гидроксида кальция:



Испытание водорода проводят, как описано выше. Он горит почти бесцветным пламенем. Если мешочек с оставшимся кальцием вынуть из воды и поддержать на воздухе, то через некоторое время в результате продолжающейся реакции наступает сильное разогревание и оставшаяся в марле вода закипает.

Можно часть раствора, помутневшего от избытка гидроксида кальция, отфильтровать через небольшую воронку в стакан и показать, что при пропускании через раствор оксида углерода CO_2 получается осадок. Для этого нет необходимости получать углекислый газ, можно просто продуть в раствор через стеклянную трубочку выдыхаемый воздух.

Часть раствора можно отлить в другой стакан и прилить лакмус, чтобы показать, что раствор имеет щелочную реакцию. Лабораторный опыт проводят в том же порядке в пробирке.

5) Взаимодействие воды с магнием. а) Взаимодействие воды с магнием можно показать, опустив в пары кипящей воды горящий магний. Выделяющийся водород можно собрать и испытать, если проводить опыт в приборе, изображенном на рисунке 95.

В круглодонную колбу (на 500 мл) с водой вставляют пробку с железной ложечкой и газоотводной трубкой. Конец газоотводной трубки погружают в чашку с холодной водой. Чашка должна быть достаточных размеров, чтобы вода не слишком нагрелась конденсирующимися парами, выходящими из колбы. Колбу укрепляют на штативе, нагревают воду до сильного кипения и кипятят в течение нескольких минут, чтобы по возможности вытеснить из колбы воздух водяным паром. В железную ложечку помещают скрученную ленту или несколько стружек магния. Зажигают магний (в пламени спиртовки), быстро опускают ложечку в колбу с сильно кипящей водой и вставляют пробку (пробку держать полотенцем, чтобы не обжечь парами руку). Магний продолжает гореть в парах воды. Над концом газоотводной трубки помещают небольшой цилиндр или пробирку. Когда магний догорит, некоторое время продолжают кипятить воду, чтобы вытеснить из колбы водород в цилиндр. Испытывают водород, как указано выше.

б) *Разложение холодной воды магнием.* Небольшую воронку погружают в стакан с водой, поместив под нее предварительно 1—2 г порошка магния. На трубку воронки надевают пробирку, наполненную водой (рис. 96). За час в пробирке собирается 5—6 мл водорода. Со стружками магния (мелко нарезанными) реакция идет медленнее, но, если оставить на 1—2 суток, можно собрать такой же объем водорода.

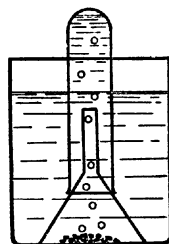


Рис. 96. Разложение холодной воды магнием.

в) *Разложение горячей воды магнием.* Колбочку на 50 мл наполнить стружками магния и налить доверху воды. Закрывать колбочку резиновой пробкой с газоотводной трубкой так, чтобы в ней не оставалось воздуха (конец газоотводной трубки не должен выступать из пробки внутри колбы). Путем дополнительного засасывания наполнить газоотводную трубку водой и поместить конец трубки под наполненную водой пробирку в чашке или большом стакане. При нагревании воды в колбе до кипения в пробирке будет собираться водород. Реакция ускоряется во много раз, если к воде прибавить 2—3 г хлорида аммония.

г) *Демонстрация опытов взаимодействия воды с магнием (без собирания водорода).* В пробирку наливают 3—4 мл воды, укрепляют ее в зажиме штатива в наклонном положении, как показано на рисунке 97, а. Для обеспечения равномерности кипения в воду кладут сырую нитку или черепки неглазурованного фарфора. На расстоянии не далее $\frac{1}{3}$ от отверстия пробирки с помощью лучинки или полоски картона насыпают порошок магния (около 1 г), распределяя его вдоль стенки пробирки на 2 см. Осторожно прогрев сначала всю пробирку, нагревают до кипения воду маленьким пламенем так, чтобы вода не забрасывалась на магний. Затем нагревают магний на участке, близком к воде, поддерживая в то же время слабое кипение воды. Как только магний начнет «тлеть», переносят пламя спиртовки к воде, чтобы вызвать энергичное кипение. В парах воды магний ярко горит, образуя оксид магния, у отверстия пробирки появляется пламя горящего водорода. Пробирка обычно дает трещины и разваливается (подставить фарфо-

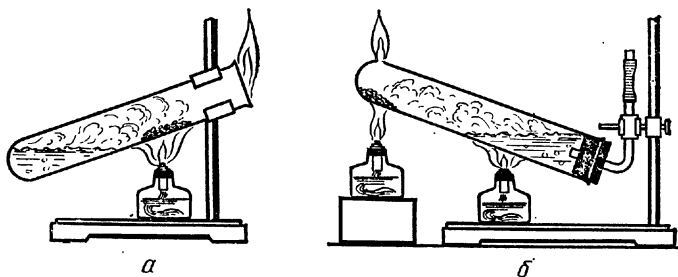


Рис. 97. Разложение воды магнием.

ровый тигель с песком). Выполнение опыта требует некоторого навыка.

В пробирку с проделанным на расстоянии около 1 см от дна боковым отверстием (т. I, стр. 230) диаметром 2 мм всыпают порошок магния и надевают пробирку на резиновую пробку с газоотводной трубкой, закрепленной на небольшой пробке в зажиме штатива, как показано на рисунке 97, б. Вставив в резиновую часть газоотводной трубки маленькую вороночку или пользуясь пипеткой, наливают в пробирку немного воды (рис. 97, б), после чего закрывают резиновую трубку куском стеклянной палочки или зажимом. Нагревание удобно вести двумя небольшими спиртовками, накаливая в одном месте магний и поддерживая равномерное кипение воды (положить суровую нитку и т. п., как сказано выше). Как только магний в одном месте начнет тлеть, спиртовку от него убирают и усиливают нагревание воды. В парах воды магний сильно раскаливается. Выделяющийся водород сгорает у отверстия пробирки.

В конической колбе сильно кипятят воду, чтобы вытеснить воздух из колбы парами воды. Зажигают ленту или стружку магния и, держа ее вертикально щипцами, вносят в колбу. Магний продолжает гореть в парах воды, у отверстия колбы появляется пламя водорода.

В коническую колбу на 250 мл наливают на $\frac{2}{3}$ объема подогретую, но не слишком горячую воду. Ложечкой для сжигания веществ набирают из банки порошок магния и нагревают его пламенем спиртовки. Как только магний у краев ложечки начнет тлеть, погружают ложечку в воду, не касаясь ею дна колбы. Магний горит в воде с ярким раскаливанием и треском. Вода сильно вскипает, у отверстия колбы появляется пламя водорода. Во избежание ожога руки верхний конец ложечки надо согнуть в виде буквы Г и держать ее за отогнутую часть.

На асбестированную сетку кладут несколько стружек магния. Одну из них, взяв щипцами, зажигают на спиртовке и присоединяют к остальным. На горящие стружки льют из пипетки горячую воду. Появляется яркая вспышка.

б) Взаимодействие паров воды с железом. Для опыта требуется тугоплавкая (лучше кварцевая) стеклянная трубка длиной 12—15 см с внутренним диаметром 1—1,5 см, но можно использовать более длинную (до 25 см) железную трубку (например, кусок водопроводной трубы). Чтобы при нагревании не портились и не загорались пробки, концы железной трубки у пробок обматывают асбестом или марлей и во время опыта непрерывно смачивают водой, не давая перегреваться¹.

В трубку 3 (рис. 98), укрепленную одним концом в зажиме штатива с асбестовыми прокладками, вносят 20—25 г железного

¹ А. Лавуазье в историческом опыте по разложению воды пользовался, как известно, стальным ружейным стволом.

порошка (лучинкой или картонной полоской), располагая его посередине трубки. После этого плотно вставляют резиновую пробку с газоотводной стеклянной трубкой 4. Нижний изогнутый конец трубки 4 подводят под мостик в чашке с водой. Не соединяя колбу с трубкой 3, нагревают воду в колбе до сильного кипения и одновременно нагревают сильной газовой горелкой трубку 3 выше 200°C (слышится шипение при прикоснове-

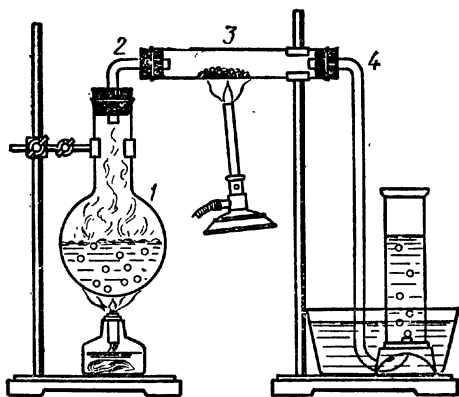


Рис. 98. Разложение воды железом:

1 — колба; 2 — пароподводящая трубка; 3 — широкая трубка; 4 — газоотводная трубка.

рой тряпки), чтобы не допустить конденсации водяного пара в самом начале опыта. После этого вставляют в трубку 3 вторую резиновую пробку с пароподводящей трубкой 2. Ослабив кипение воды в колбе 1, плотно надевают ее на вторую резиновую пробку трубки 2 (достаточно подвижный зажим штатива и подвижность трубки 3, закрепленной только одним концом, позволяют это легко сделать). Сразу же вновь подставляют спиртовку под колбу 1 и продолжают пока несильное нагревание трубки 3, следя за пузырьками газа, выходящими из конца трубки в чашке. Для проверки полноты удаления газа ставят на мостик (или просто надевают на изогнутый конец трубки) большую пробирку с водой. Если в пробирке не накапливается сколько-нибудь значительный объем газа, значит, воздух из колбы 1, трубки 3 и соединительных трубок вытеснен. Тогда сильно нагревают посередине трубку 3 и ставят на мостик небольшой цилиндр, наполненный водой. Цилиндр быстро наполняется чистым водородом, который испытывают, как описано выше. По окончании опыта, прежде чем прекратить кипение воды в колбе, необходимо вынуть одну из пробок, иначе в прибор засосет воду из чашки. Опыт в таком оформлении выполняется только как демонстрационный.

В реакции принимает участие не только железный порошок, но и железо стенок трубки. Для сравнения можно провести опыт с медной трубкой и порошком меди, а затем в этой же медной трубке с порошком железа, магния, цинка. Водород выделяется только в трех последних случаях. Оформление опыта может быть более простым (рис. 99). Воду наливают непосредственно в трубку, закрытую пробкой. Туда же вносят порошок металла. Второй конец трубки закрывают пробкой с газоотводной трубкой. Благодаря высокой теплопроводности меди вода легко закипает при нагревании порошка металла в середине трубки. Медная трубка

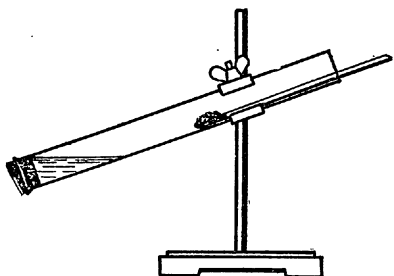


Рис. 99. Подготовка опыта разложения воды в медной трубке (внесение в трубку порошка металла).

должна быть более длинной (до 30 см). Второй конец ее нужно обернуть марлей и смачивать водой для защиты пробки от перегрева. (О взаимодействии воды с другими простыми и сложными веществами см. опыты в соответствующих главах.)

7) Термическое разложение воды. Разложение воды протекает только при очень высоких температурах, поэтому обычные способы нагревания здесь неприемлемы. Если имеется платиновая проволока, которую можно свернуть в спираль и накали-

ть до соответствующей температуры (2000 °C), то можно разложить водяные пары и собрать в цилиндр (пробирку) некоторое количество гремучей смеси. Соответствующий прибор показан на рисунке 100.

В круглодонной колбе нагревают до сильного кипения воду и, когда воздух из колбы будет вытеснен водяным паром, включают ток и раскалывают платиновую проволоку до белого каления. В пробирке, погруженной в кристаллизационную чашку с водой, собирается небольшое количество гремучей смеси, которую можно испытать поджиганием: при этом слышен характерный звук. Воду в чашке (ванне) во время опыта нужно охлаждать, так как она сильно разогревается водяным паром. Обычно отчерпывают часть горячей воды и приливают холодную воду или добавляют в чашку куски льда. Пробирку-приемник поливают холодной водой.

Приведенные в некоторых руководствах опыты с применением нихромовой спирали в аналогичном приборе не достигают цели, так как температура накала спирали недостаточна. В пробирку в четырехугольной ванне можно, правда, собрать некоторое количество газа, но обычно это водород (а не гремучая смесь), образующийся за счет реакции между хромоникелевым сплавом спирали и водяным паром. Во всяком случае, при испытании собранного газа поджиганием слышен звук, характерный для вспышки чистого водорода, а не гремучей смеси. При попытке усилить накал спирали до белого каления она перегорает.

Лучших результатов можно достигнуть, разлагая водяной пар с помощью электрической искры, получаемой от индуктора.

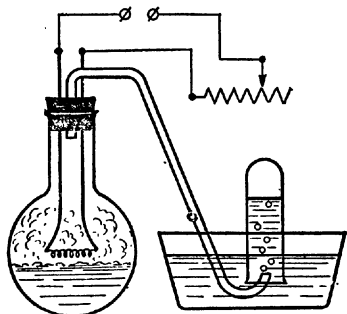


Рис. 100. Термическое разложение воды (схема включения прибора).

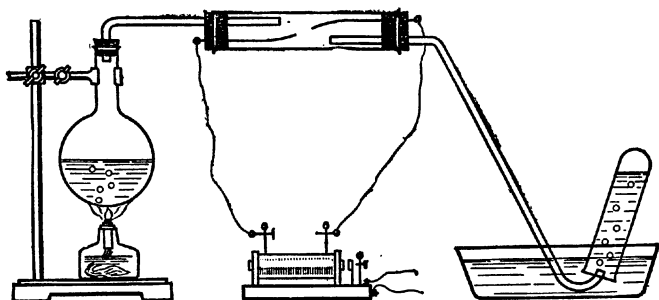


Рис. 101. Термическая диссоциация водяного пара.

Для этого желательно иметь индуктор ИВ-100 (т. I, стр. 108), а лучше еще более мощный, если он имеется в кабинете физики.

Прибор можно собрать по образцу, показанному на рисунке 100, но без спирали. Два медных электрода проходят в круглодонную колбу через резиновую пробку с газоотводной трубкой. Объем колбы 150 мл. Концы электродов в колбе загнуты навстречу друг другу так, чтобы расстояние между ними было около 1 см. В этом случае получается непрерывная, «жирная» искра, а искрение в других местах между электродами будет исключено. К наружным концам электродов присоединяют провода от индуктора (*правила*, см. т. I, стр. 110). Перед демонстрацией опыта кипятят в колбе воду и испытывают полноту вытеснения воздуха, как описано выше, затем включают индуктор. Через некоторое время в пробирке-приемнике собирается небольшое количество гремучей смеси. Опыт можно провести также в приборе, показанном на рисунке 101 (по К. Я. Парменову). Устройство и действие прибора понятны из рисунка.

8) Разложение воды электрическим током. Для разложения воды (правильнее растворов электролитов) в более или менее соответствующих для учебных целей масштабах нужны значительные напряжения постоянного тока, поэтому при использовании переменного тока от осветительной сети наиболее удобно применять достаточно мощные выпрямители (селеновый ВС4-12, самодельный на германиевых диодах Д7Ж и др., см. в т. I, стр. 99). Только в небольших по размерам приборах для лабораторных опытов с малым внутренним сопротивлением можно применять выпрямители типа ВС-12 или сухие батареи с последовательным соединением, дающие напряжение 12—15 в. При использовании источников постоянного тока с напряжением более 30 в в цепь обычно включают реостат. Если же применяется выпрямитель на диодах Д7Ж, то включение реостата или другого сопротивления (т. I, стр. 98), особенно при напряжении тока в осветительной сети 220 в, обязательно. Вообще же током такого напряжения для упомянутых выпрямителей лучше не пользоваться, а включать их от понижающего трансформатора с регулируемым напряжением (т. I,

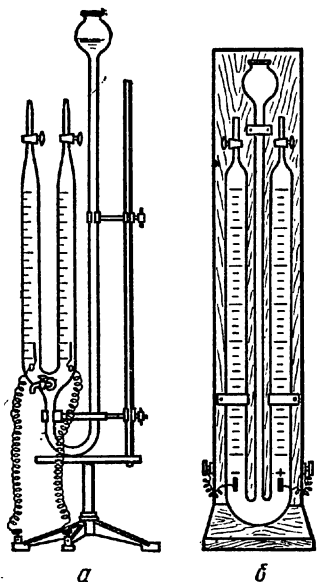


Рис. 102. Приборы типа аппаратов Гофмана для разложения воды:

а — с двумя платинированными электродами; *б* — с одним платинированным электродом на деревянном штативе.

стр. 96) и устанавливать рабочее напряжение питающего (переменного) тока 80—100 в, иначе процесс идет слишком бурно, с сильным искрением, жидкость в сосуде выпрямителя и в электролизере быстро закипает (схемы включения, см. т. I, стр. 103 и 107).

Для демонстрационных опытов по разложению воды пользуются приборами фабричного изготовления и самодельными. Наиболее удобны приборы типа аппаратов Гофмана с двумя платинированными электродами (рис. 102, *а*), которые позволяют применять для электролиза раствор серной кислоты (1 : 10 по объему) или 10-процентный раствор сульфата натрия. На рисунке 102, *б* показан имеющийся в продаже аппарат, смонтированный на деревянном штативе. Он имеет обычно один жестяной или никелевый, второй платинированный электрод. Для электролиза в нем можно применять раствор сульфата натрия (но не серную кислоту), но при этом надо следить, чтобы при включении не были перепутаны полюса. Знаки «+» и «—» наносят обычно у электродов на градуированные трубки или на доску штатива.

Если электрод со знаком «—» окажется случайно присоединенным к аноду выпрямителя, то вследствие наступающего анодного растворения электродная пластинка отпадает и дорогой прибор будет испорчен.

На рисунке 103, *а* показан (без штатива) также имеющийся в продаже аппарат со сменными электродами, которые вставляются снизу на пробках. Электроды могут быть железные, никелевые (пластинки или толстая проволока), свинцовые или угольные (прессованные угольно-графитные стержни, применяемые в сухих батареях и т. п.). Последние позволяют применять для электролиза растворы серной кислоты и сульфата натрия. Никелевые и железные электроды используют только при электролизе щелочных растворов (10—15-процентный раствор едкого натра или насыщенный раствор карбоната натрия). Анодное окисление металла в этих условиях не протекает. Со свинцовыми электродами можно применять серную кислоту и сульфат натрия, однако на аноде происходит при этом заметное окисление свинца до PbO_2 , поэтому соотношение объемов водорода и кислорода в результате электролиза не будет точным, но в общем оно приемлемо для учебной демонстрации.

На рисунке 103, б изображен самодельный прибор для электролиза, также со сменными электродами. Прибор можно изготовить из двух небольших бюреток с кранами и трех широких тройников, соединенных резиновыми трубками «на стык» с бюретками, уравнивающей трубкой и друг с другом.

Для демонстрационных и лабораторных опытов по разложению воды с железными электродами в качестве электролита широко используют насыщенный раствор соды Na_2CO_3 ; он удобнее, чем растворы едких щелочей, так как меньше разъедает кожу рук. Но у раствора большее сопротивление, и в больших приборах, как прибор Гофмана (см. ниже), при достаточно быстро идущем электролизе раствор нагревается, что приводит к ошибке в определении объема. Поэтому раствор соды следует применять лишь для упрощенных приборов (см. ниже).

В процессе электролиза щелочных электролитов (едкого натра, соды) при выделении газов образуется обильная пена, мешающая отсчету (сравнению) объемов. Избежать образования пены можно прибавлением этилового спирта (20 мл на 80 мл рабочего раствора).

Приборы наполняют соответствующими растворами через верхнюю воронку при открытых кранах градуированных трубок. Когда уровень жидкости в трубках дойдет вверх до суженной части, краны закрывают и доливают в воронку столько раствора, чтобы уровень его был выше уровня в трубках. (Слишком много наливать раствора в воронку не следует, так как туда же будет вытесняться газами жидкость во время электролиза.) После этого, осторожно открывая краны, заполняют раствором оставшийся в каждой трубке объем, но так, чтобы жидкость не попала в оттянутые трубочки выше кранов. Если немного жидкости случайно попало выше крана, ее надо удалить из трубочки тонким жгутиком фильтровальной бумаги. В приборах, изображенных на рисунках 102, а и 103, б, это можно сделать, сливая часть жидкости через нижний кран или опуская воронку ниже уровня жидкости в трубке (при открытом верхнем кране). Не удаленный из трубочки раствор может помешать испытанию собранных газов. Готовый к демонстрации прибор подключают к источнику постоянного тока (схемы включения см. в т. I, стр. 107 и 108) в соответствии с обозначениями полюсов у выходных клемм выпрямителя (для выпрямителя

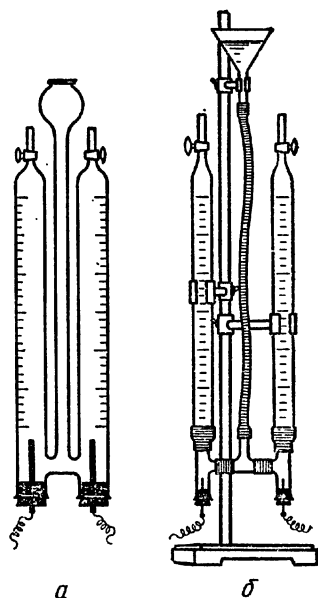


Рис. 103. Приборы типа аппаратов Гофмана для разложения воды:

а — со сменными электродами;
б — самодельный.

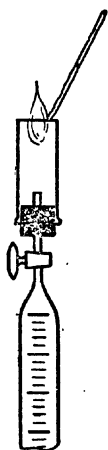


Рис. 104. Насадка к прибору для испытания кислорода.

на диодах Д7Ж см. соответствующие указания в т. I, стр. 99 и 106), чтобы заранее знать, где какой газ будет выделяться. Скорость выделения газов при необходимости регулируют реостатом, следя за тем, чтобы раствор в нижней части прибора не перегревался (при больших сопротивлениях в узких трубках, как у самодельного прибора на рисунке 103, б, раствор может нагреться даже до кипения). Когда в трубке с отрицательным электродом соберется водорода около половины ее объема (объем кислорода в другой трубке будет соответственно вдвое меньше), выключают ток, производят соответствующий отсчет или приблизительно сравнивают объемы газов и испытывают их. Для испытания водорода медленно открывают кран градуированной трубки и подносят к отверстию горящую лучинку. Газ вытесняется вверх и сгорает.

Для испытания кислорода лучше пользоваться насадкой, изображенной на рисунке 104. При открывании крана газ заполняет надетую на пробку широкую трубочку (ее можно отрезать от пробирки), где его легко обнаружить тлеющей лучинкой. Зная катод и анод у прибора и соблюдая порядок присоединения, насадку надевают на соответствующую трубку заранее.

По окончании демонстрации опыта раствор из прибора нужно вылить, весь прибор хорошо промыть водой, краны насухо вытереть и смазать. Последнее особенно важно при применении щелочных растворов во избежание «заедания» шлифов, которое может привести к порче прибора (т. I, стр. 152).

На рисунках 105 и 106 изображены упрощенные приборы для электролитического разложения воды, сделанные из обрезанной стеклянной банки, воронки для порошков, стакана (см. также комби-

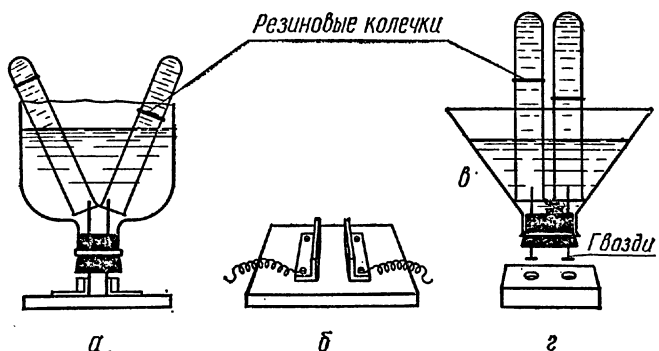


Рис. 105. Упрощенные приборы для электролитического разложения воды.

нированный прибор с обрезанной электрической лампочкой, т. I, стр. 103). В зависимости от размеров эти приборы применяют для демонстрационных или лабораторных опытов. Внутреннее сопротивление приборов относительно невелико, поэтому для лабораторных опытов с ними можно использовать маломощные выпрямители ВС-12, ВС4-12 (т. I, стр. 105) или батарейки для карманного фонаря, однако не менее 12 в (три плоские батарейки, соединенные последовательно, см. т. I, стр. 95). Для демонстрационных опытов нужны более мощные источники постоянного тока — выпрямители, с батарейками процесс идет медленно.

В качестве электродов в этих приборах используют толстую железную проволоку, гвозди, железные или никелевые пластинки (рис. 106, а), стержни графитовых карандашей, расколотые вдоль (рис. 106, в). Сосуд электролизера можно поместить в кольцо или зажим штатива или в специальные приспособления с контактами, к которым присоединяют наружные концы электродов¹.

Для закрытия нижнего отверстия (горла) банки или воронки лучше использовать резиновые пробки, через которые и проходят электроды. Если приходится пользоваться корковыми пробками, то на них наливают внутрь сосуда расплавленную менделеевскую замазку слоем до 1 см и дают застыть. Заливание парафином нежелательно, так как во время опыта он нередко расплавляется, всплывает и попадает в пробирки.

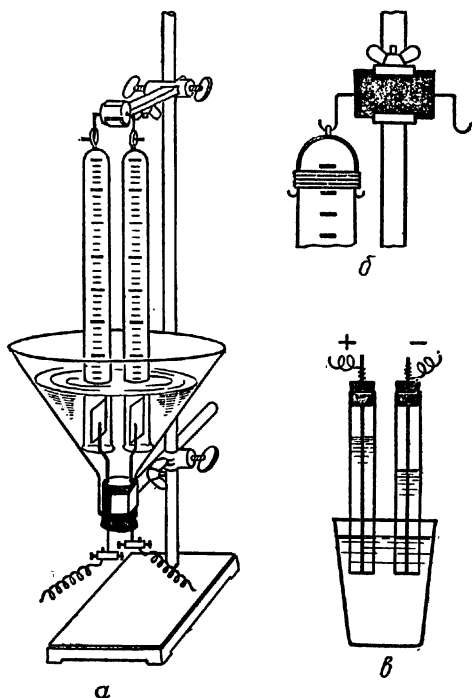


Рис. 106. Упрощенные приборы для электролитического разложения воды.

¹ Такое приспособление может быть сделано из привинченных к доске согнутых металлических, например алюминиевых, пластинок (рис. 105, б), между которыми вставляют наружные концы электродов. Для устройства приспособления, изображенного на рисунке 105, г, в деревянной толщиной до 2 см дощечке просверливают отверстия диаметром 0,5 см на глубину 1,5 см, опускают туда зачищенные концы проводов, наливают расплавленное (неперегретое) олово и, пока оно не успело застыть, погружают туда концы электродов, изготовленных из гвоздей.



Рис. 107.
Пробка для
закрывания
отверстия
пробирки,
укрепленная
на проволоке.

Приемниками для газов служат пробирки, которые непосредственно надевают на электроды, градуированные (можно с самодельной градуировкой, см. т. I, стр. 90) или неградуированные стеклянные трубки, подвешенные на проволоке. Деталь подвеса показана на рисунке 106, б¹.

В качестве электролита почти во всех таких приборах применяют насыщенный раствор карбоната натрия Na_2CO_3 , реже — 10-процентный раствор NaOH . Графитовые электроды позволяют использовать также растворы серной кислоты (1 : 10 по объему) и 10-процентный раствор сульфата натрия.

Для того чтобы при погружении в сосуд трубок, наполненных раствором, не смачивать электролитом руки, можно укрепить на изогнутой толстой проволоке каучуковую пробку (рис. 107), которой и закрывать при погружении и при вынимании после опыта трубки (пробирки). В основном такая пробка нужна только для закрывания отверстия пробирки (трубки) по окончании электролиза, чтобы оставшаяся в пробирке жидкость не вытекала и в пробирку не вошел воздух. При погружении же наполненную раствором пробирку можно закрывать небольшим кусочком бумаги, в таком виде переворачивать и опускать в раствор, где бумажка отпадает и может быть извлечена лучинкой. Впрочем, если руки сейчас же вымыть водой, то непродолжительное соприкосновение с раствором соды и щелочи и даже серной кислоты указанной концентрации не представляет никакой опасности.

Раствор карбоната натрия для опыта должен быть по возможности свежий. При электролизе раствора на аноде образуется оксид углерода CO_2 , который, реагируя с карбонатом натрия, переводит его в кислую соль. Если гидрокарбоната натрия в растворе накопится много, то оксид углерода CO_2 перестанет полностью поглощаться и будет выделяться на аноде вместе с кислородом. Следовательно, пользоваться долго одним и тем же раствором нельзя. Электролиз в указанных приборах ведут, пока пробирка над катодом наполнится водородом наполовину, кислорода в другой пробирке (трубке) будет соответственно вдвое меньше. Этих объемов вполне достаточно для испытания. Для сравнения объемов газов на пробирки надевают резиновые колечки и по выключении тока устанавливают их на уровне оставшихся в пробирках (трубках) жидкостей. После испытания водорода и кислорода (при испытании следить, чтобы не сдвинулись кольца) растворы из

¹ Для подвески к дну трубок в остром пламени (т. I, стр. 179) припаивают петельки из стекла. При невозможности это сделать на запаянное закрепленное дно трубки (пробирки) накладывают мягкую проволоку с загнутыми на концах крючками и петлей посередине и надевают 1—2 узких колечка (отрезать от резиновой трубки). В простейших случаях подвешивают за пробки незапаянные стеклянные трубки (рис. 106, в).

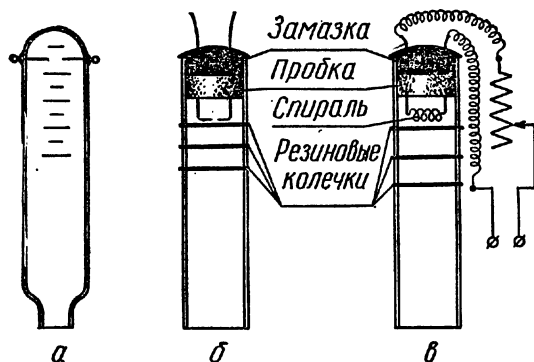


Рис. 108. Эвдиометры:

а — фабричного изготовления; *б* — самодельный с проволочками; *в* — самодельный со спиралью.

пробирок выливают, в пробирку, где был кислород, наливают (до кольца) воды и выливают ее в пробирку, где был водород. Чтобы уровень воды в этой пробирке также оказался у кольца, необходимо прилить еще такой же объем, следовательно, объемы газов относятся как 1 : 2.

Более точные измерения в условиях этих опытов невозможно произвести, так как это потребовало бы внесения многочисленных поправок для приведения объемов газов к нормальным условиям с учетом упругости водяных паров, растворимости газов и пр.

9) Синтез воды в эвдиометре. Горение водорода в воздухе и кислороде (стр. 69 и 70), взрывы гремучих смесей, восстановление оксида меди и др. — все эти опыты относятся к процессам синтеза воды. Цель демонстрации синтеза воды в эвдиометре — показать, что водород и кислород вступают в соединение с образованием воды в тех же объемных отношениях, в каких они образуются при ее разложении.

Применение ртутных эвдиометров в условиях средней школы исключается. Опыты проводятся над водой в стеклянных эвдиометрах фабричного изготовления или самодельных. Выпускаемый Главучтехпромом эвдиометр (рис. 108, *а*) представляет собой запаянную с одного конца стеклянную трубку длиной 25 см с впаянными в нее двумя проволочками из платинита¹. Расстояние между концами проволочек внутри трубки — около 2 мм — достаточно для образования между ними искры даже от небольшого индуктора. Нижний конец эвдиометра имеет сужение, что удобно при испытании оставшегося в эвдиометре газа, легче закрывать трубку пальцем, удобнее в суженном отверстии поджечь водород или внести туда тлеющую лучинку для испытания кислорода, так

¹ Платинит — сплав никеля с железом и другими металлами — имеет такой же коэффициент расширения, как и стекло, поэтому вплавляется в стекло, не вызывая растрескивания его после остывания.

как у суженного отверстия газы задерживаются дольше, чем у широкого¹. В верхней части на трубку эвдиометра нанесены деления через 1 и 0,5 см. Они обычно издали не видны, поэтому лучше нанести более крупно (через 1,5—2 см) 4—5 делений черным лаком или надеть на эту часть тонкие резиновые колечки на равных расстояниях; последнее даже удобнее, так как позволяет при необходимости изменять объемы газов при наполнении эвдиометра.

При отсутствии эвдиометра, описанного на рисунке 108, а, можно изготовить эвдиометр из толстостенной стеклянной трубки длиной 25 см, с внутренним диаметром около 1 см. К трубке подобрать корковую пробку, хорошо обжатую, так, чтобы она с усилием входила в трубку полностью. Прежде чем вдвигать пробку в трубку, нужно через пробку пропустить две нетолстые медные проволоки. Чтобы легче проколоть ими пробку, следует заточить концы напильником и, вставив часть проволоки в пробку, вдвигать ее далее плоскогубцами, захватывая каждый раз не более 2 мм проволоки, пока она выйдет насквозь. После этого концы проволок загнуть навстречу друг другу, оставив расстояние между ними около 2—3 мм. Пробку вместе с проволоками нужно вдвинуть с усилием в трубку на глубину 1 см и все пространство над пробкой залить менделеевской замазкой, а за неимением ее — сургучом или расплавленной серой. Чтобы проволока не скользила в пробке, полезно сделать изгиб, приходящийся на заливаемую часть, как показано на рисунке 108, б (самодельный эвдиометр с проволоками).

Если индуктора в кабинете нет, можно для поджигания гремучей смеси в эвдиометре использовать спираль из очень тонкой (волосковой) медной проволоки (рис. 108, в), которая перед вставлением пробки в трубку эвдиометра натягивается между проволоками под пробкой. Такой эвдиометр можно после наполнения газами включать непосредственно в сеть. Тонкая проволока при этом сразу же перегорает, и гремучая смесь взрывается. Неплохие результаты дает также тонкая нихромовая проволока, 3—4 витка которой, натянутые между медными проволоками внутри эвдиометра, можно раскалить электрическим током и вызвать взрыв гремучей смеси. В этом случае в цепь обязательно включают реостат, сопротивление которого выводят осторожно до раскаливания проволоки, а после взрыва смеси ток немедленно выключают. Нихромовой проволоки при осторожном обращении хватает на 10—12 взрывов, тогда как медная спиралька служит один раз, после чего нужно разогревать замазку, вынимать пробку и натягивать новую спираль.

Водород для наполнения эвдиометра должен быть чистым, без примеси воздуха. Его получают в аппарате Киппа или другим

¹ Иногда в суженное нижнее отверстие эвдиометра вставляют при опытах с ним резиновую пробку, что не только не обязательно, но и при обычных опытах вызывает осложнения.

приборе. Кислород для опыта лучше получить из перманганата калия и чистым собрать в небольшой газометр над кипяченой охлажденной или выдержанной в течение суток при комнатной температуре водой (чтобы из воды не выделялись пузырьки воздуха). Можно с необходимой осторожностью (чтобы не пустить избыток) наполнять эвдиометр кислородом из обычного универсального прибора (пробирка с газоотводной трубкой, см. стр. 20), в котором нагревается перманганат калия. Кислород из аптечной подушки для опыта не годится, так как он содержит небольшую примесь воздуха и углекислого газа. Вода для наполнения эвдиометра и для ванны (стакана) также должна быть прокипяченной или выдержанной при комнатной температуре в течение суток.

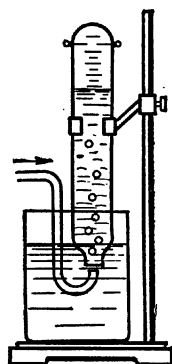


Рис. 109. Наполнение эвдиометра газом.

При подготовке и демонстрации опыта соблюдать следующий порядок выполнения операций:

1) наполнить эвдиометр водой (о подготовке воды см. выше) и, закрыв отверстие пальцем, погрузить в стакан, налитый на $\frac{3}{4}$ объема такой же водой;

2) укрепить эвдиометр в зажиме штатива (обязательно с прокладками, см. т. I, стр. 66) ниже градуированной части, так, чтобы он оставался погруженным в воду на 2—3 см;

3) осторожно, небольшими пузырьками ввести в эвдиометр два объема кислорода, до второго сверху деления (кольца, рис. 109), предварительно пропустив ток кислорода в воду мимо трубки эвдиометра, чтобы вытеснить из газоотводной трубки кислородного прибора весь воздух. Пузырьки газа вводить кратковременным подведением газоотводной трубки под отверстие эвдиометра;

4) таким же приемом ввести в эвдиометр два объема водорода, до четвертого сверху деления;

5) погрузить эвдиометр в стакан так, чтобы расстояние между дном стакана и нижним концом трубки было не менее 3—4 см (ниже опускать эвдиометр ко дну стакана нельзя, при взрыве может разбиться и стакан, и эвдиометр);

6) проверить индуктор (наличие искры при включении);

7) присоединить провода к контактам вторичной обмотки индуктора (при выключенном индукторе), а вторые концы их — к контактам (рис. 110) эвдиометра (правила, см. т. I, стр. 110);

8) включить индуктор. Для эвдиометра без индуктора включить вилку в сеть и при нихромовой проволоке выводить реостат;

9) как только произойдет взрыв смеси (вполне безопасный при исправном и хорошо изготовленном приборе), немедленно выключить и снять провода с контактов эвдиометра. После взрыва уровень воды внутри трубки эвдиометра при объемном отношении газов 2 : 2 поднимается на три деления. В трубке остается один

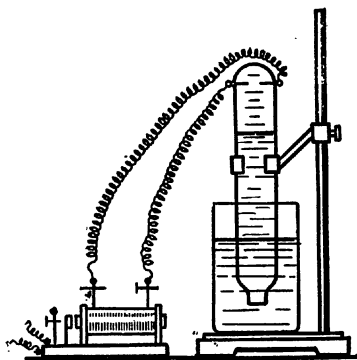


Рис. 110. Эвдиометр с индуктором.

объем кислорода (один объем кислорода и два объема водорода образуют водяной пар, при конденсации которого получается вода, занимающая ничтожно малый объем; она сливается с водой, наполняющей эвдиометр);

10) приподнять эвдиометр, закрыв нижнее отверстие трубки пальцем, вынуть ее из воды и, перевернув нижним концом вверх, выждать, пока оставшийся газ поднимется к отверстию;

11) испытать газ тонкой тлеющей лучинкой, которую быстро внести, держа строго вертикально, в открытую часть трубки эвдиометра. При указанном выше отношении объемов оставшийся газ — кислород. При разных вариантах опыта возможны и другие комбинации объемов, но соотношение объемов водорода и кислорода, вступивших в соединение, всегда будет равно $2 : 1$ (в весовом отношении округленно $1 : 8$).

При применении для взрыва смеси индуктора нередко бывает, что после включения индуктор работает нормально, однако искра внутри эвдиометра не образуется и взрыва не происходит. Чаще всего это случается с самодельным эвдиометром, верхняя часть которого при наполнении смачивается водой. Электрический разряд проходит по смоченной поверхности трубки, где сопротивление, очевидно, меньше, чем между проволочками внутри эвдиометра. В таких случаях надо выключить индуктор, снять конец одного провода с выходной проволоки эвдиометра, намотать его на стеклянную палочку и, держа ее рукой (не прикасаясь к проводу), подносить провод к разным точкам верхней части эвдиометра при вновь включенном индукторе. Между проводом и верхней частью эвдиометра образуются искры, одна из которых обязательно проскочит внутрь и вызовет взрыв смеси.

Пероксид водорода

ОБЩИЕ СВОЙСТВА ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА

Для опытов в средней школе пользуются обычно 3-процентным (аптечным) раствором пероксида водорода, но в запасе необходимо иметь некоторое количество 30-процентного раствора — пергидроля.

Пероксид водорода следует хранить по возможности в холодном месте в склянке из темного стекла, а светлую склянку обернуть черной бумагой. Склянку для хранения пергидроля реко-

мендуется покрыть изнутри тонким слоем парафина (поверхность стекла каталитически ускоряет разложение пероксида водорода).

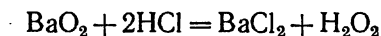
При попадании на кожу пергидроль и более разбавленные растворы H_2O_2 (до 10%) вызывают легкие ожоги в виде белых пятен, при этом чувствуется небольшое жжение, однако ожоги проходят без каких-либо последствий.

При продолжительном хранении пероксид водорода постепенно разлагается, и перед употреблением имеющийся раствор необходимо испытать, прибавляя к нему небольшое количество оксида марганца MnO_2 в пробирке и постепенно разбавляя взятые пробы. Чем более концентрированный раствор, тем более энергично протекает реакция разложения с выделением кислорода (стр. 14).

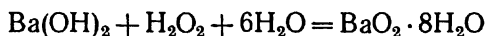
ПОЛУЧЕНИЕ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА

Опыт получения пероксида водорода может быть выполнен для того, чтобы познакомить учащихся с этим методом, для дальнейших же экспериментов удобнее пользоваться 3-процентным или 30-процентным раствором пероксида водорода, который можно разбавить до требуемой концентрации (стр. 13).

Для получения пероксида водорода нужно заранее приготовить гидропероксид бария $\text{BaO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. Для этого пероксид бария, измельченный в порошок, смешивают с небольшим количеством воды и в виде кашицы вносят небольшими порциями в охлажденную до 0°C соляную кислоту (24-процентный раствор разбавляют тремя объемами воды). Кислоту наливают в стеклянный стакан, погруженный в чашку со льдом (лучше охлаждать смесью льда и соли). Пероксид бария прибавляют при помешивании стеклянной палочкой почти до полной нейтрализации кислоты:



Полученный раствор фильтруют и затем к нему прибавляют насыщенный раствор едкого барита до щелочной реакции:



Полученный осадок гидропероксида бария отфильтровывают и сохраняют влажным в закупоренной банке. Пользуясь им, легко получить раствор пероксида водорода. Для этого в стакан с охлажденным на льду (лучше с солью) до 0°C или ниже раствором серной кислоты (1 : 10) вносят небольшими порциями влажный гидропероксид бария почти до полной нейтрализации. После оседания большей части образовавшегося сульфата бария раствор, содержащий 3—5% пероксида водорода, фильтруют.

Можно получить раствор пероксида водорода и непосредственно из пероксида бария. Для этого в стакане готовят раствор серной кислоты (1 : 10). Раствор охлаждают во льду или лучше в смеси снега с солью. Затем 15 г пероксида бария растирают в ступке с 30 мл ледяной воды в однородную кашицу, прибавляют

еще 30 мл воды и полученную полужидкую массу постепенно вливают при постоянном помешивании в охлажденную до 0 °С или еще несколько ниже серную кислоту. Перед вливанием следует бросить непосредственно в кислоту еще кусочек льда, так как повышение температуры при реакции уменьшает выход пероксида водорода. Не прекращая охлаждения, дают осесть образовавшемуся сульфату бария и сливают с осадка прозрачный раствор, содержащий около 3% пероксида водорода.

Обнаружить пероксид водорода даже в очень разбавленных растворах можно с помощью сульфата титанила¹. Если к разбавленному раствору H_2O_2 прилить 1—2 мл раствора $TiOSO_4$, появляется характерное желтое окрашивание. Этим способом можно обнаружить пероксид водорода в воде, образующейся при горении водорода: достаточно сильное пламя водорода направить на кусок льда и поставить под него стакан с несколькими миллилитрами раствора сульфата титанила, от стекающей в стакан жидкости возникает желтое окрашивание.

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА

1) **Разложение пероксида водорода при нагревании.** В колбу на 100—200 мл налить почти доверху 3-процентный раствор пероксида водорода. Закрывать колбу пробкой с изогнутой газоотводной трубкой, конец которой погрузить в ванну с водой (рис. 111). Нагреть колбу и собрать некоторое количество кислорода в небольшой цилиндр (пробирку). Испытать полученный кислород тлеющей лучинкой.

Во время опыта нужно следить за ходом разложения и, если оно пойдет слишком бурно, ослабить пламя горелки.

2) **Каталитическое разложение пероксида водорода** (гл. I, «Кислород», стр. 17).

3) **Окислительные свойства пероксида водорода.** а) *Окисление сульфида свинца.* К налитой в стакан свинцовой соли, например $Pb(NO_3)_2$, прилить немного сероводородной воды (стр. 291). Слив жидкость и слегка промыв осадок сульфида свинца декантацией, прилить к нему 3-процентный раствор пероксида водорода — осадок белеет (PbS окисляется до $PbSO_4$). Опыт иллюстрирует

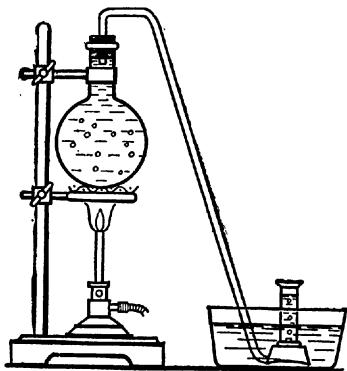


Рис. 111. Разложение пероксида водорода при нагревании.

¹ Сульфат титанила можно приготовить из оксида титана TiO_2 : к 1 г TiO_2 прибавляют 2,5 мл концентрированной серной кислоты, перемешивают и осторожно нагревают под тягой до выделения белого тумана (мельчайшие капли испаряющейся серной кислоты). После охлаждения полученную массу вносят небольшими порциями в 250 мл холодной воды и раствор фильтруют.

применение пероксида водорода для реставрации потемневших картин, выполненных красками, содержащими свинцовые белила.

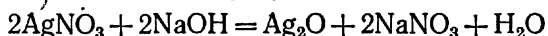
б) *Окисление индиго*. К разбавленному голубому раствору индиго (т. 1, стр. 289) прибавить несколько миллилитров возможно более концентрированного раствора пероксида водорода и кипятить 1—2 мин (до обесцвечивания).

в) *Обесцвечивание волоса*. Прядь темных волос обработать 10-процентным раствором соды для удаления жира и затем поместить в стакан с 3-процентным раствором пероксида водорода так, чтобы часть пряди не была погружена в жидкость. Через несколько часов волосы, погруженные в пероксид водорода, светлеют.

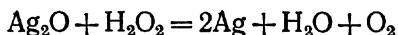
г) *Окисление иодида калия*. В стакане в нескольких миллилитрах воды растворить немного иодида калия, прилить несколько капель серной кислоты (1 : 5), долить почти до полного объема раствора крахмала, прилить немного 3-процентного раствора пероксида водорода и размешать палочкой. Тотчас же появляется синее окрашивание.

Не следует брать слишком концентрированных растворов, так как иначе вместо синего окрашивания получается почти черное.

4) *Восстановительные свойства пероксида водорода*. а) *Восстановление оксида серебра*. К разбавленному раствору (1—2%) нитрата серебра прилить немного раствора едкого натра, образуется коричневый осадок оксида серебра:



К осадку Ag_2O прилить немного 3-процентного раствора пероксида водорода; происходит бурная реакция с выделением кислорода и образованием мелкодисперсного серебра черного цвета:



б) *Взаимодействие пероксида водорода с перманганатом калия* (стр. 12).

5) *Кислотные свойства пероксида водорода*. Пероксид водорода является слабой кислотой, а пероксиды металлов, например BaO_2 , Na_2O_2 и т. д., — соли этой кислоты.

Если прилить к нейтральному раствору лакмуса пероксид водорода, то лакмус краснеет. Если прилить пероксид водорода к раствору гидроксида бария, образуется осадок пероксида бария.

Глава IV

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОТНОШЕНИЯ ПРИ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЯХ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ МАСС, ЭКВИВАЛЕНТОВ, АТОМНЫХ МАСС

1) **Определение молекулярной массы углекислого газа.** В приведенном ниже описании опыт не может дать очень точных количественных результатов, но покажет учащимся метод определения молекулярной массы по плотности газа. Для нахождения молекулярной массы сначала определяют его плотность по воздуху (d_a) или по водороду (d_h). Найденные величины умножают соответственно на 29 ($m = 29d_a$) или на 2,016 ($m = 2,016d_h$).

Для опыта нужен прибор (Киппа, Сен-Клер-Девилья и т. п.) для получения углекислого газа (т. I, стр. 263). Газ осушают серной кислотой или хлоридом кальция (т. I, стр. 270).

Взвешивание газа производится на химико-технических весах в колбе на 500 мл (чем больше колба, тем лучше, но размер ее зависит от размеров весов). К колбе подбирают хорошую резиновую пробку.

П о р я д о к р а б о т ы: 1) взвесить колбу с воздухом; 2) наполнить колбу углекислым газом; 3) взвесить колбу с углекислым газом; 4) измерить объем колбы; 5) вычислить массу углекислого газа; 6) вычислить плотность углекислого газа по воздуху или по водороду; 7) вычислить молекулярную массу углекислого газа.

В ы п о л н е н и е. Взвесить колбу с пробкой. Записать результат. Опустить до дна колбы трубку от прибора для получения углекислого газа и пропускать осушенный газ 4 мин (по часам или считать про себя до 300). Не прекращая тока газа, вынуть трубку из колбы, (не очень быстро) и сейчас же закрыть колбу пробкой. Взвесить колбу с углекислым газом и записать результат.

Повторить пропускание газа в течение 2—3 мин. Еще раз взвесить колбу. Если масса окажется прежней, продолжать работу, если же больше — повторять пропускание газа и взвешивание до получения постоянной массы, которую записать и использовать при вычислениях.

Измерить температуру воздуха в помещении (показание термометра) и давление (по барометру) и записать результаты.

Измерить объем колбы. Для этого наполнить колбу водой до уровня слегка вставленной пробки и вылить воду в измерительный цилиндр (мензурку) или выливать из него воду в колбу, давая каждый раз стечь со стенок всей жидкости. Чтобы вода хорошо стекала, цилиндр (мензурка) должен быть хорошо вымыт.

Можно также наполнить колбу водой до уровня вставленной пробки, закрыть пробкой, взвесить, по разности в массе колбы с водой и с воздухом (вместе с пробкой) найти массу воды и, приняв (приблизительно, без поправки на температуру) массу 1 мл воды равной 1 г, считать объем колбы (в миллилитрах) численно равным массе находящейся в ней воды (в граммах).

Первое взвешивание дает массу колбы (с пробкой) вместе с массой наполняющего ее при данных условиях воздуха. Для дальнейшего надо знать массу колбы без воздуха (только массу стекла и пробки). Так как масса 1 мл сухого воздуха при нормальных условиях равна 0,0012935 г, нужно рассчитать, какой объем занял бы при этих условиях воздух (равно как и любой другой газ), заключенный в колбе (приведение объема газа к нормальным условиям). Это можно вычислить по известному уравнению, объединяющему газовые законы Бойля — Мариотта и Гей-Люссака:

$$V_0 = \frac{p \cdot V \cdot T_0}{p_0 \cdot T}, \text{ или } V_0 = \frac{p \cdot V \cdot 273}{760 (273 + t)},$$

где V_0 — объем газа в миллилитрах (при н. у.), p — наружное давление в миллиметрах ртутного столба, t — температура в помещении в градусах Цельсия (стр. 116).

По найденному значению V_0 и массе 1 мл воздуха (при н. у.) легко найти массу воздуха, заключенного в колбе, и по разности вычислить массу стекла колбы (с пробкой). Соответственно по разности в массах колбы с углекислым газом (с пробкой) и стекла колбы вычисляется масса углекислого газа. Так как объемы воздуха и углекислого газа одинаковы, то, разделив массу CO_2 на массу воздуха, получим значение плотности CO_2 по воздуху:

$$d_{\text{в}} = \frac{m_{\text{CO}_2}}{m_{\text{в}}},$$

равное 1,52 или близкое к этой величине (с учетом возможной ошибки опыта). Отсюда молекулярная масса углекислого газа будет равна:

$$M_{\text{CO}_2} = 29 d_{\text{в}}$$

— число, близкое к 44. Точно так же вычисляют молекулярную массу CO_2 по его плотности по водороду. Для этого нужно вычислить массу объема водорода, равного объему воздуха при нормальных условиях, зная, что масса одного литра водорода при этих условиях равна 0,08987 г. Соответственно

$$d_{\text{H}_2} = \frac{m_{\text{CO}_2}}{m_{\text{H}_2}},$$

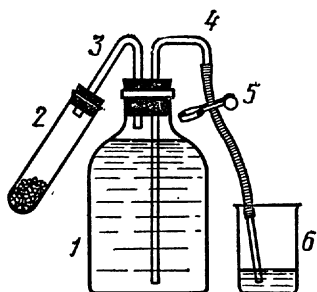


Рис. 112. Прибор для определения объема и массы кислорода, полученного при нагревании бертолетовой соли:

1 — склянка; 2 — пробирка; 3 — газоподводящая трубка; 4 — сифонная трубка; 5 — зажим; 6 — стакан.

— число, равное 22 или близкое к нему по данным опыта. Отсюда

$$M_{\text{CO}_2} = 2,016 d_{\text{H}_2}$$

По найденной массе углекислого газа и его объему (при н. у.) можно вычислить молекулярную массу, исходя из соотношения:

m г CO_2 занимают объем V

M CO_2 " " 22 400 мл

$$M = \frac{[22\,400 \text{ мл} \cdot m]}{V_0}$$

Значение M соответствует одному молю CO_2 (44 г). Таким же вычислением могут быть найдены значения молекулярной массы водорода и число 29 для воздуха (масса 22,4 л воздуха в граммах при нормальных условиях).

Для экспериментального определения молекулярной массы газа данным способом можно использовать также кислород, собранный предварительно в большой газометр.

2) **Определение массы известного объема газообразного кислорода и процентного содержания его в бертолетовой соли.** Количественный опыт можно выполнить пользуясь прибором, изображенным на рисунке 112. Склянку 1 (колбу) объемом 1—1,5 л с хорошей резиновой пробкой и проходящими через пробку двумя трубками (одной — сифонной трубкой 4 с зажимом 5, опущенной концом в большой стакан 6, и второй — газоподводящей 3 с надетой на пробку пробиркой 2) наполняют почти доверху водой, имеющей комнатную температуру. Сифонная трубка 4 должна быть также наполнена водой. Для этого снимают с пробки пробирку 2 и, открыв зажим 5, слегка вдвывают ртом воздух через трубку 3 в склянку, при этом вода поднимается по трубке 4, вытесняет из нее воздух и выливается в стакан 6. В трубке 4 не должно оставаться пузырьков воздуха. Убедившись в последнем, закрывают зажим 5, плотно надевают пробирку 2 на пробку газоподводящей трубки 3 и полностью выливают вытесненную в стакан при вдвигании воздуха воду (не более 50 мл). Если прибор герметичен (хорошо «держит»), то при открытом зажиме 5 вода не должна более переливаться из склянки в стакан. Закрыв зажим, снимают с пробки пробирку 2, хорошо вытирают ее снаружи фильтровальной бумагой от случайной влаги (внутри пробирка должна быть чистой и сухой) и тщательно тарируют ее на химико-технических весах (массу пробирки можно не определять, но уравновешена она должна быть точно, для чего не обязательно использовать разновески, см. т. I, стр. 85).

В тарированную пробирку вносят около 0,9—1,0 г сухой (выдержать в эксикаторе 2—3 суток) мелкокристаллической бертолетовой соли¹ и, оставив тару на весах, определяют массу взятой соли тщательным взвешиванием² с точностью до 0,01—0,005 г. После этого прибавляют в пробирку с бертолетовой солью приблизительно такое же количество оксида марганца MnO_2 . Осторожно, постукивая по пробирке пальцем, перемешивают порошки и вновь взвешивают пробирку со взятыми веществами с указанной выше точностью. Взвешенную пробирку с веществами плотно надевают на пробку трубки 3 и еще раз убеждаются в герметичности прибора (при открытом зажиме 5 вода из склянки не должна выливаться по сифонной трубке 4 в стакан). После этого в стакан 6 наливают около 100 мл воды и, подняв стакан так, чтобы уровни воды в нем и в склянке оказались на одной высоте, приоткрывают зажим 5. Это делается для приведения давления воздуха в склянке и пробирке к наружному давлению. В зависимости от разности давлений небольшой объем воды может перелиться из склянки в стакан или обратно. Установив совпадение уровней при открытом зажиме, закрывают его и объем находящейся в стакане воды точно измеряют³. Только после этой подготовки прибора выполняют опыт.

Открыв зажим, осторожно нагревают смесь бертолетовой соли и оксида марганца MnO_2 в пробирке 2, не допуская слишком бурного разложения, чтобы током газа не были захвачены пылинки твердых веществ. Выделяющийся кислород вытесняет равный ему объем воды из склянки 1 в стакан 6. Под конец нагревание усиливают и, убедившись, что реакция дошла до конца (уровень воды в стакане не повышается), оставляют прибор для охлаждения до комнатной температуры. По достижении последней устанавливают уровни воды в стакане и в склянке на одной высоте (при открытом зажиме) и в этом положении закрывают зажим. Измеряют объем воды в стакане и по разности с ранее налитым объемом определяют объем вылившейся воды, равный объему кислорода.

Взвешивают пробирку с оставшимися в ней твердыми веществами и по разности с предыдущим взвешиванием находят массу выделившегося кислорода. Объем кислорода приводят к нормальным условиям:

$$V_0 = \frac{(p-h) \cdot V \cdot T_0}{p_0 \cdot T}$$

¹ Такая навеска бертолетовой соли дает при разложении около 270 мл кислорода.

² Конечно, можно сначала взвесить пустую пробирку, потом пробирку со взятой солью и определить массу навески по разности, но в этом нет необходимости, так как масса пробирки остается постоянной и при вычислениях не имеет значения.

³ Для удобства последующих вычислений можно при этом довести объем воды в стакане до какого-нибудь округленного значения, например ровно 100 или 120 мл и т. п.

От аналогичного уравнения, приведенного на странице 113, это уравнение отличается введенной в него величиной h , показывающей давление (упругость) водяных паров при данной температуре. Поскольку газ в условиях опыта находился над водой, из величины давления, отсчитанного по барометру, надо вычесть давление водяных паров. Значения h (в мм рт. ст.) для разных температур приведены в таблице:

t	h	t	h	t	h
8	8	16	13,6	24	22,4
9	8,6	17	14,5	25	23,8
10	9,2	18	15,5	26	25,2
11	9,8	19	16,5	27	26,7
12	10,5	20	17,5	28	28,3
13	11,2	21	18,5	29	30,0
14	12,0	22	19,5	30	31,8
15	12,8	23	21,1	31	33,7

Зная массу кислорода и объем его при нормальных условиях, вычисляют (как указано на стр. 113):

- 1) массу 1 л кислорода (при н. у.);
- 2) массу 22,4 л, соответствующую массе одного моля;
- 3) плотность кислорода по водороду и по воздуху;
- 4) молекулярную массу кислорода по его плотности по водороду и по воздуху.

По массе, взятой для опыта бертолетовой соли, и массе выделившегося кислорода находят процентное содержание кислорода и бертолетовой соли:

$$n = \frac{100 \cdot a}{b},$$

где n — процентное содержание кислорода, a — масса кислорода, b — масса бертолетовой соли. Полученный результат сравнивают с вычисленным по формуле KClO_3 . (Об определении молекулярных масс веществ в растворах см. стр. 191.)

Определение химических эквивалентов

Для опытов по определению эквивалентов металлов по водороду обычно берут цинк или магний. Определенную навеску металла обрабатывают разбавленной 1 : 1 соляной кислотой. Объем выделившегося при этом водорода измеряют, вычисляют его массу¹ и, разделив массу металла на массу водорода, находят, какое количество металла вытеснит при взаимодействии с кислотой одну

¹ Массу данного объема водорода рассчитывают, исходя из массы 1 мл водорода, равной 0,00008987 г, или из объема 2 моля водорода, равного 22,4 л.

часть водорода по массе; это и будет эквивалент металла. Можно не вычислять массу водорода, а вести расчет на количество металла, которое может вытеснить при взаимодействии с кислотой 11,2 л водорода в пересчете на нормальные условия. В том и другом случае объем собранного водорода необходимо привести к нормальным условиям с учетом давления водяных паров (стр. 115).

Для определения объема водорода можно собирать его в измерительный цилиндр, бюретку или вытеснять выделяющимся газом воду и измерять ее объем, как при определении молекулярной массы кислорода (стр. 114).

Цинк для опыта должен быть возможно чистый в виде тонкой пластинки. Магний берется в виде ленты. Поверхность металла предварительно хорошо очищают наждачной бумагой и протирают фильтровальной бумагой. Взвешивание производят на аналитических или химико-технических весах. Величина навески зависит от размера измерительного сосуда, в который собирают газ или вытесняемую им воду, и определяют ее предварительным расчетом. Если, например, газ собирают в бюретку на 50 мл, то объем его может быть около 40 мл. Моль цинка (65 г) вытесняет 22,4 л водорода.

Отсюда

$$\begin{array}{rcl} 65 \text{ г Zn} & \text{вытесняют} & 22400 \text{ мл H}_2 \\ x \text{ г Zn} & \text{,,} & 40 \text{ мл H}_2 \end{array}$$

Следовательно, навеска для цинка равна приблизительно 0,11 г.

Для магния навеска будет около 0,04 г.

Предварительными опытами определяют, какой длины должна быть ленточка магния, чтобы масса ее была около 0,04 г. Ножницами нарезают кусочки нужной длины¹. Если при предварительном взвешивании масса окажется больше рассчитанной, избыток ленты обрезают.

Цинк также лучше заготовить в виде длинных ровных полосок, от которых и отрезать кусочки найденной предварительными опытами длины.

1) Определение химического эквивалента металла с собиранием водорода в измерительную трубку или бюретку. Объем вытесняемого из кислоты водорода измеряется при помощи измерительной трубки или обычной бюретки на 50 мл. Так как деления бюретки идут не до самого конца, в бюретку выше делений впускают воздух при атмосферном давлении, для чего бюретку погружают в глубокий сосуд (цилиндр, банку и т. п.) с водой (рис. 113) при открытом зажиме (кране) до последнего целого деления и, убедившись в одинаковой высоте уровней воды внутри и снаружи, закрывают зажим (кран), приподнимают бюретку, закрывают отверстие ее пальцем и переносят в чашку (ванну) с водой. Неудобство обычной бюретки

¹ За неимением ленты магния можно взять стружку, но предварительная заготовка навесок будет затруднена, так как стружка имеет разную толщину.

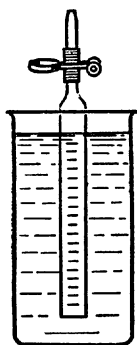


Рис. 113. Установление уровня воды в бюретке.

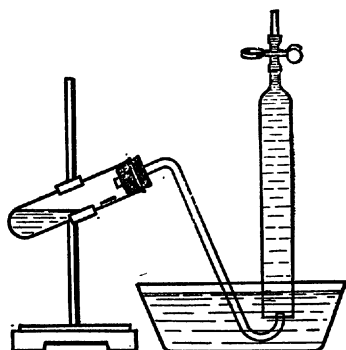


Рис. 114. Определение химического эквивалента магния (I).

заключается еще и в том, что отсчет приходится делать по перевернутым цифрам и найденную величину вычитать из 50.

При опыте в бюретку собирается не чистый водород, а и вытесняемый из прибора воздух, но так как все газы при одинаковых условиях занимают одинаковые объемы, то объем вытесненного воздуха равен объему выделившегося водорода.

В простейшем варианте опыта (рис. 114) собирают прибор, состоящий из пробирки и изогнутой трубки, и испытывают на герметичность (т. I, стр. 253). В пробирку осторожно, смачивая внутреннюю стенку только с одной стороны (лучше воспользоваться длинной оттянутой воронкой, см. т. I, стр. 122), наливают разбавленную соляную кислоту не более чем на $\frac{1}{3}$ объема. Держа пробирку наклонно, вносят в нее точно взвешенный в соответствии с предварительным расчетом кусочек ленты магния (не более 0,04 г) или цинка (не более 0,11 г, иначе бюретки может не хватить для измерения объема водорода). Металл не должен соприкасаться с кислотой; помещать его нужно на не смоченную кислотой часть стенки, а чтобы кусочек случайно не соскользнул в кислоту, на сухую стенку можно лучинкой нанести каплю воды. После этого закрывают пробирку пробкой с газоотводной трубкой, подводят конец ее под газоизмерительную трубку или бюретку, подготовленную, как описано на странице 117, и укрепленную в штативе. Покачивая пробирку, стряхивают металл в кислоту и собирают газ. Пробирку следует держать за пробку, стараясь не согревать ее теплотой руки.

Когда выделение газа совершенно прекратится, вынуть трубку из-под бюретки, а бюретку, закрыв отверстие ее под водой пальцем, перенести опять в глубокий сосуд с водой. Установив уровень воды в бюретке и в сосуде на одной высоте, отсчитать объем собранного водорода. Бюретку не согревать теплотой руки, зажим (кран) не открывать.

Записать давление и температуру помещения. Привести объем водорода к нормальным условиям по формуле, приведенной на странице 115. Вычислить массу собранного водорода (см. сноску на стр. 116). Рассчитать, какое количество цинка (магния) вытесняет 1 г (11, 2 л при н. у.) водорода, т. е. вычислить химический эквивалент металла.

Для данного опыта пробирка может быть заменена колбой или банкой, в которую вставлена пробирка с кислотой и помещена навеска металла, как на рисунке 115. При наклонении банки кислота выливается, а между металлом и кислотой начинается реакция. Вместо бюретки можно воспользоваться измерительным цилиндром. Чтобы цилиндр с водой можно было опрокинуть в ванну, не впустив в него воздуха, носик закрывают размягченным воском, пластилином, менделеевской замазкой или сургучом. Наполненный водой цилиндр прикрывают бумажкой, вместе с которой опрокидывают его в ванну. Точность измерения в цилиндре, конечно, меньше, чем в бюретке. Прибор, изображенный на рисунке 115, удобно использовать в том случае, если нет металла в пластинках, а есть только опилки или мелкие стружки.

Один из самых удобных приборов для определения эквивалентов металлов изображен на рисунке 116. Он состоит из пробирки, бюретки на 50 мл и большой воронки диаметром около 9 см. Пробирка соединена с бюреткой резиновой трубкой такой длины, чтобы пробирке легко было придать вертикальное положение. Резиновая трубка, соединяющая бюретку с воронкой, должна быть такой длины, чтобы уровень воды в воронке можно было установить против нулевого деления бюретки. Пробки должны хорошо держать (нужно взять резиновые). Весь прибор устанавливают на штативе, пробирку и бюретку укрепляют в зажимах, воронку — в зажиме или в кольце.

Преимущества прибора заключаются в том, что в нем газ легко приводится к атмосферному давлению путем установления уровней воды в бюретке и в воронке на одной высоте и отсчет объема газа производится при нормальном положении бюретки, а не перевернутом, как в первых двух вариантах.

Последовательность операций при проведении

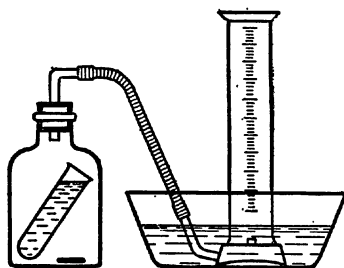


Рис. 115. Определение химического эквивалента магния (2).

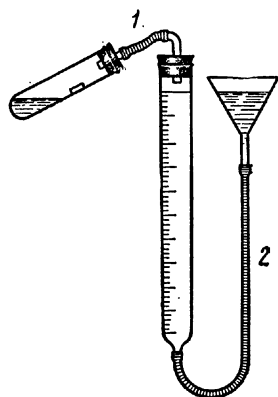


Рис. 116. Определение химического эквивалента магния (3).

опыта: 1) держа пробирку вертикально, налить в нее через воронку около $\frac{1}{3}$ ее объема раствор кислоты. Стенки пробирки должны быть сухие (в случае необходимости вытереть фильтровальной бумагой); 2) установить пробирку в штативе с небольшим наклоном в сторону дна;

3) отвесить на аналитических или химико-технических весах с точностью до 0,001 г около 0,1 г цинка или 0,04 г магния. Поместить металл в пробирку, как показано на рисунке 116;

4) не вставляя пробки в пробирку, налить в воронку столько воды, чтобы уровень ее в бюретке был на нулевом делении (положение воронки показано на рис. 116);

5) закрыть пробирку пробкой с газоотводной трубкой 1;

6) наклонить пробирку так, чтобы металл упал в кислоту, следить за поступлением газа в бюретку и по мере понижения уровня воды в ней опускать воронку, чтобы не создавать в бюретке и пробирке избыточного давления;

7) по окончании реакции установить воронку на такой высоте, чтобы вода в бюретке и в воронке была на одном уровне (газ в приборе должен находиться при атмосферном давлении). Деление бюретки, против которого установится уровень воды, будет соответствовать объему выделившегося при реакции водорода при атмосферном давлении и при температуре помещения.

Произвести расчеты, как указано на странице 116, и найти химический эквивалент взятого металла.

2) **Определение химического эквивалента металла при вытеснении выделяющимся при реакции водородом равного объема воды.** Опыт производят так же, как и при определении объема кислорода вытеснением воды (стр. 114), только вместо пробирки с бертолевой солью и оксидом марганца MnO_2 к склянке присоединяют большую пробирку или колбу объемом 50—100 мл с соляной кислотой и навеской магния (цинка). Навеска металла может быть в несколько раз больше (соответственно потребуется и больший объем кислоты), а объем склянки с водой может быть меньше (следует рассчитывать на вытеснение 100—150 мл воды, при меньших объемах в такой постановке возрастает ошибка опыта). Вариант прибора показан на рисунке 117. Вытесняемая вода вытекает в стакан (как на рис. 112) или непосредственно в измерительный цилиндр. Все расчеты производятся, как указано на странице 116.

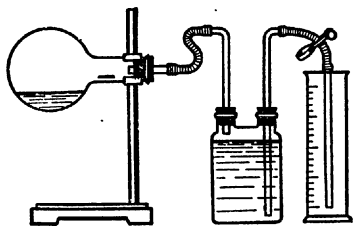


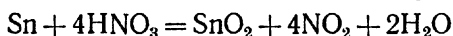
Рис. 117. Определение химического эквивалента магния (4).

3) **Определение химического эквивалента меди по кислороду.** Опыт оформляется так же, как при окислении меди в струе кислорода (стр. 25), но со взвешиванием.

Сухую чистую пробирку (вымывать раствором соды, хорошо промыть водой, сполоснуть дистиллированной водой и высушить горячим воздухом

или в сушильном шкафу, см. т. I, стр. 202) взвесить на химико-технических весах с точностью до 0,01 г. Поместить в пробирку около 2 г порошка меди, восстановленного из оксида меди CuO водородом (стр. 80), или мелко нарезанных кусочков хорошо очищенной тонкой медной проволоки (от электрических проводов). Взвесить пробирку с медью. По разности найти точную массу взятой меди. Окислить медь в струе кислорода при нагревании. По охлаждении в струе кислорода взвесить пробирку с полученным оксидом меди (II). Вновь нагреть пробирку с веществом в струе кислорода, охладить и снова взвесить. Если масса пробирки с веществом не увеличилась, значит, медь окислена полностью. По разности в массе пустой пробирки и той же пробирки с оксидом меди найти массу последнего. По разности в массе оксида CuO и меди найти массу присоединившегося кислорода. Рассчитать, сколько меди приходится на 8 мас. ч. кислорода (химический эквивалент меди с окислительным числом 2). (См. также определение формулы оксида меди CuO на стр. 123.)

4) Определение химического эквивалента олова по кислороду. Для опыта можно взять мелко нарезанные ножом кусочки (стружку) олова. При действии азотной кислоты олово превращается в оксид (IV):



На сильном огне прокаливают чистый фарфоровый тигель с крышкой, дают ему остыть и взвешивают на аналитических или химико-технических весах с точностью до 0,001 г. В тигель всыпают около 1 г очень мелко нарезанного олова и взвешивают. По разности находят массу взятого олова.

Под тягой смачивают олово водой и затем приливают концентрированную азотную кислоту (плотность 1,2—1,4). Происходит реакция с выделением бурого оксида азота NO_2 (ядовитый газ) и образованием оксида олова SnO_2 . Если через некоторое время реакция не начнется, нужно прикрыть тигель часовым стеклом и слегка подогреть. По окончании реакции смыть водой белый налет с часового стекла в тигель.

Поместить тигель в треугольнике на кольцо штатива и осторожным нагреванием (*под тягой!*), избегая кипения и разбрызгивания, удалить всю жидкость, так чтобы в тигле остался только сухой порошок оксида олова (IV). После этого прокалить тигель на сильном огне в течение 15 мин. Затем прикрыть тигель (чтобы предохранить порошок от влаги воздуха) крышкой, с которой его взвешивали, и оставить охлаждаться.

Остывший тигель взвесить на точных весах. Разность в массе тигля с оловом и с полученным оксидом олова дает массу кислорода в оксиде SnO_2 . Отсюда можно найти химический эквивалент олова, т. е. количество олова, соединившегося с 8 мас. ч. кислорода.

5) Определение химического эквивалента свинца по цинку. Для опыта нужно приготовить раствор ацетата свинца концентрации 0,4%. На 250 мл раствора прибавить несколько капель 30-процент-

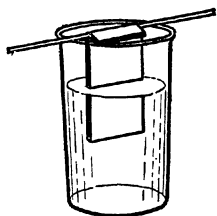


Рис. 118. Определение химического эквивалента свинца по цинку.

ного раствора уксусной кислоты, чтобы не выпадала основная соль. В стакан с раствором опустить до половины хорошо вычищенную, взвешенную на точных весах цинковую пластинку размером 5×10 см и оставить на 2—3 дня (рис. 118). После этого осторожно снять с цинковой пластинки пальцами весь выделившийся свинец и скатать его в комок. Отжать комок свинца между листами фильтровальной бумаги сначала рукой, а затем, взяв в несколько раз сложенную свежую бумагу, молотком на утюге, чтобы удалить из комка весь раствор. Вымыть и тщательно высушить фильтровальной бумагой цинк. Взвесить свинец и цинк. Рассчитать химический эквивалент свинца по цинку, считая эквивалент цинка равным 32,7 г.

Опыт дает химический эквивалент с точностью до 1.

Определение атомной массы олова или свинца. Приблизительное значение массы можно найти по величине теплоемкости и химического эквивалента металла.

По правилу Дюлонга и Пти произведение атомной массы A на удельную теплоемкость металла c есть величина приблизительно постоянная и составляет около 6,4:

$$A \cdot c = 6,4$$

Отсюда атомная масса:

$$A = \frac{6,4}{c}$$

Получают приблизительное значение атомной массы металла. Чтобы определить точную величину атомной массы, приблизительное ее значение делят на эквивалент. Полученное число округляют до целого и затем на это целое число (валентность) умножают эквивалент. Произведение есть точная атомная масса элемента.

Опыты по определению удельной теплоемкости металлов рассматриваются в учебниках и пособиях по физике.

ОБЪЕМНЫЕ ОТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ГАЗАМИ ПРИ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЯХ

(См. опыты по синтезу воды в эвдиометре и разложению воды электрическим током, стр. 105 и 108.)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ФОРМУЛ

1) Вывод формулы молекулы воды. На основе опытных данных об объемных отношениях между водородом и кислородом при разложении и синтезе воды (стр. 105 и 108) формула молекулы выводится при переходе от объемных отношений к отношениям по массе:

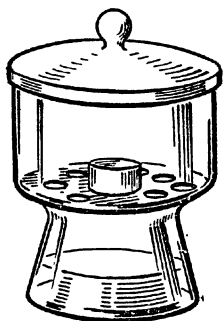


Рис. 119. Эксикатор.

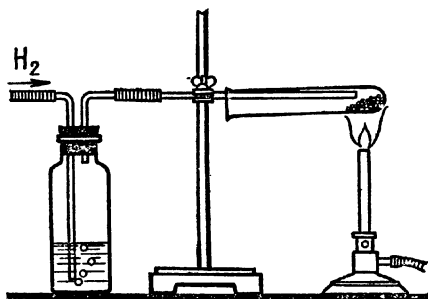


Рис. 120. Восстановление оксида металла водородом.

если исходный объем кислорода принять равным 1 л, то водорода для образования воды потребуется на данный объем 2 л. Масса 1 л водорода при нормальных условиях составляет 0,08987 г (округленно — 0,09 г), масса 1 л кислорода при тех же условиях 1,43 г, тогда

$$(2 \cdot 0,09) : 1,43$$

$$1 : 8^1$$

$$2 : 16$$

2) Определение формул оксидов меди и свинца. Формулы оксидов меди (I) и (II) можно вывести на основании количественных данных опыта восстановления их водородом. В школьных условиях нет необходимости проводить восстановление в фарфоровых лодочках и т. п., опыт в пробирках дает вполне удовлетворительные результаты. Для удобства и упрощения количественных расчетов оксида меди (II) нужно взять 1 г, оксида меди (I) — 1,8 г. Перед началом опыта пробирку (предварительно вымыть ее раствором соды и водой, высушить и поместить в эксикаторе, рис. 119) тарируют на химико-технических весах (можно выполнить опыт и на аптекарских чашечных весах, т. I, стр. 80) и помещают в нее чуть больше 1 г прокаленного оксида меди (II). Отсыпая порошок оксида небольшими порциями, добиваются, чтобы масса его в пробирке была равна 1 г (разновеску в 1 г помещают на левую чашку весов вместе с грузом для тарирования пробирки). Пробирку с 1 г оксида меди (II) надевают на газоотводную трубку прибора, как показано на рисунке 120.

Водород, поступающий из аппарата Киппа или другого прибора, промывают для освобождения от примесей (AsH_3 и особенно H_2S), пропуская его через щелочной раствор перманганата калия.

¹ При расчете получается 7,944, округленно — 8.

В осушке газа нет необходимости, так как продуктом реакции является вода. Убедившись, что воздух из прибора вытеснен водородом (*испытание!*), нагревают оксид меди, предварительно слегка прогрев всю пробирку (стр. 79). Когда реакция будет закончена, осторожно нагревают пробирку до полного удаления воды со стенок, не допуская вскипания водорода у отверстия пробирки. После этого охлаждают полученный порошок меди, не прекращая тока водорода, и помещают пробирку с медью на правую чашку весов. За счет убыли кислорода равновесие будет нарушено и восстанавливается, если на эту же чашку весов поместить разновеску в 0,2 г. Следовательно, количественное отношение меди и кислорода в оксиде меди (II) будет 0,8 : 2, или 8 : 2, или 64 : 16, т. е. формула оксида меди (II) CuO .

Точно так же производят опыт с оксидом меди (I)¹, но берут его 1,8 г. Убыль в массе будет также 0,2 г. Следовательно, количественное отношение меди и кислорода в оксиде меди (I) будет 1,6 : 0,2, или 16 : 2, или 8 : 1, или 128 : 16, т. е. формула оксида меди (I) Cu_2O .

Сравнивая количественные отношения меди и кислорода в оксидах меди (I и II) из отношений 4 : 1 и 8 : 1, находят 4 : 8, или 1 : 2. Это подтверждает, что атомы при образовании химических соединений не дробятся, а соединяются как целые частицы.

Аналогично проводят опыты с оксидами свинца (их также нужно хорошо высушить в эксикаторе). Цифровые величины в этих случаях менее удобны для расчетов. Так, чтобы получить убыль в массе за счет 0,2 г кислорода, нужно взять оксида свинца (II) приблизительно 2,8 г (точнее, 2,79 г), а оксида свинца (IV) около 1,5 г (точнее, 1,49 г). Можно, конечно, брать произвольные количества исходных оксидов в указанных пределах и вести точное взвешивание². Расчеты приводят к формулам оксидов PbO и PbO_2 и к выводам, подтверждающим целочисленные отношения атомов в сложных веществах.

Формулу оксида меди (II) можно вывести также из данных опыта по определению эквивалента меди при прокаливании ее в кислороде (стр. 120). Если из данных опыта рассчитать количество меди, которое соединилось не с 8, как для расчета эквивалента, а с 16 мас. ч. кислорода, то это даст число 64, т. е. величину, соответствующую массе одного атома меди (в у. е.), что приводит к формуле CuO . Можно заранее отвесить 0,8 г меди (или другое произвольное количество), прокалить ее в струе кислорода, после чего определить увеличение массы и произвести соответствующий расчет (стр. 121).

¹ Оксид меди (I) следует до опыта хорошо высушить в эксикаторе над концентрированной серной кислотой или хлоридом кальция. Прокаливать его, как оксид меди (II), нельзя, так как он может при этом окислиться.

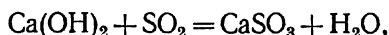
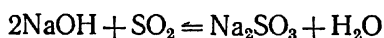
² После того как произошло восстановление, нужно избегать нагревания полученного в пробирке свинца, так как последний при длительном нагревании немного испаряется, что увеличивает ошибку опыта.

3) Установление формулы соединения меди с серой. Для опыта требуется чистая медь в виде тонкой проволоки и чистая кристаллическая сера. Взвешивание нужно производить на точных весах. Медную проволоку необходимо хорошо вычистить наждачной бумагой, протереть фильтровальной бумагой, отрезать кусок около 0,2 г и точно взвесить. Перед опытом на точных весах взвешивают небольшой чистый тигель и помещают в него около 3 г чистой кристаллической серы (прикинуть на грубых весах). Тигель помещают в вытяжном шкафу на кольцо штатива и, закрыв крышкой, нагревают до тех пор, пока из-под крышки покажется пламя горящих паров серы. Приподняв крышку тигля щипцами, бросают в него свернутый колечком взвешенный кусок медной проволоки, сразу же закрывают тигель крышкой и продолжают нагревание. Когда горение серы прекратится, гасят горелку, дают тиглю остыть и взвешивают его (без крышки) на точных весах.

Зная массы меди и полученного соединения меди с серой, а также атомные массы меди и серы, выводят химическую формулу соединения — Cu_2S .

В вариантах опыта можно взять другие количества серы (35,4 г) и меди (0,3—0,4 г), и во всех случаях получается соединение, имеющее формулу Cu_2S , что подтверждает постоянство состава веществ.

4) Установление формулы оксида серы (сернистого газа). В токе чистого и сухого кислорода сжигают серу. Образующийся сернистый газ поглощается во взвешенных U-образных трубках высотой около 12 см, содержащих в одной половине натронную известь, в другой — хлорид кальция. При реакции между оксидом серы и смесью едкого натра и извести (натронная известь) образуется вода:



которая поглощается хлоридом кальция. Для полноты поглощения берут две последовательно соединенные трубки, в которых натронная известь и хлорид кальция разделены комком ваты, положенной на дно (рис. 121). Все пробки в приборе резиновые.

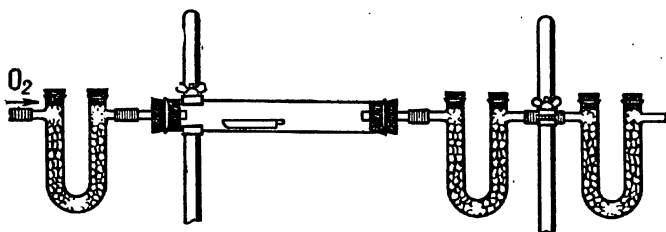


Рис. 121. Прибор для сжигания серы с поглощением оксида серы SO_2 .

Взвешивание серы и поглотительных трубок производится на аналитических или химико-технических весах. До опыта и во время взвешивания отводные концы U-образных трубок должны быть закрыты резиновыми колпачками. Серу сжигают в фарфоровой лодочке (т. I, стр. 352), которую помещают в широкую стеклянную трубку длиной около 20 см, чтобы расстояние от концов лодочки до пробок было со стороны поступления кислорода не менее 5 см, а с другой стороны — не менее 7 см. Кислород подают в трубку из газометра или заменяющего его самодельного прибора (т. I, стр. 277). Поступающий в трубку кислород должен быть освобожден от следов углекислого газа и водяных паров. Для этого его пропускают через U-образную трубку с натронной известью и хлоридом кальция, присоединенную к другому концу трубки с лодочкой (рис. 121). Эту U-образную трубку не взвешивают.

П о р я д о к п р о в е д е н и я о п ы т а: 1) собрать прибор по рисунку 121 и испытать, держит ли он: при закрытом колпачком отводном конце последней U-образной трубки и при открытых кранах присоединенного к прибору газометра с кислородом уровень воды в воронке газометра не должен понижаться;

2) сняв колпачок с отводного конца последней U-образной трубки, пропускать через прибор медленный ток кислорода, слегка прогревая трубку с лодочкой, до тех пор, пока тлеющая лучинка, поднесенная к отводному концу этой U-образной трубки, вспыхнет, что свидетельствует о полном вытеснении воздуха из U-образных трубок;

3) отнять поглотительные U-образные трубки от прибора, разъединить их и сейчас же закрыть концы заранее приготовленными колпачками из куска резиновой трубки, закрытой с другого конца стеклянной палочкой. Колпачки должны быть помечены, чтобы их потом не перепутать;

4) взвесить поглотительные трубки (каждую в отдельности) и записать результат;

5) насыпать в фарфоровую лодочку около 0,5 г серы в порошке и взвесить на точных весах. Записать результат;

6) поместить лодочку в трубку, как на рисунке 121, и присоединить поглотительные трубки. Снятые с концов трубок колпачки положить на бумажку с надписями (1-я трубка, 2-я трубка), чтобы не перепутать;

7) пропускать через прибор небыстрый ток кислорода, пока из прибора будет вытеснен весь воздух, т. е. пока поднесенная к концу последней трубки тлеющая лучинка начнет вспыхивать (не следует забывать, что вначале из поглотительных трубок будет выделяться кислород, оставшийся в них после испытания);

8) осторожно прогреть трубку с лодочкой и затем сильнее нагревать тот участок, где находится лодочка, пока сера вспыхнет (сера не должна возгораться в трубке). Урегулировать ток кислорода так, чтобы пламя горящей серы не было слишком близко к пробке. Вообще, ток кислорода должен быть возможно медлен-

ный, чтобы весь сернистый газ нацело успел задержаться в поглотительных трубках¹;

9) когда горение серы прекратится, несколько ослабить ток кислорода и дать трубке с лодочкой остыть. Когда трубка не будет казаться теплой на ощупь, остановить ток газа, разделить поглотительные трубки и сейчас же закрыть их концы колпачками;

10) взвесить поглотительные трубки, записать результат. Если опыт производился правильно, вторая трубка будет весить столько же, сколько до опыта, или немного больше. По разности найти массу поглощенного сернистого газа;

11) взвесить лодочку и по разности найти массу сгоревшей серы;

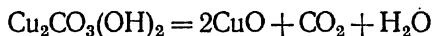
12) по разности в массах поглощенного сернистого газа и сгоревшей серы найти массу затраченного на сгорание серы кислорода;

13) на основании полученных данных вывести формулу сернистого газа (оксида серы SO_2), зная, что атомная масса кислорода равна 16, а серы — 32.

По окончании опыта прибор разобрать. Первую (невзвешиваемую) и последнюю U-образные трубки сохранить в закрытом состоянии (надеть колпачки) для последующих опытов (каждую трубку пометить, чтобы не перепутать).

РАСЧЕТЫ ПО УРАВНЕНИЯМ РЕАКЦИЙ

1) Разложение основного карбоната меди со взвешиванием. При нагревании основного карбоната меди протекает реакция разложения:



Если нагревать заранее взвешенное количество основного карбоната, то можно определить выход оксида меди. Для этого взвешивают на химико-технических весах прокаленный и охлажденный в эксикаторе фарфоровый тигель средней величины (при всех операциях тигель брать только щипцами), насыпают в него около 3—5 г чистого основного карбоната меди и снова взвешивают. По разности находят массу взятого карбоната. Поместив тигель с веществом в фарфоровый треугольник (т. I, стр. 72) на кольцо штатива², нагревают его сначала осторожно, затем сильнее в пла-

¹ Для установления скорости пропускания кислорода отводную трубку газометра до присоединения ее к прибору погружают неглубоко в стакан с водой и, открывая кран, устанавливают желаемую скорость (чтобы можно было считать пузырьки газа). Вместо U-образной трубки для очистки и осушения кислорода иногда устанавливают перед трубкой с лодочкой две промывные склянки с раствором щелочи (20-процентный раствор NaOH) и концентрированной серной кислотой. Это дает возможность следить за скоростью газа в течение всего опыта.

² Фарфоровый тигель для нагревания никогда не следует помещать непосредственно в металлическое кольцо штатива, так как при нагревании металл расширяется больше, чем фарфор, тигель при этом входит в кольцо глубже и при охлаждении, если его своевременно не вынуть, будет раздавлен.

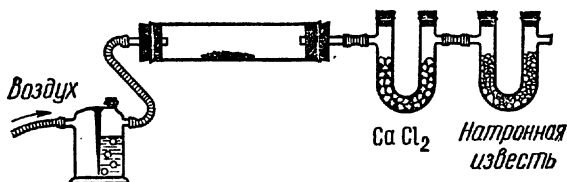


Рис. 122. Прибор для разложения основного карбоната меди с улавливанием воды и оксида углерода CO_2 .

мени спиртовки (лучше в пламени газовой горелки) до полного разложения соли¹. После этого тигель с полученным оксидом меди охлаждают до комнатной температуры в эксикаторе в течение 15—20 мин и взвешивают. Для проверки полноты разложения карбоната прокаливают тигель с содержимым еще раз и по охлаждении его взвешивают. Если масса тигля с веществом не изменилась, опыт считают оконченным, если же данная масса стала меньше, повторяют прокаливание до установления постоянной массы.

По разности в массах тигля с веществом и пустого тигля находят массу оксида меди CuO .

По уравнению реакции рассчитывают теоретический выход оксида меди, сравнивают с полученным на опыте и вычисляют процент ошибки; при правильном проведении всех операций ошибка составляет не более 0,2%.

2) Количественный опыт разложения основного карбоната меди с улавливанием воды и углекислого газа можно выполнить, используя U-образные поглотительные трубки, как в опыте с оксидом серы SO_2 (стр. 125).

Около 2 г основного карбоната меди помещают в заранее тарированную стеклянную трубку длиной около 15 см, с внутренним диаметром 1 см. Карбонат распределяют в средней части трубки слоем около 5 см. Оба конца трубки закрывают резиновыми пробками с проходящими через них короткими стеклянными трубками с резиновыми наконечниками, к которым присоединяют во время опыта поглотительные трубки. Тарировать трубку на химико-технических весах (с точностью до 0,01 г) лучше вместе с пробками.

Тарированную трубку с помещенным в нее основным карбонатом меди и с пробками (концы резиновых наконечников можно не закрывать) взвешивают на химико-технических весах (с той же точностью). После этого к одному концу трубки присоединяют

¹ Если спирт содержит примеси, пламя спиртовки будет светящимся и на тигле может появиться небольшой слой копоти (снаружи), которую перед взвешиванием осторожно стирают фильтровальной бумагой.

промывную склянку с концентрированной серной кислотой (для осушки вдуваемого воздуха), ко второму концу — последовательно соединенные U-образные поглотительные трубки: первую — с гранулированным безводным хлоридом кальция (для поглощения воды), вторую — со свежей натронной известью (для поглощения углекислого газа). Перед опытом взвешивают каждую поглотительную трубку отдельно (отводные концы трубок должны быть закрыты колпачками, как описано на стр. 126), затем при снятых колпачках (не путать их) присоединяют трубки к прибору (рис. 122). Пропуская из газометра медленный ток осушаемого воздуха, прогревают реакционную трубку около концов (не нагревать только у самых пробок), затем начинают нагревание основного карбоната меди, постепенно передвигая горелку от начала к концу слоя. Когда весь основной карбонат меди разложится, прогревают еще раз всю трубку, не прекращая продувания воздуха, чтобы полностью удалить из нее следы воды. После этого оставляют прибор для охлаждения, продолжая пропускать воздух. Когда трубка с оксидом меди примет комнатную температуру, отнимают от нее промывалку и поглотительные трубки, которые сразу же закрывают колпачками. Взвешивают тарированную ранее реакционную трубку с оксидом меди и находят его массу. Взвешивают поглотительную трубку с хлоридом кальция и по разности с первым взвешиванием находят массу поглощенной воды. Взвешивают поглотительную трубку с натронной известью и соответственно находят массу поглощенного углекислого газа. Вычисляют количество оксида меди, воды и углекислого газа по уравнению реакции и сравнивают с данными опыта.

Возможен вариант, при котором не доводят разложение основного карбоната меди до конца, чтобы по массе поглощенного углекислого газа или воды (или по их суммарной массе, если снабдить поглотительные трубки, как указано на стр. 125) найти, сколько карбоната разложилось и сколько оксида меди CuO образовалось. Образовавшийся в реакционной трубке оксид меди высыпают в банку и сохраняют для других опытов.

3) Количественное определение оксида углерода CO_2 при реакции соляной кислоты с мрамором. Опыт производят в простейшем приборе, изображенном на рисунке 123. Длина поглотительной трубки с хлоридом кальция около 10 см. Колбочка берется вместимостью 50—60 мл.

Собрать прибор, как на рисунке 123, и испытать, держит ли он. Для этого налить в колбочку немного воды, присоединить к отводному концу хлоркальциевой трубки резиновую

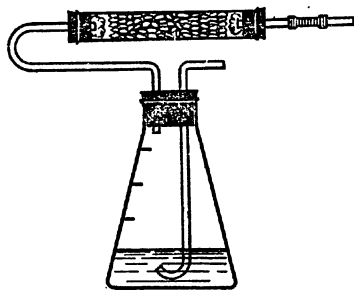


Рис. 123. Прибор для определения массы оксида углерода CO_2 при реакции мрамора с соляной кислотой.

трубочку, закрыть конец ее стеклянной палочкой и согреть колбу рукой. Если прибор держит, вода должна подниматься из колбочки по трубке.

Вылить из колбочки воду и наполнить поглотительную трубочку хлоридом кальция, поместив его между двумя комками ваты. Налить в колбочку разбавленной азотной кислоты (кислоту плотностью 1,4 разбавить четырьмя объемами воды) примерно на $\frac{1}{4}$ ее высоты.

Убедившись, что прибор держит, взвесить его на химико-технических весах. Не снимая прибора, положить на чашку весов кусок мрамора величиной с боб и снова взвесить. Записать массу взятого мрамора.

Вынув стеклянную палочку из резиновой трубки, открыть колбу и осторожно спустить в нее по стенке мрамор, после чего быстро вставить пробку обратно. Дождаться полного растворения мрамора и затем в течение 10—15 мин при очень слабом подогревании продувать через прибор воздух резиновой грушей, присоединив ее к трубке, конец которой погружен в жидкость. Продувать очень осторожно, небыстрой струей. Воздух продувают для того, чтобы выгнать из приборчика углекислый газ. Хлорид кальция удерживает пары воды, летящие вместе с воздухом.

Заткнуть хлоркальциевую трубку стеклянной палочкой, вытереть прибор и снова взвесить. Еще раз продувать воздух в течение 5 мин и снова взвесить. Так продолжать до установления постоянной массы. Записать массу выделившегося оксида углерода CO_2 .

Из полученных данных вычислить выход оксида углерода CO_2 . Сравнить результат с величиной, вычисленной по уравнению реакции.

4) Количественное замещение меди в водных растворах ее солей железом. При погружении железной пластинки в раствор сульфата меди (II) или хлорида меди (II) происходит выделение меди на поверхности пластинки с окислением железа и переходом его в раствор (стр. 143). Для определения количественных соотношений между железом и медью при такой реакции замещения взвешивают хорошо очищенную железную пластинку (можно взять толстый укороченный, не более 10 см, гвоздь и т. п.). Осторожно на нитке опускают пластинку (гвоздь) в 10-процентный раствор соли меди так, чтобы над поверхностью раствора остался кончик около 2 см, и держат так около 5 мин. После этого железный предмет с осевшим на нем слоем меди вынимают из раствора, промывают водой, осторожно высушивают фильтровальной бумагой, а затем теплым воздухом, снимают нитку и взвешивают. По разности в массах между вторым и первым взвешиванием (при втором взвешивании масса больше за счет разности в атомных массах меди и железа) вычисляют, сколько выделилось меди и сколько железа перешло в раствор.

Если один атом меди замещает один атом железа, масса увеличивается на 8 у. е. (64 — 56), в переводе на граммы — 8 г.

В приведенном опыте масса пластинки (гвоздя) увеличилась, очевидно, на $(b - a)$ граммов, где b — масса после опыта, a — масса до опыта. Приняв массу выделившейся меди за x , массу перешедшего в раствор железа за y , получим:

$$x = \frac{64 (b - a)}{8} = 8 (b - a),$$

$$y = \frac{56 (b - a)}{8} = 7 (b - a)$$

5) Определение количественного выхода кислорода при разложении бертолетовой соли (стр. 114).

6) Количественное определение веществ при реакции нейтрализации (стр. 149).

Глава V

ВАЖНЕЙШИЕ КЛАССЫ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Основные оксиды и основания

ПОЛУЧЕНИЕ ОСНОВАНИЙ

1) Получение гидроксида кальция. Для опыта нужен чистый оксид кальция, полученный при прокаливании мрамора, но можно использовать и техническую жженую (негашеную) известь, употребляемую как строительный материал; она неудобна тем, что при опытах приходится долго ожидать начала реакции, иногда приходится ждать минут десять, но при хорошо обожженной (непережженной) извести разогревание начинается уже через 1—2 мин. Применяемую известь следует предварительно испытать. Для опыта нужно взять наиболее крупные куски извести (6—8 см в поперечнике). Если известь плохо гасится, ее можно прокалить в пламени паяльной горелки, чтобы разложить образовавшийся карбонат кальция.

Выжигание известняка в больших кусках в лабораторных условиях не удастся. Можно получить порошкообразную известь, обжигая рассыпанный на железном листе или в железной чашке порошкообразный карбонат кальция. После прокаливания порошка в течение 1—2 ч его еще теплым следует высыпать в банку с притертой или резиновой пробкой (при использовании корковой пробки ее необходимо залить парафином). Хорошие результаты дает прокаливание кусков натурального мела размером с горошину в электрической муфельной печи.

При демонстрации опыта нужно поместить несколько кусков негашеной извести в фарфоровую чашку. Поливать известь понемногу из пипетки водой такими порциями, чтобы вода целиком впитывалась, стараясь не проливать воду мимо кусков. Как только известь перестанет впитывать воду, прекратить поливание. Через некоторое время начинается сильное разогревание, над кусками с шипением поднимается пар. Куски увеличиваются в объеме, растрескиваются и рассыпаются в порошок.

Немного полученного порошка взболтать в воде, дать отстояться, профильтровать и к фильтрату прилить фиолетовый (нейтральный) раствор лакмуса.

Если известь при предварительном испытании гасится плохо, можно взять для гашения горячую воду. Если гасится большое

количество извести, то полученную гашеную известь следует сохранять в банке с залитой парафином пробкой и по мере надобности использовать для получения известковой воды, едкого натра, аммиака и т. п.

При лабораторном опыте можно погасить небольшой кусочек извести в пробирке с водой, оставив его там на долгое время, и затем испытать лакмусом. Для ускорения реакции известь с водой нагревают.

За неимением жженой извести можно обжечь кусочек мрамора и выполнить опыт гидратации оксида кальция. Для этого от куска мрамора или плотного известняка нужно отбить несколько кусочков, стараясь получить возможно более плоский кусочек (в поперечнике около 1 см). Приготовленный кусочек мрамора опустить в стакан (пробирку) с водой, подкрашенной красным лакмусом, чтобы показать, что вода с карбонатом кальция не взаимодействует. Затем взять кусочек щипцами за край и нагревать в пламени паяльной горелки, пока кусочек не накалится, хотя бы по краям, добела. Дав кусочку немного остыть, бросить его в сосуд с небольшим количеством чистой воды. Хорошенько размешав стеклянной палочкой, профильтровать жидкость через маленький фильтр в небольшой бокал или стакан. Отлив часть раствора в другой бокал, прибавить к нему немного слегка подкисленного лакмуса. Лакмус синееет. В другую часть раствора пропустить оксид углерода CO_2 , раствор мутнеет.

С кусочком мрамора, имеющим очень тонкие края, опыт удается при нагревании в пламени спиртовки. Вначале мрамор опускают в стакан (или фарфоровую чашку) с водой, к которой прилито немного раствора фенолфталеина, и устанавливают отсутствие химического взаимодействия (окрашивание индикатора не происходит), затем сильно прокаливают мрамор в пламени спиртовки (еще лучше это сделать в усиленном пламени, см. т. I, стр. 177) и, дав остыть, снова погружают в тот же стакан (чашку) и взбалтывают. Хорошо видная издала малиновая окраска индикатора появляется немедленно.

2) Получение едкого натра. В выпарительную чашку диаметром 5—6 см наливают до $\frac{3}{4}$ объема 10-процентного раствора карбоната натрия. Туда же всыпают свежеприготовленную гашеную известь до густоты «известкового молока». Ставят чашку на кольцо штатива и нагревают смесь до кипения. После пятиминутного кипячения (*остерегаться брызг!*) производят пробу на полноту реакции. Для этого отбирают пипеткой небольшое количество жидкости и фильтруют в пробирку. Прибавление раствора соды к фильтрату не должно давать осадка (проба на отсутствие в растворе $\text{Ca}(\text{OH})_2$). Если при пробе выпадает осадок, продолжают кипячение, прибавив немного раствора соды. По мере испарения воды подливают воду в чашку, чтобы объем смеси в чашке оставался постоянным. При отсутствии осадка в повторной пробе реакцию можно считать законченной. Тогда следует отфильтровать раствор образовавшегося едкого

натра и определить его концентрацию титрованием соляной кислотой. При приливании соляной кислоты к фильтрату не должно быть шипения и выделения газа, это свидетельствует об отсутствии в фильтрате избытка соды.

СВОЙСТВА ОСНОВАНИЙ

1) Едкие свойства извести. Несколько ложек влажной гашеной извести завернуть в бумагу или тряпку и оставить на несколько дней, хорошо прикрыв, чтобы известь не высыхала. Ткань разрушится известью.

2) Свойства едкого натра и едкого кали. Кусочек едкого натра растворить в небольшом количестве воды (1—2 мл) в пробирке. Прикоснуться к дну пробирки рукой. Замечается разогревание. Несколько капель полученного раствора перенести палочкой на бумагу или тряпку и оставить на несколько дней. Бумага или тряпка разъедается щелочью.

Одну каплю раствора взять на палец так, чтобы жидкость не попала под ноготь, и сейчас же вымыть руки. При растирании раствора между пальцами кожа делается скользкой. Отмывать водой до тех пор, пока это ощущение пропадет, затем промыть пальцы разбавленной уксусной кислотой и снова водой.

Прилить к раствору едкого натра раствор нейтрального или красного лакмуса. Лакмус синее. Прилить к раствору едкого натра бесцветный раствор фенолфталеина (приготовление см. в т. I, стр. 287), появляется малиновое окрашивание. Раствор индикатора конго красного при действии едкого натра краснеет, водный раствор метилового оранжевого становится желтым.

Аналогичные опыты проделать с едким кали.

3) Свойства едкого барита. Растворить небольшое количество гидроксида бария в воде, прилить раствор лакмуса и испытать действие на кожу, как указано выше (осторожно, соединения бария ядовиты).

4) Свойства гидроксида меди $\text{Cu}(\text{OH})_2$ и гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$. а) Гидроксид меди $\text{Cu}(\text{OH})_2$ для опыта берут в виде готового препарата¹. При добавлении его в воду обнаруживается, что полученная суспензия не изменяет цвет индикаторов (нерастворимое основание). При нагревании сухого гидроксида меди $\text{Cu}(\text{OH})_2$ в пробирке образуется черный оксид меди CuO и вода (пробирку при нагревании держать горизонтально).

¹ Гидроксид меди (II) можно получить осаждением из водных растворов солей меди (II) раствором едкого натра или аммиака в виде студенистого синего осадка. Избытка раствора осадителя при этом нужно избегать. Полученный осадок тщательно промывают на фильтре водой, затем спиртом и осторожно высушивают. Однако отмыть осадок от следов щелочи трудно, поэтому испытание взвеси его индикатором может показать щелочную реакцию, не свойственную гидроксиду меди $\text{Cu}(\text{OH})_2$.

б) Гидроксид железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$, полученный при взаимодействии водного раствора хлорида железа FeCl_3 с раствором аммиака (стр. 314), фильтруют и промывают на фильтре водой. При прокаливании осадка на жестяной пластинке получается красный оксид железа Fe_2O_3 ¹.

Получение и свойства других нерастворимых гидроксидов металлов рассматриваются в главе «Металлы» (стр. 366).

Основные оксиды

СВОЙСТВА ОСНОВНЫХ ОКСИДОВ

Основные оксиды, не взаимодействующие с водой

Взболтать в воде следующие вещества: оксид железа Fe_2O_3 , оксид алюминия Al_2O_3 , оксид меди CuO , оксид свинца PbO . Дать отстояться, слить воду с осадка и испытать лакмусом. Убедиться в отсутствии реакции указанных оксидов с водой.

Кислотные оксиды

ПОЛУЧЕНИЕ КИСЛОТНЫХ ОКСИДОВ

Получение оксида серы SO_3 из серной кислоты. Цель опыта — показать, что выведение формулы SO_3 по формуле кислоты отнятием воды имеет реальное основание. Для опыта на часовое стекло наливают две-три капли концентрированной серной кислоты и подсыпают тройное по объему количество оксида фосфора. Образующийся оксид SO_3 «дымит» на воздухе (туман из капелек серной кислоты). Если оксид фосфора P_2O_5 был получен в пробирке, как описано ниже, то концентрированную серную кислоту пипеткой добавляют прямо в пробирку.

СВОЙСТВА КИСЛОТНЫХ ОКСИДОВ

1) Взаимодействие оксида фосфора P_2O_5 с водой. Для опыта требуется оксид фосфора P_2O_5 в виде порошка. Хранить его следует всегда плотно закрытым. Если пробка корковая, ее нужно залить парафином.

Ложечкой всыпают оксид фосфора в стеклянный стакан с водой. Реакция происходит очень бурно, с сильным шипением. Часть

¹ Гидроксид железа (III) удобнее получать осаждением из водного раствора хлорида железа (III) раствором аммиака, так как $\text{Fe}(\text{OH})_3$ с избытком этого раствора не реагирует. Промыть и высушить полученный гидроксид в этом случае легче, чем при осаждении раствором едкого натра.

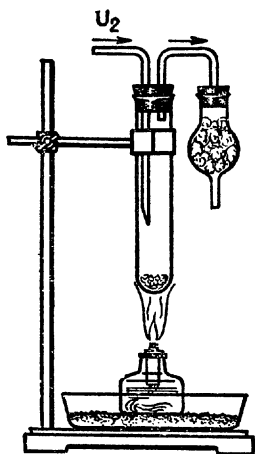


Рис. 124. Получение оксида фосфора P_2O_5 .

полученного раствора в отдельных стаканчиках (пробирках) испытывают индикаторами (лакмусом, метиловым оранжевым, конго, который при действии кислотной синее, фенолфталеином).

За неимением в лаборатории оксида фосфора P_2O_5 его можно получить в количестве, достаточном для пробирочного опыта. В пробирку помещают около 0,2 г сухого красного фосфора и закрывают ее пробкой с двумя трубками, как показано на рисунке 124. К свободному концу короткой трубки присоединяют с помощью резиновой трубки шариковую трубку, наполненную ватой для поглощения «дыма» — оксида фосфора (V).

Укрепляют пробирку в зажиме штатива, подставляют под нее спиртовку, поставленную на тарелку с песком. Свободный конец длинной стеклянной трубки

соединяют с газометром, наполненным кислородом. Зажигают спиртовку и, как только фосфор загорится, пускают кислород. Фосфор сгорает ярким пламенем¹. Когда горение закончится, перекрывают ток кислорода. Охлажденную пробирку с полученным оксидом фосфора закрывают резиновой пробкой. Опыт можно производить на уроке или заготовить указанным способом несколько пробирок с оксидом P_2O_5 до урока. Полученное количество оксида позволяет выполнить все указанные выше опыты (гидратация оксида фосфора P_2O_5 , свойства метафосфорной кислоты HPO_3).

2) Оксид кремния SiO_2 не взаимодействует с водой. В пробирку с песком наливают воды и кипятят. При испытании индикатором кислой реакции не обнаруживается. Опыт показывает, что не всякий кислотный оксид может взаимодействовать с водой с образованием кислоты.

Взаимодействие кислотных и основных оксидов

В качестве примера образования соли при соединении двух безводных оксидов может служить получение свинцового стекла при сплавлении оксида свинца PbO с кремнеземом на железной пластинке. Для опыта нужна сильная горелка.

Взаимодействие кислотных оксидов с основаниями

1) Взаимодействие оксида углерода CO_2 с гидроксидом кальция. Цель опыта — показать, что при реакции между оксидом углерода (IV) и гидроксидом кальция выделяется вода. Это является, как

¹ Меры предосторожности см. на стр. 339.

известно, причиной отсыревания оштукатуренных стен, поэтому будет весьма поучительно, если взять гашеную известь в виде кусков свежей штукатурки. Опыт удастся даже лучше, чем с известью в виде порошка.

Берут приблизительно равные объемы гашеной извести и песка. То и другое в большой фарфоровой ступке или другом сосуде смешивают с небольшим количеством воды, пока получится густое тесто. Это тесто намазывают слоем 1—1,5 см на лист бумаги, которую помещают на какую-нибудь сетку или решето, чтобы масса лучше просыхала, и оставляют при комнатной температуре или лучше в теплом месте на 1—2 суток. Масса должна просохнуть настолько, чтобы, будучи помещена в виде кусков 2—4 см в поперечнике (слоем около 5 см) в какой-нибудь сосуд, например в склянку для сжигания в кислороде, не образовывала на стенках сосуда капель влаги. В то же время масса непременно должна содержать в себе некоторое количество влаги, так как иначе реакция идет очень медленно и опыт не удастся (не пересушивать массу). В случае же, если масса высохнет больше, чем нужно, ее следует слегка sprysнуть водой. До опыта массу сохраняют в хорошо закрытом сосуде.

В склянку с кусками известковой массы пустить сильный ток оксида углерода CO_2 (углекислого газа)¹. На стенках сосуда сейчас же появляется обильная роса, которая собирается в капли, стекающие по стенкам сосуда. При реакции выделяется значительное количество теплоты, дно сосуда делается теплым на ощупь. Выделение воды настолько значительно, что не может быть никакого сомнения в том, что это является результатом реакции, а не результатом выделения влаги из углекислого газа, поэтому осушать последний нет необходимости.

Известковую массу лучше всего заготовить сразу на несколько опытов и, если масса окажется надлежащим образом приготовлена, ее можно хранить в банке с залитой парафином пробкой (т. I, стр. 152).

При взаимодействии гидроксида кальция с оксидом углерода CO_2 образуется карбонат кальция, что можно доказать, если взять по окончании реакции несколько кусков твердого продукта и облить его в стакане (склянке) разбавленной 1 : 1 соляной кислотой.

Образование нерастворимого карбоната можно наблюдать также при пропускании оксида углерода CO_2 через известковую или баритовую воду (в первом случае следует избегать избытка CO_2 , стр. 365).

2) Взаимодействие оксида углерода CO_2 с гидроксидом натрия. В круглодонную колбу емкостью около 500 мл пропускают достаточно сильную струю оксида углерода CO_2 , осушаемого концентрированной серной кислотой (стр. 81), так, чтобы воздух из колбы был по возможности вытеснен. После этого быстро всыпают в колбу

¹ Получение углекислого газа см. на стр. 347.

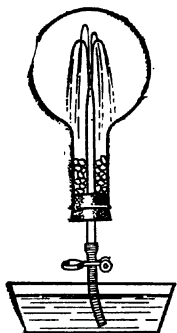


Рис. 125. Возникновение разрежения в колбе при поглощении оксида углерода CO_2 гидроксидом натрия.

около чайной ложки мелко раздробленного (*правила*, т. I, стр. 165) едкого натра и сразу закрывают ее хорошей резиновой пробкой с проходящей через нее стеклянной трубкой с немного оттянутым концом (т. I, стр. 225) и надетой на второй конец короткой резиновой трубочкой с зажимом. Колбу некоторое время встряхивают, наблюдая при этом расплывание кусочков едкого натра за счет выделяющейся при реакции воды, затем погружают наружный конец стеклянной трубки вместе с резиновой трубкой и зажимом в воду и под водой открывают зажим. Так как при поглощении оксида углерода CO_2 едким натром в колбе возникает разрежение, то вода вливается через трубку и бьет фонтаном (рис. 125).

3) **Взаимодействие оксида хрома CrO_3 с гидроксидом бария.** Цель опыта — показать, что при реакции между кислотным оксидом CrO_3 и гидроксидом металла Ba(OH)_2 выделяется вода, поэтому

образующаяся соль получается в виде полужидкой желтой массы: $\text{Ba(OH)}_2 + \text{CrO}_3 = \text{BaCrO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

В фарфоровую ступку высыпают одну ложечку сухого оксида хрома CrO_3 , прибавляют столько же сухого гидроксида бария Ba(OH)_2 и растирают смесь пестиком.

4) Опыты, показывающие взаимодействие оксида углерода CO_2 со щелочами в водных растворах, подробно рассмотрены на странице 154.

Кислоты

СВОЙСТВА КИСЛОТ

Испытание растворов кислот индикаторами

В стаканы или пробирки наливают разбавленные кислоты: серную, соляную, азотную, уксусную, фосфорную. Приливают к ним растворы индикаторов: лакмуса, фенолфталеина, метилового оранжевого, конго (для каждой кислоты в отдельной посуде) — до хорошо заметного характерного окрашивания. Сравнивают окраску индикаторов в воде или в нейтральных растворах, в растворах щелочей и составляют соответствующую таблицу. Наряду с применением для испытаний растворов индикаторов обязательно используют индикаторные бумажки, чтобы предупредить неверные представления об изменении цвета не индикатора, а раствора кислоты (или щелочи). С этой же целью приливают несколько капель кислоты (или щелочи) к разбавленному раствору индикатора, например лакмуса. Для большей убедительности следует

использовать, кроме нейтрального, также красный (подкисленный) и синий (подщелоченный) растворы лакмуса, приливая к ним соответственно растворы щелочи и кислоты до изменения окраски. В таком же плане следует выполнить опыты с другими индикаторами.

Взаимодействие кислот с металлами

Приготовить растворы кислот: серной, соляной и уксусной или метафосфорной. Последняя в качестве слабой кислоты имеет при объяснении преимущество перед уксусной: изображение состава полученной при реакции соли условной формулой (если это предполагается делать) не осложняется тем, что часть водорода не заменяется металлом.

Чтобы можно было сравнить кислоты по силе, следует взять растворы одинаковых концентраций (например, 3 н.). Для приготовления таких растворов нужно 83 мл серной кислоты (плотность 1,84), 247 мл соляной кислоты (плотность 1,19), 600 мл 30-процентной уксусной кислоты и 240 г метафосфорной кислоты растворить в небольшом количестве воды и разбавить каждый раствор до объема 1 л.

Из металлов можно взять для опытов железо (в виде хорошо вычищенной проволоки, гвоздей, опилок, промытых бензином от следов масла), цинк¹ (гранулированный или нарезанный из листового цинка в виде пластинок, стр. 117), магний (в виде кусочков ленты, стружек или порошка). Кроме того, необходимо показать, что на медь взятые кислоты не действуют. Медь, конечно, не должна быть окисленная. Можно взять свежие, блестящие стружки, хорошо вычищенную медную пластинку или проволоку.

Демонстрационные опыты проводят в небольших стаканах, лабораторные — в пробирках, по возможности одновременно (если есть достаточное количество стаканов) со всеми металлами и кислотами для удобства сравнения.

При взаимодействии каждой из кислот с цинком², железом и магнием происходит выделение пузырьков газа. Наиболее медленно реагирует уксусная кислота, которая только с магнием дает «вскипание». С сильными кислотами магний реагирует очень бурно. Медь же во всех трех кислотах не изменяется.

Чтобы показать образование при этих реакциях солей, доводят реакцию цинка или магния, например, с серной кислотой до конца

¹ Особо чистый цинк, с которым реакция идет очень медленно, лучше не брать (стр. 59). Для ускорения реакции к раствору кислоты прибавляют немного раствора сульфата меди, но на первых этапах обучения это нежелательно, особенно при лабораторных опытах учащихся, так как требует дополнительных объяснений.

² Следует помнить, что технический цинк может содержать примеси мышьяка и сурьмы и при взаимодействии его с кислотами вместе с водородом будет выделяться ядовитый мышьяковистый и сурьмянистый водород, поэтому нюхать выделяющийся при реакциях водород нельзя, о чем необходимо предупредить учащихся (стр. 59).

(при значительном избытке металла), отфильтровывают немного раствора в чистую пробирку и упаривают несколько капель его на стеклянной (держа высоко под пламенем) или жестяной пластинке до начала выделения твердого вещества. Несколько стаканов (пробирок) с полученными растворами (например, сульфатов цинка и магния) оставляют в открытых стаканах на несколько дней. На дне и стенках выделяются кристаллы солей.

Дополнительно можно выполнить опыты с серной кислотой и другими металлами: алюминием (алюминиевую проволоку хорошо очищают наждачной бумагой или выскабливают ножом и нарезают небольшими кусочками), оловом (реакция протекает медленно), свинцом. Реакции с соляной, серной и фосфорной кислотами при обычной температуре практически не идут, так как на поверхности металла образуются нерастворимые соли, с уксусной кислотой реакция протекает очень медленно.

Образование соли с одновременным выделением водорода можно наглядно показать при взаимодействии натрия с концентрированной (37-процентной) соляной кислотой. В пробирку с соляной кислотой (примерно $\frac{2}{3}$ объема) вносят маленький кусочек металлического натрия. Реакция протекает спокойно. На дне пробирки оседают кристаллы малорастворимой в соляной кислоте поваренной соли. Выделяющийся водород можно поджечь у отверстия пробирки.

Чтобы показать другое течение реакции, при которой выделяется не водород, а бурый газ — оксид азота NO_2 , демонстрируют взаимодействие указанных выше металлов (кроме алюминия и железа ¹⁾ с азотной кислотой. На первых этапах обучения учащиеся должны запомнить это как факт, объяснение которому будет дано при изучении азота и его соединений (гл. XIII, стр. 326).

Без использования тяги опыты проводят в цилиндрах (лучше с притертыми краями), которые можно закрыть стеклянной притертой пластинкой. На дно цилиндров бросают несколько гранул цинка, стружек меди и т. д., наливают не более 1—2 мл 62-процентной азотной кислоты (правила, стр. 333). Почти сразу же начинается энергичная реакция с выделением тяжелого бурого газа, который при указанных количествах кислоты в помещении не выходит. Цилиндр через 20—30 сек после начала реакции закрывают стеклянной пластинкой. При отсутствии цилиндров опыты можно показать в колбах, которые закрывают пробками, а еще лучше пробками с поглотительной шариковой трубкой, наполненной углем (стр. 231 и 253).

Реакции между оксидами металлов и кислотами

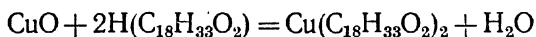
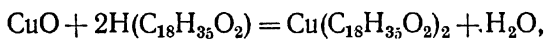
1) Взаимодействие оксидов меди, цинка и магния с серной, соляной и азотной кислотами. Для опытов лучше воспользоваться оксидом меди, полученным при разложении основного карбоната

¹ В концентрированной азотной кислоте алюминий и железо пассивируются.

меди (стр. 79), так как обычный реактивный оксид меди, имеющийся в продаже, реагирует с серной кислотой медленно. Серную кислоту берут той же концентрации, что и для получения водорода (1 : 5).

Для демонстрационного опыта в большую пробирку или круглодонную колбу на 100 мл насыпают немного оксида меди CuO (около 1 г), наливают не более $\frac{1}{4}$ объема раствора серной кислоты и осторожно подогревают. Получается синий раствор сульфата меди. При лабораторных опытах учащихся, кроме оксида меди, можно взять оксиды цинка, магния и испытать их взаимодействие также с соляной и азотной кислотами. Реакции с небольшими количествами веществ легко протекают в пробирках преимущественно без нагревания. Дополнительно можно испытать также взаимодействие оксида железа Fe_2O_3 с соляной кислотой. Реакция протекает при небольшом нагревании с образованием желтого (при высоких концентрациях — желто-бурого) раствора хлорида железа FeCl_3 .

2) **Обнаружение выделяющейся при реакции воды.** В предыдущих опытах выделение при реакции воды заметить было нельзя, так как кислоту брали в виде раствора. Если же взять олеиновую или стеариновую кислоту и нагревать с ней оксид меди CuO , то выделяющаяся вода оседает на холодных стенках пробирки в виде капель, хорошо заметных на «жирных» от кислоты стенках пробирки. При реакции образуется медная соль стеариновой или олеиновой кислоты зеленого цвета:



В пробирку помещают немного олеиновой кислоты, всыпают очень небольшое количество оксида меди и нагревают. Выполняют тот же опыт со стеариновой кислотой.

3) На практических занятиях учащиеся проводят опыты с последующим выделением кристаллов. При выполнении работы в фарфоровую чашку наливают одну пробирку раствора серной кислоты (1 : 5). Нагревают раствор почти до кипения. Прибавляют в него очень небольшими порциями порошкообразный оксид меди (II), оксид цинка или магния, наблюдая, как идет реакция. Не всыпать следующей порции, пока не прореагирует предыдущая, не доводить до кипения, но и не ослаблять нагревания.

Если прибавляемый оксид остается без изменения, приливают одну пробирку воды, нагревают жидкость до кипения. Если и после этого остается непрореагировавший оксид, следовательно, вся кислота израсходовалась.

Отфильтровывают полученный раствор в стаканчик и оставляют охлаждаться. Если раствор сульфата меди получился не синий, а зеленый (образовалась основная соль), то прибавляют несколько капель кислоты.

Если по охлаждении соль не выкристаллизовалась, переливают раствор в фарфоровую чашку, сгущают его выпариванием (наполовину) и снова оставляют кристаллизоваться. Полученные кристаллы отделяют на фильтре от остатка маточного раствора (стр. 169), высушивают фильтровальной бумагой и сохраняют для последующих работ.

Реакции между гидроксидами металлов и кислотами

1) Взаимодействие едкого натра с соляной кислотой. К небольшому количеству концентрированной соляной кислоты (плотность 1,19), помещенному в стакан или пробирку, приливают осторожно по каплям концентрированный раствор (1 : 5) едкого натра NaOH. Происходит бурная реакция, образуется осадок поваренной соли.

При лабораторном опыте соляной кислоты нужно брать в пробирку не более 2—3 мл.

2) Взаимодействие гидроксида меди с серной кислотой. Для реакции нужно приготовить свежий гидроксид меди. Для этого раствор медного купороса вливают в раствор едкого натра (не наоборот). Раствор должен оставаться слегка щелочным. Полученный осадок удобнее всего отфильтровать через холст, так как через бумажный фильтр жидкость проходит очень медленно. Ткань можно положить прямо на края стакана. Когда часть жидкости стечет, ткань можно взять в руки и отжать осадок, после чего руки сейчас же вымыть. Промывать осадок нет необходимости.

Для опыта удобнее воспользоваться влажным веществом, так как даже несколько раз промытый осадок содержит едкий натр, который во время сушения притягивает из воздуха углекислый газ. При действии кислоты на вещество слышится шипение, что отвлекает внимание учащихся. Влажный гидроксид меди $\text{Cu}(\text{OH})_2$ помещают в стаканчик или пробирку и приливают разбавленную серную кислоту. Реакция идет без нагревания.

3) Взаимодействие других гидроксидов металлов с кислотами. Для лабораторных опытов можно взять свежесоздажденные гидроксиды железа, хрома, марганца, никеля. Их получают осаждением раствора едкого натра (2 : 10) из растворов (1 : 10) соответствующих солей, например: хлорида железа FeCl_3 , хромовых квасцов, хлорида марганца MnCl_2 и хлорида никеля NiCl_2 . Полученные гидроксиды отфильтровывают, как и гидроксид меди, через ткань в стакане и приливают к ним разбавленную серную, соляную или азотную кислоты.

В простейших случаях (при лабораторных опытах учащихся) гидроксиды получают в пробирках, с полученного студенистого осадка осторожно сливают часть жидкости и приливают разбавленную кислоту до растворения осадка.

Типы реакций

РЕАКЦИЯ ЗАМЕЩЕНИЯ

Восстановление металлов из водных растворов солей другими металлами

1) Вытеснение меди железом. Этот опыт обычно производится двумя способами: сначала на какой-нибудь железной пластинке осаждают из раствора медного купороса слой меди, который был бы отчетливо виден, а затем действуют избытком железа и доводят реакцию до конца, чтобы показать, что в растворе образуется железный купорос. Раствор медного купороса в обоих случаях должен быть концентрированным, даже насыщенным, чтобы не происходило окисления образующегося железного купороса, а чтобы слой меди получался плотный, блестящий, раствор медного купороса подкисляют, для чего к 250 мл насыщенного раствора приливают около 1 мл раствора серной кислоты (1 : 5). Водород, выделяющийся в небольшом количестве при действии такого кислого раствора на железо, действует как восстановитель, и железный купорос не окисляется.

Для первого опыта можно воспользоваться широким ножом, который следует хорошо вычистить наждачной бумагой. После чистки не следует дотрагиваться до поверхности металла руками. При демонстрации опыта нож на несколько секунд опускают в раствор медного купороса, налитый в стакан или цилиндр, затем вынимают его, быстро споласкивают водой и сейчас же слегка протирают полотенцем. На поверхности металла остается ровный блестящий слой меди, который потом легко снять наждачной бумагой. Полезно перед опусканием ножа в раствор еще раз протереть его куском наждачной бумаги, чтобы иметь уверенность в том, что поверхность ножа совершенно чистая. Иначе медь садится неровно, отдельными пятнами и легко слезает при вытирании.

Для лабораторного опыта можно воспользоваться хорошо вычищенными гвоздями, полосками листового железа, гирляндой канцелярских кнопок (на нитке) или скрепок. Кнопки и скрепки нужно предварительно протереть тряпкой, смоченной бензином.

Для выделения всей меди из раствора медного купороса всего удобнее воспользоваться крупными чистыми железными опилками. Обыкновенные опилки из слесарной мастерской для опыта непригодны, они недостаточно чисты и обычно плохо смачиваются водой, так как бывают масляные. Такие опилки можно отмыть чистым эфиром или бензолом, но не бензином, оставляющим на железе тонкий слой менее летучих углеводородов. Точно так же малопригодно и порошкообразное железо, так как оно образует в растворе долго не оседающую взвесь. Наилучший способ получить чистые опилки — это приготовить их при помощи крупного напиль-

ника из куска железа. Если опилки содержат много мелкой железной пыли, то их предварительно нужно просеять через тонкое сито. Тогда после встряхивания они быстро садятся на дно, и раствор получается совершенно прозрачный.

При демонстрации опыта в большую пробирку или высокий стакан на 250—300 мл налить до половины раствора медного купороса, всыпать железные опилки слоем приблизительно 0,5 см и сильно взбалтывать до тех пор, пока синий цвет медного купороса не заменится зеленоватым цветом железного купороса. Опилки покрываются слоем меди. Реакция протекает с выделением теплоты, однако на ощупь это малозаметно. Получающийся раствор окрашен значительно менее интенсивно, чем исходный.

С кусочками железа, гвоздями и т. п. можно поставить только длительный опыт в пробирке, закрытой пробкой (чтобы не окислялся образующийся железный купорос).

По окончании опыта следует показать учащимся для сравнения кристаллы медного купороса $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ и кристаллы железного купороса $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ¹. Полезно отметить, что данной реакцией пользуются в технике для омеднения железной проволоки.

2) **Вытеснение меди цинком.** Налить $\frac{1}{2}$ пробирки раствора медного купороса (раствор можно приготовить из кристаллов, полученных при опыте, стр. 141). Положить в раствор несколько кусочков цинка и некоторое время взбалтывать. Для ускорения реакции пробирку слегка нагреть. Когда раствор совершенно обесцветится, обратить внимание на изменения, происшедшие с цинком (на его поверхности отлагается рыхлый слой меди). Полученный раствор профильтровать через маленький фильтр в стакан и оставить кристаллизаться.

3) **Вытеснение свинца цинком (сатурново дерево).** Подготовка и описание опыта приведены на странице 122 (определение эквивалента). В данном случае опыт проводят так же, но выделившийся свинец не взвешивают, а, сняв с цинковой пластинки, промывают, высушивают между листами фильтровальной бумаги и сплавляют в небольшом тигле. Сравнивают твердость цинка и свинца при резании ножом. Обращают внимание на то, что цинковая пластинка оказывается разрушенной на отдельных участках.

РЕАКЦИЯ ОБМЕНА

Реакция обмена между солями

Приготовить 2-процентный раствор нитрата серебра в дистиллированной воде и раствор поваренной соли. Влить некоторое количество одного из растворов в стакан и прибавить другого

¹ Получить из раствора кристаллы железного купороса трудно, так как значительная часть соли окисляется, превращаясь в бурый гидроксид железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Хорошие кристаллы можно выделить только из больших количеств раствора.

раствора. Дать образовавшемуся осадку хлорида серебра осесть на дно и показать его учащимся.

Если раствор нитрата серебра необходимо оставить для других опытов, то сохранять его нужно в склянке из темного стекла, а обычную склянку следует обернуть черной бумагой, так как при действии света эта соль разлагается с выделением дисперсного металлического серебра черного цвета (стр. 111).

Для лабораторных опытов можно взять следующие растворы солей (1 : 10): хлорид бария и сульфат цинка или другие растворимые соли серной кислоты (например, сульфат натрия, сульфат алюминия и т. д.); нитрат свинца или ацетат свинца и карбонат натрия или растворимые хлориды натрия, магния и другие; нитрат свинца и хромат калия или иодид калия и др.

Кроме того, можно взять несколько пар солей, которые при сливании растворов не дают осадков, например: хлорид натрия и нитрат калия; сульфат цинка и нитрат магния; нитрат меди и хлорид магния и др.

На уроке опыты, при которых получается осадок, и опыты, при которых осадка не получается, следует производить поочередно. Лучше всего предоставить учащимся сливать попарно по 1—2 мл растворов заготовленных солей по собственному выбору.

Если осадок образовался, то учащиеся должны написать уравнение реакции, справиться в таблице растворимости, какое из полученных веществ выпало в осадок, подчеркнуть формулу его в уравнении реакции или поставить рядом с формулой стрелку, направленную острием вниз.

Было бы полезно выдавать учащимся все перечисленные соли в твердом виде и предоставить им возможность растворить по нескольку кристалликов каждой соли в пробирках и уже затем сливать полученные растворы. Тогда у учащихся останется более реальное представление о самих солях, а не только об их растворах.

Реакция обмена между солями и кислотами

Для опытов можно взять следующие комбинации веществ: хлорид бария и серную кислоту, нитрат серебра и соляную кислоту, поваренную соль и серную кислоту. Опыты выполнять в следующем порядке:

1) влить в стакан (или пробирку) раствор хлорида бария и прилить раствор серной кислоты (1 : 5). Образуется обильный белый осадок сульфата бария, в растворе — соляная кислота;

2) влить в бокал (или пробирку) соляной кислоты и прилить раствор нитрата серебра. Образуется белый осадок хлорида серебра, в растворе — азотная кислота. Чтобы показать, что в растворе действительно образовалась азотная кислота, нужно взять для опыта концентрированный раствор нитрата серебра, отфильтровать немного раствора, прибавить к фильтрату еще немного нитрата серебра и, если достигнуто полное осаждение, профильтровать весь

раствор, сгустить его выпариванием и затем обнаружить азотную кислоту по действию на медь или цинк (выделение NO_2 , стр. 140);

3) взять в колбу (или пробирку) немного твердой поваренной соли, прилить концентрированной серной кислоты и нагреть. У отверстия сосуда подержать синюю лакмусовую бумажку. Она краснеет.

Можно смочить стеклянную палочку раствором нитрата серебра и поднести к отверстию сосуда; образование белого налета хлорида серебра убеждает, что выделяющийся газ — хлороводород.

Получение нерастворимых в воде оснований. Амфотерные гидроксиды

Нерастворимые в воде гидроксиды металлов получают при действии на соли растворами едких щелочей. Амфотерные гидроксиды металлов растворяются в избытке щелочи и в кислоте.

Для опытов нужно приготовить растворы 1 : 10 следующих солей: сульфат магния MgSO_4 , сульфат меди CuSO_4 , сульфат никеля NiSO_4 , хлорид железа FeCl_3 , сульфат кадмия CdSO_4 , сульфат цинка ZnSO_4 , сульфат алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ или алюмокалиевые квасцы $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$, сульфат хрома $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ или хромовые квасцы $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$ и нитрат свинца $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$. Все соли взять для растворения в виде кристаллогидратов. Вместо указанных солей можно взять любые другие растворимые соли перечисленных металлов. Кроме того, надо приготовить раствор 15 : 100 едкого натра NaOH или едкого кали KOH и раствор азотной кислоты (концентрированную кислоту разбавить равным объемом воды). Если не брать для опытов соли свинца, то вместо азотной кислоты можно воспользоваться серной кислотой 1 : 5.

В стаканы или пробирки налить сначала понемногу растворов сульфатов магния, меди, никеля, кадмия и хлорида железа (III), прибавить едкой щелочи и взболтать стеклянной палочкой или лучинкой. Показать осадки. То же проделать с растворами сульфатов цинка, алюминия, хрома (III) и нитрата свинца (щелочь приливать понемногу). Затем во все стаканы прибавить избыток щелочи и снова взболтать. Осадки второго ряда солей должны раствориться, образуя соли: цинкаты, алюминаты, хромиты и плюмбиты¹.

Еще раз получить осадки всех гидроксидов, прибавляя небольшие количества щелочи, и затем, слив избыток раствора, прибавить ко всем осадкам азотной кислоты.

Если в данном месте курса вопрос об амфотерных оксидах не рассматривается, то следует ограничиться первой серией опытов.

При лабораторных опытах можно дать учащимся или только первый ряд солей, или все соли, но без определенного порядка,

¹ Следует напомнить, что хроматами называют соли хромовой кислоты H_2CrO_4 , плюмбатами — соли, отвечающие оксиду PbO_2 , кислотам H_2PbO_3 и H_4PbO_4 . Хромиты же и плюмбиты соответствуют гидроксидам $\text{Cr}(\text{OH})_3$ или H_3CrO_3 и $\text{Pb}(\text{OH})_2$ или H_2PbO_2 .

с тем чтобы они сами определили, какие из оксидов являются основными и какие — амфотерными. Полезно, кроме того, дать еще растворы солей, которые осадков при действии щелочей не дают, например: хлорид бария BaCl_2 , хлорид кальция CaCl_2 , нитрат калия KNO_3 .

Вместо готовых растворов можно, как и в предыдущих опытах, дать твердые соли. Например, учащимся предлагают растворить несколько кристаллов следующих солей: сульфат магния, сульфат меди, хлорид бария, сульфат никеля, хлорид кальция, хлорид железа (III), сульфат кадмия, нитрат калия. Налить в пробирки (меньше $\frac{1}{4}$ пробирки) растворы этих солей и прилить во все пробирки понемногу раствора едкого натра. Описать характер и цвет осадков (если они образовались). Написать уравнения соответствующих реакций. Указать гидроксиды металлов, растворимые в воде. Со всех осадков слить избыток раствора и прибавить азотной кислоты: отметить происшедшие при этом изменения.

В том случае, если амфотерные оксиды рассматриваются, работу можно провести следующим образом: налить в пробирки понемногу (1—2 мл) выданных растворов солей (MgSO_4 , CuSO_4 , BaCl_2 , ZnSO_4 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, NiSO_4 , KNO_3 , FeCl_3 , $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$, CdSO_4 , CaCl_2 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$). Прилить в каждую пробирку очень небольшими порциями (вначале по каплям) раствор едкого натра, каждый раз взбалтывая. Общий объем раствора должен быть не больше $\frac{1}{2}$ пробирки. Составить списки гидроксидов: растворимых в воде; нерастворимых в воде; нерастворимых в воде, но растворимых в избытке щелочи.

Снова получить осадки всех гидроксидов металлов, нерастворимых в воде, избегая избытка щелочи, и прилить ко всем осадкам раствор азотной кислоты.

Написать уравнения всех реакций и дать названия соответствующих веществ (см. сноску на стр. 146).

РЕАКЦИЯ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ

Предварительные опыты с индикаторами

Цель опытов — показать, как индикаторами определяют окончание реакции между растворами щелочи и кислоты (в том случае, если получающаяся соль нейтральна, т. е. в водном растворе не подвергается гидролизу).

Для опыта следует приготовить более или менее соответствующие друг другу по концентрации растворы едкого натра и серной кислоты (например, 10 г NaOH на 1 л воды и около 7 мл H_2SO_4 плотностью 1,84 на 1 л воды) и растворы индикаторов: лакмуса (лакмоида, т. I, стр. 286), фенолфталеина (однопроцентный раствор в спирте, который в нейтральном и кислом растворе бесцветен, в щелочном — интенсивно малинового цвета), конго (в кислых растворах синего цвета, в щелочных — красного), метилового оранжевого (от кислоты краснеет, от щелочи желтеет) и др.

Слить растворы едкого натра и серной кислоты и обратить внимание учащихся на то, что образование соли незаметно (она растворима в воде). Налить в стаканы или пробирки свежепрокипяченной воды (лучше дистиллированной) и прибавить в один стакан раствор лакмуса, в другой — несколько капель фенолфталеина и т. д. Затем во все стаканы прилить раствор щелочи. Повторить то же самое, прилив вместо щелочи кислоту. Показать, что поваренная соль в растворе не действует на индикаторы, цвет их не изменяется.

После этого приливать кислоту в стаканы, где была прибавлена к индикаторам щелочь, и, наоборот, щелочь в те стаканы, куда была прилита кислота. Приливать растворы кислоты и щелочи до изменения цвета. Обратить внимание учащихся на чувствительность индикаторов и на трудность достижения нейтральной реакции, приливая растворы прямо из склянок.

Опыты в бюретках

1) После вышеописанных предварительных опытов можно произвести более точный опыт в бюретках на 25—50 мл с делениями на $\frac{1}{5}$ или $\frac{1}{10}$ без синей полоски.

Установить бюретки вертикально в зажимах металлического штатива (рис. 126) или на особом штативе (т. I, стр. 66) и в каждую бюретку вставить небольшую вороночку для вливания жидкости. Если конец вороночки опускается ниже нулевого деления бюретки, то его следует обрезать. Необходимо напрактиковаться в отмеривании растворов по каплям.

Наполнить бюретки растворами (о наполнении бюреток и отмеривании жидкости см. ниже, в описании лабораторного опыта). В стакан с 10—20 мл одного из растворов прибавить лакмус и нейтрализовать взятый раствор раствором из другой бюретки, все время помешивая стеклянной палочкой. Под стаканчик подложить лист белой бумаги. Нейтрализацию можно считать оконченной, когда раствор примет фиолетовую окраску и затем от капли кислоты будет краснеть, а от капли щелочи — синеть. Обратить внимание учащихся на то, что в растворе имеется только нейтральная соль, и записать, сколько того и другого раствора было прилито.

Установив таким образом отношение между количествами растворов, нужными для нейтрализации, предложить учащимся рассчитать, сколько потребуется раствора, например, щелочи для нейтрализации некоторого произвольного количества

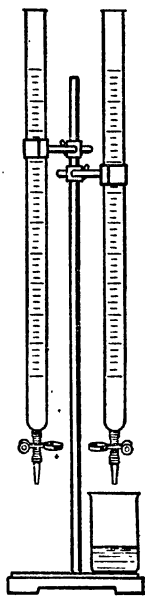


Рис. 126. Бюретки с растворами кислоты и щелочи для демонстрации реакции нейтрализации.

(хотя бы 10 мл) раствора кислоты, и затем на основании произведенного расчета отмерить и слить в стаканчик соответствующие количества растворов (уже без индикатора). Выпарить несколько капель раствора на часовом стеклышке или на куске плоского стекла, держа его высоко над пламенем горелки, и показать полученную соль.

За неимением бюреток для опыта можно воспользоваться двумя измерительными цилиндрами (с носиками), но на это уйдет больше времени.

2) Для лабораторного опыта удобнее взять бюретки на 50 мл с делениями на $\frac{1}{10}$ и с синей полоской. При преломлении в мениске раствора кажется, что синяя полоска имеет перетяжку (рис. 127). Деление бюретки, приходящееся против этой перетяжки, и должен фиксировать глаз при отсчетах.

Если бюретки без синей полоски, то нужно отсчитывать по нижнему краю мениска, т. е. вогнутой поверхности жидкости (рис. 128). Этот нижний край отчетливее виден, если поставить бюретку против окна. Глаз должен находиться на одной горизонтальной линии с нижним краем мениска.

Растворы щелочи и кислоты готовят заранее, лучше на дистиллированной воде¹, а за неимением дистиллированной воды — на прокипяченной. Раствор едкого натра необходимо приготовить свежий и держать его хорошо закупоренным, чтобы в нем не образовалось много карбоната натрия вследствие поглощения углекислого газа из воздуха. Выделяющийся при реакции углекислый газ отвлекает внимание учащихся.

Бюретки следует установить в штативе вертикально, как на рисунке 126. Правой бюреткой пользоваться для раствора едкого натра, левой — для кислоты. Наполнить бюретки, используя маленькие вороночки, приготовленными растворами и вылить часть раствора сильной струей, чтобы вытолкнуть из наконечников бюреток весь воздух.

Если бюретки мокрые, то следует выпустить из бюретки весь раствор, чтобы промыть им бюретку. Иначе раствор в бюретке будет более разбавленный, чем в склянке. Снова наполнить бюретку раствором и, постепенно выпуская раствор, напрактиковаться в том, чтобы раствор вытекал по каплям. Установить уровень жидкости на нулевом делении. При этом нужно установить глаз на одной высоте с уровнем жидкости и отсчитывать по низу вогнутой поверхности жидкости (рис. 128), хорошо видной против света. Если же бюретка с синей полоской, то на уровне деления должна быть кажущаяся перетяжка этой полоски.

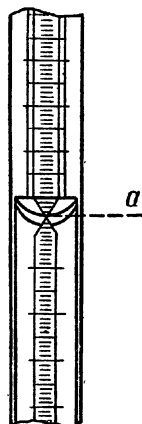


Рис. 127. Мениск в бюретке с синей полоской.

¹ Для точных определений растворы готовят из фиксаналов (т. I, стр. 243), но для первых учебных опытов в этом нет необходимости, достаточно знать примерное соотношение объемов (стр. 148).

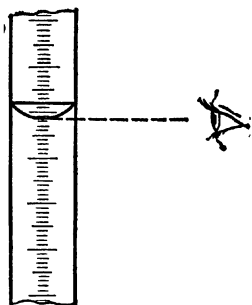


Рис. 128. Отсчет по низу мениска.

Сполоснуть стаканчик или коническую колбочку водой (лучше дистиллированной) несколько раз, налить около $\frac{1}{4}$ стаканчика воды и добавить в него из бюретки 10—15 мл раствора щелочи. Прибавить к раствору немного фиолетового (нейтрального) раствора лакмуса до ясного синего окрашивания. Помешать раствор стеклянной палочкой. Палочка затем должна все время оставаться в стакане. Ее нельзя после помешивания вынимать и класть на стол (в конической колбочке раствор перемешивают взбалтыванием). Под стаканчик подложить лист белой бумаги.

Приливать в тот же стаканчик (колбочку) понемногу раствора кислоты из второй бюретки (все время помешивая): сначала по 1—2 мл, а когда от приливаемой кислоты в растворе будет появляться красное облачко, исчезающее при взбалтывании, медленно прибавлять кислоту по каплям. По достижении фиолетового окрашивания, отсчитать, сколько миллилитров кислоты было выпущено из бюретки. Если есть сомнение, имеет ли полученный раствор действительно фиолетовый цвет (т. е. вполне ли он нейтрален), прибавить к нему после отсчета еще 1—2 капли кислоты. Раствор должен покраснеть. От 1—2 капель щелочи он снова делается фиолетовым, от следующей капли — синим. Если прилито слишком много кислоты, то можно еще прибавить раствор щелочи и снова добиваться фиолетового окрашивания. После этого точно отсчитать израсходованное количество щелочи и кислоты.

Зная, что на a мл щелочи для нейтрализации потребовалось b мл кислоты, вычислить, сколько миллилитров щелочи (c) потребуется для нейтрализации 10 мл серной кислоты.

Вылив раствор из стаканчика, сполоснуть его несколько раз водой (лучше дистиллированной) и налить, как и раньше, немного воды. Влить в стаканчик с водой 10 мл кислоты, прибавить лакмус до ясного розового окрашивания и прилить вычисленное заранее количество миллилитров (c) щелочи. Если после перемешивания раствор окажется щелочным, прибавлять по каплям кислоту до нейтральной реакции; если раствор окажется кислым, прибавлять по каплям щелочь.

Следовало бы ожидать, что получится сразу нейтральный раствор, если первое определение было сделано точно. Но такой случай почти недостижим вследствие целого ряда причин: трудности точного отсчета, неполного соответствия между делениями обеих бюреток и т. п. Поэтому для полной нейтрализации обыкновенно приходится прибавлять еще несколько капель щелочи или кислоты. Если щелочи или кислоты приходится прибавлять не более 2—3 капель, то, значит, первое определение было сделано верно. В противном случае опыт повторить, взяв 10 мл щелочи.

Зная соотношение между данными растворами щелочи и кислоты, приготовить, как указано ниже, нейтральный раствор, не вводя в него лакмус.

Вычислить, сколько миллилитров (d) данной кислоты надо взять для нейтрализации 20 ml данной щелочи. Влить в стаканчик 20 ml щелочи и d ml кислоты и тщательно перемешать. Перелить раствор в фарфоровую чашку, выпарить досуха и рассмотреть кристаллы. Когда остаток остынет, можно испытать его лакмусом. Написать уравнение реакции.

За неимением бюреток можно воспользоваться упрощенными самодельными бюретками из трубок с нанесенными карандашом делениями на матовой полоске (т. I, стр. 90).

3) Нейтрализацию щелочи соляной кислотой с получением значительного количества соли можно провести, исходя из твердого едкого натра. Для этого нужно взять отвешенное количество твердого едкого натра. Сухую чашку тарировать на весах, т. е. уравновесить дробью и бисером, положить в чашку палочку едкого натра длиной около 3—4 cm и взвесить. Брать едкий натр щипцами, не оставлять банку с едким натром открытой, взвешивать возможно быстрее, так как едкий натр притягивает влагу и реагирует с углекислым газом воздуха. Взвешенный кусочек едкого натра переместить из чашки в стакан (не трогать руками, лучше всего спустить по стенке стакана). Растворить едкий натр в чистой воде (лучше дистиллированной). Для этого отмерить мензуркой около 50 ml воды, сполоснуть ею чашку, в которой отвешивался едкий натр, и перелить в стакан. Стакан слегка покачивать.

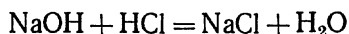
На основании результата предыдущего расчета найти, сколько соляной кислоты необходимо взять для нейтрализации отвешенного количества едкого натра. Отмерить вычисленный объем соляной кислоты бюреткой или измерительным цилиндром и растворить кислоту в стаканчике в небольшом количестве воды (около 50 ml). Прилить приготовленный раствор кислоты к раствору щелочи. Сполоснуть стаканчик, в котором была кислота, небольшим количеством воды и эту воду также вылить в стакан. Раствор хорошо перемешать и испытать его реакцию: при помощи стеклянной палочки нанести одну каплю раствора на красную, другую на синюю лакмусовую бумажку.

Если реакция раствора не нейтральна (вследствие неточности отвешивания и отмеривания), прибавить несколько капель щелочи или кислоты (растворы щелочи и кислоты налить из склянки в пробирку и вносить в стакан с помощью стеклянной палочки). Выпарить полученный нейтральный раствор в фарфоровой чашке. Под конец выпаривать очень осторожно, чтобы соль не разбрызгивалась.

4) Чтобы приготовить растворы едкого натра и соляной кислоты, равные объемы которых нейтрализуют друг друга, нужны соляная кислота (плотность 1,12) и едкий натр (в одной баночке более крупные куски, в другой — мелкие кусочки, для того чтобы можно

было отвесить точно определенное количество щелочи). Для приготовления растворов необходима колбочка на 250 мл (без притертой пробки).

Из уравнения реакции



видно, что для нейтрализации 1 *моль* едкого натра (40 г) нужен 1 *моль* (36,5 г) хлороводорода:

Если приготовить такие растворы, чтобы в некотором объеме, например в 1 л, в 0,5 л и т. д., одного раствора содержался 1 *моль* едкого натра, а в таком же объеме другого раствора — 1 *моль* хлороводорода, то при сливании равные объемы этих растворов будут нейтрализовать друг друга.

То же самое будет, если взять не 1 *моль*, а 0,5, 0,2 и т. д. молей каждого вещества.

Нужно отметить, что если взять по 1 *моль* едкого натра и соляной кислоты и растворить каждый в 1 л воды, то это будет не то же самое, что растворить 1 *моль* в таких количествах воды, чтобы получилось по 1 л каждого раствора. Моли различных жидких и твердых веществ, а также растворы, содержащие одинаковые количества молей различных веществ, занимают разные объемы. При растворении различных веществ в воде происходит изменение объема благодаря физико-химическим взаимодействиям между растворителем и растворяемым веществом, поэтому объем раствора не будет равен сумме объемов растворяемого вещества и растворителя и плотность раствора будет иной, чем плотность растворителя ¹.

5) Раствор, содержащий 1 *моль* вещества в 1 л, называется молярным раствором ².

Для приготовления молярных растворов едкого натра и соляной кислоты следует отвесить в фарфоровой чашке 0,25 *моль* едкого натра и растворить его в той же чашке в небольшом количестве воды. Слить раствор (по палочке) в мерную колбу на 250 мл. Сполоснуть чашку несколько раз водой, которую вливать в ту же колбу. Долить воды до черты на колбе и, закрыв колбу пробкой, хорошо взболтать. Перелить раствор в коническую колбу. Если все не войдет, остаток можно вылить, мерную колбу хорошенько выполоскать.

Отмерить измерительным цилиндром столько миллилитров 24-процентной соляной кислоты (плотность 1,12), чтобы в них заключалось 0,25 *моль* хлороводорода. Раствор такой концентрации содержит 267 г хлороводорода в 1 л. Перелить кислоту в мерную

¹ Кроме растворов с очень малой концентрацией растворенного вещества; в этих случаях плотность раствора можно практически считать равной плотности растворителя (для водных растворов $d = 1$).

² Если учащиеся знакомы с понятием «эквивалент», то можно указать им, что молярные растворы соляной кислоты и едкого натра будут в то же время и нормальными, но что для серной кислоты и для едкого барита нормальным раствором будет раствор, в 1 л которого содержится $1/2$ *моль*, для ортофосфорной кислоты — $1/3$ *моль* и т. д.

колбу на 250 мл и сполоснуть несколько раз измерительный цилиндр, выливая воду каждый раз в ту же колбу. Долив воды до черты, хорошо взболтать раствор. Перелить раствор в коническую колбу и вымыть мерную колбу.

Приготовить растворы, отмерить при помощи измерительного цилиндра равные объемы (например по 50 мл) каждого раствора, перелить их в стакан, перемешать палочкой. Испытать реакцию полученного раствора на лакмусовую бумажку. Если раствор не вполне нейтральный, довести нейтрализацию до конца, прибавляя по каплям кислоту или щелочь. Выпарить некоторое количество раствора в фарфоровой чашке досуха.

Несмотря на некоторую неточность результатов, учащиеся получат небольшое представление о принципе объемного анализа.

Самодельными бюретками можно пользоваться не только для опыта нейтрализации, но и для объемного анализа. Нужно только установить титр количества жидкости, соответствующего расстоянию на шкале бюретки хотя бы в 1 см. Ошибки получаются от неравномерности в толщине трубки и от неточности в отсчетах.

Опыты, проводимые без бюреток

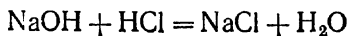
Помимо опытов по нейтрализации кислоты с использованием индикаторов, очень полезно дать учащимся выполнить опыты, при которых для получения соли им придется брать кислоту и щелочь в определенных количествах: щелочь — по массе, кислоту — по объему, зная ее концентрацию.

Несмотря на то что точно отвесить едкий натр очень трудно вследствие его гигроскопичности, стехиометрические расчеты, которые придется выполнить при такой работе, вызовут необходимость вспомнить изученное ранее, и, кроме того, учащиеся смогут применить свои навыки в расчетах на практике.

Эта работа может быть дана в двух вариантах: приготовленные по расчету растворы непосредственно сливают для получения соли и готовят растворы, которые, будучи взяты в равных объемах, дают нейтральный раствор соли (нормальные растворы).

Нет надобности, чтобы каждый учащийся выполнил оба варианта. Можно одним учащимся дать первый вариант, другим — второй, с тем чтобы они потом поделились результатами.

Например, для приготовления поваренной соли нейтрализацией отвешенного количества едкого натра с определенным объемом соляной кислоты нужна чистая соляная кислота (плотность 1,12). 1 л этой кислоты содержит 267 г хлороводорода. Кроме того, нужен едкий натр в палочках. Палочки следует заранее разбить в ступке на кусочки длиной 3—4 см (правила, т. I, стр. 166). Хранить его следует в банке с залитой парафином пробкой. На основании уравнения реакции

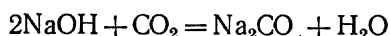


предлагается решить задачу: сколько миллилитров соляной кислоты плотностью 1,12 (24-процентная) нужно взять для нейтрализации 1 г едкого натра, если в 1000 мл данной кислоты содержится 267 г хлороводорода?

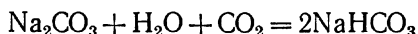
ГИДРОЛИЗ СОЛЕЙ

Кислые, двойные и основные соли

1) **Получение гидрокарбоната натрия.** Опыт заключается в том, что в раствор едкого натра пропускают оксид углерода CO_2 :



Сначала образуется хорошо растворимая нормальная соль — карбонат натрия Na_2CO_3 (при 20°C растворимость равна 22), а затем при дальнейшем пропускании газа выпадает почти вдвое менее растворимая кислая соль — гидрокарбонат натрия NaHCO_3 (при 20°C растворимость равна 9,7):



Для опыта следует приготовить раствор едкого натра, взяв около 15 г щелочи на 100 г воды. В пробирку налить раствор едкого натра и пропускать из прибора Киппа или иного прибора ток оксида углерода (IV), получаемого действием соляной кислоты на мрамор (стр. 347). Так как карбонат натрия растворим в воде, то осадок не образуется. Чтобы показать образование этой соли, нужно отлить немного раствора из пробирки и прибавить к нему соляной кислоты — происходит сильное вскипание. Для сравнения проделать тот же опыт с первоначальным раствором. Так как в растворе едкого натра всегда содержится небольшая примесь карбоната натрия, образующегося за счет поглощения углекислого газа из воздуха, газ выделяется и в данном случае, но гораздо слабее.

Продолжать пропускание оксида углерода CO_2 . Образуется все увеличивающийся осадок гидрокарбоната натрия NaHCO_3 .

2) **Получение гидрокарбоната кальция.** Реакция образования этой соли и соответствующие опыты описаны в главе «Металлы» на странице 365.

3) **Получение гидросульфата натрия NaHSO_4 .** Эту соль можно получить действием на сульфат натрия эквивалентным количеством серной кислоты:



Для этого нужно сначала получить среднюю соль, нейтрализуя едкий натр серной кислотой, а затем добавить еще столько же кислоты, сколько пошло на нейтрализацию.

Для опыта необходимы растворы серной кислоты и едкого натра. Для приготовления раствора серной кислоты отмерить мензуркой 35 мл воды и прибавить 15 мл концентрированной 96-процентной

серной кислоты (плотность 1,84). Растворить кислоту в колбе, полученный раствор охладить до комнатной температуры. Едкого натра растворить 8 г в 100 мл воды в колбе или стакане и также охладить до комнатной температуры.

Мензуркой отмерить 50 мл приготовленного раствора серной кислоты. Нейтрализовать ее приготовленным раствором едкого натра, пользуясь лакмусовой бумажкой (нужно слить примерно равные объемы растворов). Если окажется, что прилит избыток едкого натра, то дополнительные порции кислоты добавлять из мензурки или бюретки, чтобы знать, какой объем израсходован. К нейтральному раствору прилить такой же объем кислоты, какой был взят для нейтрализации. Перелить полученный раствор в фарфоровую чашку, выпарить до начала выделения соли, дать остыть, слить раствор и отжать полученные кристаллы между листами фильтровальной бумаги.

Можно получить гидросульфат натрия действием серной кислоты на готовый сульфат натрия. Для этого нужно отвесить 10 г безводного (без кристаллизационной воды) сульфата натрия, рассчитать, сколько нужно серной кислоты для перевода сульфата натрия в гидросульфат натрия. Отмерить мензуркой соответствующее количество серной кислоты (плотность 1,84), зная, что эта кислота 96-процентная, т. е. в 100 г раствора содержится 96 г H_2SO_4 и что масса 1 мл ее равна 1,84 г.

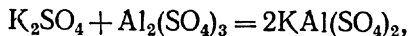
Растворить соль в 25 мл воды. Сульфат натрия малорастворим в воде: в 100 г воды при комнатной температуре растворяется только около 20 г Na_2SO_4 и поэтому взятое для опыта данное количество соли полностью в воде не растворится. Прибавить рассчитанное количество серной кислоты. Осадок перейдет в раствор, так как образовавшийся гидросульфат натрия хорошо растворяется в воде. Выпарить раствор в фарфоровой чашке до начала выделения соли, дать остыть, слить остаток раствора, обсушить полученные кристаллы фильтровальной бумагой и пересыпать их в банку.

4) Получение дигидрофосфата кальция. Налить в стаканчик известковой воды (т. I, стр. 290) и приливать понемногу раствор ортофосфорной кислоты H_3PO_4 , все время перемешивая стеклянной палочкой. Сначала образуется нерастворимая соль фосфата кальция. Получается осадок, который при дальнейшем прибавлении ортофосфорной кислоты растворяется. Образуется дигидрофосфат кальция:



За неимением ортофосфорной кислоты ее можно приготовить кипячением раствора метафосфорной кислоты HPO_3 .

5) Получение алюмокалиевых квасцов. Рассчитать по уравнению реакции:



сколько безводного сульфата алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (в порошке) или кристаллогидрата $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ (кристаллы) нужно на 5 г

сульфата калия (кристаллизуется без кристаллизационной воды) для образования квасцов. Отвесить нужные количества солей.

Растворить сульфат калия в 50 мл воды при нагревании и охладить до комнатной температуры. Растворить сульфат алюминия в 30 мл воды при нагревании и охладить. Смешать оба раствора. Выпарить полученный раствор до начала выделения соли и оставить кристаллизоваться.

Гидролиз солей в водных растворах ¹

Реакции водных растворов солей на индикаторы. Испытать лакмусовой бумажкой, раствором лакмоида, фенолфталеина, лакмуса и другими индикаторами реакцию растворов следующих солей (растворы можно заготовить или однонормальные, т. е. 1 г-экв на 1 л раствора, или 1 : 10): карбоната натрия Na_2CO_3 , карбоната калия K_2CO_3 , сульфата натрия Na_2SO_4 , ацетата (соль уксусной кислоты) натрия $\text{Na}(\text{H}_3\text{C}_2\text{O}_2)$, хлорида алюминия AlCl_3 , хлорида натрия NaCl , сульфата меди CuSO_4 (раствор взять более разбавленный: 1 : 50), нитрата калия KNO_3 , нитрата свинца $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, сульфита натрия Na_2SO_3 , тетрабората натрия (буры) $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, хлорида цинка ZnCl_2 , хлорида аммония NH_4Cl , карбоната аммония $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, хлорида железа FeCl_3 и др. По результатам опытов отметить соли, подверженные и не подверженные гидролизу в водных растворах, и разделить их на группы: а) соли, образованные сильными основаниями и сильными кислотами; б) соли, образованные сильными основаниями и слабыми кислотами; в) соли, образованные слабыми основаниями и сильными кислотами; г) соли, образованные слабыми основаниями и слабыми кислотами.

Опыты выборочно (с включением всех типов солей) можно поставить как демонстрационные, а также дать в виде заданий с вариантами разным группам учащихся.

Усиление гидролиза при нагревании

1) В пробирке готовят 10 мл насыщенного раствора сульфита натрия Na_2SO_3 и прибавляют индикатор метиловый оранжевый, который приобретает красный цвет вследствие гидролиза соли. Красный раствор разливают поровну в два стакана и приливают в каждый столько воды, чтобы окраска жидкости в том и другом стакане была одинаково бледно-розовой. Затем раствор в одном из стаканов нагревают, отчего окраска индикатора становится более красной: при нагревании степень гидролиза сульфита натрия возрастает.

2) В стаканы или пробирки наливают 1 н. растворы сульфата, нитрата и хлорида цинка, испытывают лакмусом и метиловым

¹ По действующим программам явления гидролиза изучаются после электролитической диссоциации на основе ионных представлений.

оранжевым. Лакмус, как более чувствительный индикатор, краснеет, метиловый оранжевый не изменяет окраски (остается оранжевым)¹, однако при нагревании растворов с этим индикатором он принимает красную окраску вследствие повышения степени гидролиза.

3) В пробирку налить 4—5 мл раствора ацетата натрия и 1—2 капли раствора фенолфталеина. Раствор нагреть до кипения. При этом появляется красное окрашивание, причиной которого является повышение щелочности раствора вследствие усиления гидролиза.

Полный и неполный гидролиз. Образование основных солей при гидролизе

Перечисленные выше опыты относятся к случаям неполного гидролиза, равновесие которого (стр. 156) может быть смещено при повышении температуры и при разбавлении раствора. Однако многие соли, образованные слабыми основаниями, подвергаются гидролизу нацело с образованием основных солей или нерастворимых оснований. Такие соли в водных растворах не существуют и не образуются при обменных реакциях.

1) **Взаимодействие хлорида железа (III) с карбонатом натрия.** К раствору хлорида железа FeCl_3 приливают раствор карбоната натрия Na_2CO_3 . Выпадает бурый осадок гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$ и выделяется оксид углерода CO_2 . Карбонат железа не образуется.

2) **Гидролиз сульфида алюминия.** а) Сульфид алюминия, полученный при взаимодействии алюминия с серой (т. I, стр. 323), бросают в стакан с водой. Начинается бурная реакция, которая протекает до конца с образованием гидроксида алюминия и выделением сероводорода; последний определяется по запаху и по почернению фильтровальной бумаги, смоченной раствором нитрата или ацетата свинца.

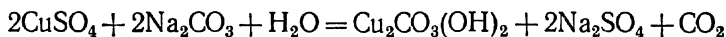
б) К раствору сульфата или хлорида аммония приливают раствор сульфида натрия, прикрывают стакан кружком фильтровальной бумаги, смоченной раствором свинцовой соли. Выпадает осадок гидроксида алюминия. Сульфид алюминия не образуется; от выделяющегося при реакции сероводорода свинцовая бумага чернеет.

3) **Взаимодействие хлорида алюминия и карбоната натрия.** Растворы хлорида алюминия и карбоната натрия сливают в пробирках или стаканах. Выпадает осадок гидроксида алюминия; карбонат алюминия не образуется.

4) **Образование основного карбоната меди.** Отвесить (с точностью до 0,1) 2,5 г медного купороса $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Рассчитать, сколько граммов кристаллической соды $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (или без-

¹ Область изменения окраски для лакмуса (лакмоида) находится в пределах 5—8 pH, для метилового оранжевого 3,1—4,4 pH.

водной соды Na_2CO_3) нужно отвесить, если реакция с учетом гидролиза протекает следующим образом:



Растворить каждую соль в $\frac{1}{2}$ пробирки воды. Слить растворы в фарфоровой чашке или в стаканчике. В первый момент замечается образование голубого осадка, который быстро зеленеет, причем жидкость пенится вследствие выделения оксида углерода CO_2 .

Слегка нагреть раствор (не до кипения) и продолжать нагревание, пока прекратится выделение газа. Отфильтровать осадок, промыть на фильтре водой, вынуть фильтр, развернуть, разровнять соль и оставить сохнуть на воздухе. Получилась основная соль $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ зеленого цвета. Карбонат меди состава CuCO_3 (подобно, например, карбонату кальция CaCO_3) в этих условиях не образуется.

Данную реакцию можно использовать для получения значительных количеств основного карбоната меди для опытов (т. I, стр. 346).

5) Образование основного карбоната свинца. Слить растворы нитрата свинца и карбоната натрия в пробирку. Образуется белый осадок основного карбоната свинца $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$ — свинцовые белила. Механизм реакции такой же, как и при образовании основного карбоната меди.

Усиление гидролиза при разбавлении раствора

1) К 1 мл раствора хлорида сурьмы SbCl_3 , подкисленного соляной кислотой¹, приливают дистиллированную воду. Вследствие усиления гидролиза при разбавлении появляется белый осадок, образующий вначале тонкую взвесь. При приливании нескольких капель соляной кислоты осадок растворяется, при достаточном разбавлении — появляется вновь.

Аналогично опыт может быть выполнен с раствором хлорида или нитрата висмута².

¹ Соляную кислоту прибавляют к раствору SbCl_3 для подавления (смещения равновесия) гидролиза. Так как со временем гидролиз многих солей (FeCl_3 , AlCl_3 , $\text{Pb}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)_2$, ZnSO_4 , $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ и др.) протекает в водных растворах самопроизвольно с образованием основных солей, то при хранении таких растворов к ним прибавляют небольшие количества соответствующих кислот.

² Основной хлорид сурьмы $\text{Sb}(\text{OH})_2\text{Cl}$, который мог бы образоваться при полном гидролизе, неустойчив. Он отщепляет воду, и из раствора выпадает оксихлорид сурьмы состава SbOCl , содержащий радикал антимонил SbO^+ . Подобно этому образуются также оксисоли висмута (BiOCl и BiONO_2), содержащие радикал висмутит BiO^+ , а также оксисоли некоторых других тяжелых металлов.

Глава VI

ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ

Истинные растворы

ОТЛИЧИЕ РАСТВОРОВ ОТ ВЗВЕСЕЙ

Приготовить в больших пробирках, закрытых пробками (лучше в цилиндрах с притертыми пробками, см. т. I, стр. 120), взвеси глины отмученной и порошка мела в воде (суспензии), растительного масла и бензола в воде, воды в керосине (эмульсии). Для большей устойчивости эмульсий, чтобы они медленнее расслаивались, можно прибавить к ним по несколько капель раствора буры или мыла. Перед демонстрацией суспензии и особенно эмульсии сильно встряхивают и выставляют для наблюдения рядом с такими же цилиндрами (пробирками), в которых приготовлены бесцветные и окрашенные растворы хлорида натрия, дихромата калия, сульфата меди. Внимание учащихся обращается на то, что взвеси расслаиваются, а растворы остаются без изменения.

Самопроизвольность образования раствора

1) В открытые цилиндры с водой опустить кристаллы медного купороса, дихромата калия (выбрать по возможности крупные кристаллы и перед опусканием в воду смазать их вазелином), хромокалиевых квасцов. В один из цилиндров на поверхность воды осторожно по стенке налить слой спирта толщиной 4—5 см. Происходит самопроизвольное растворение, постепенное размывание границы между водой и раствором, продвижение частиц растворенного вещества по всему объему раствора (диффузия)¹.

Сравнить процесс образования растворов с образованием взвесей, для приготовления которых необходимо встряхивание, взбалтывание или другое механическое воздействие.

2) Взболтать кристаллы растворимого вещества (например, дихромата калия) в стакане или цилиндре с водой стеклянной палочкой — процесс образования раствора ускорится.

3) Кристаллы соли подвесить в марлевом мешочке или в пробирке с отверстием в дне в верхней части цилиндра с водой

¹ Другие опыты по диффузии веществ в растворах см. в т. I, стр. 310.

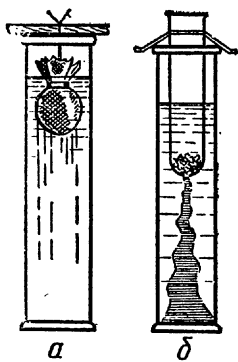


Рис. 129. Растворение соли в верхнем слое воды и самопроизвольное перемешивание раствора.

(рис. 129 а, б). Цель опыта — показать, как можно быстро растворить вещество, не прибегая к размешиванию.

Более тяжелый раствор опускается вниз, и таким образом происходит самопроизвольное перемешивание. Вся соль быстро переходит в раствор. Этим способом пользуются в технике, подвешивая в мешках, сетках и т. п. подлежащие растворению вещества в верхней части резервуара с растворителем.

Для опытов можно взять перманганат калия, дихромат калия, сульфат меди и даже неокрашенную соль. Струйки более тяжелого, чем вода, раствора вблизи хорошо видны. Для сравнения в пробирке или мешочке подвешивают мел и известь. В том и другом случае струйки раствора заметить нельзя, но через некоторое время испытание фенолфталеином покажет, что небольшое растворение извести все же происходит (о растворимости веществ см. стр. 167).

ПРОЦЕСС РАСТВОРЕНИЯ И ЯВЛЕНИЯ, ЕГО СОПРОВОЖДАЮЩИЕ

Осмотическое давление

Обычно при изучении растворов в курсе химии средней школы ограничиваются только показом явлений диффузии как процесса движения частиц во всех направлениях (т. I, стр. 310). Однако для понимания многих биологических процессов очень важно познакомиться учащихся с односторонней диффузией — осмосом и связанным с ним осмотическим давлением, которое обнаруживается при разделении растворителя и раствора полупроницаемой перепонкой. Каких-либо количественных измерений при этом не делают и количественной характеристики величин осмотического давления не дают.

1) Наиболее доступным и удобным материалом для полупроницаемой перепонки является прозрачная пленка целлофана, которая применяется для заворачивания конфет, печенья и т. п. В качестве сосуда можно взять верхнюю часть обрезанной склянки (рис. 130, а), острые края которой должны быть тщательно сглажены напильником (т. I, стр. 220).

Из целлофана вырезают соответствующих размеров круг, который размачивают в воде в течение нескольких минут. Мягкую влажную пленку, предварительно сняв с нее лишнюю воду куском фильтровальной бумаги, кладут на отверстие сосуда, после чего края пленки загибают возможно ровными складками. Пленку слегка натягивают и затем укрепляют при помощи тонкого шнура,

который много раз обертывают вокруг сосуда и закрепляют узлом (удобно использовать для этой цели капроновую леску достаточной толщины). Шнурок должен быть сухой, чтобы затем, намочив в воде, он плотнее прижал пленку к стеклу. Успех опыта зависит от того, насколько плотно укреплена влажная пленка.

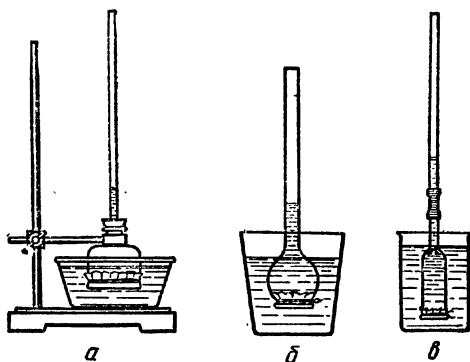


Рис. 130. Осмотическое давление.

К горлышку обрезанной склянки подбирают хорошую пробку, в которую вставляют трубку диаметром 5—6 мм и длиной 50 см и больше. Трубка не должна выходить из нижнего конца пробки.

Раствор сахара в воде готовят насыщенным. Можно растворить сахар при нагревании (не до кипения) и затем дать раствору остыть. Раствор подкрашивают красными чернилами.

Вместо обрезанной склянки можно взять длинную воронку, как на рисунке 130, б и в, но ее менее удобно наполнять раствором сахара. Приходится это делать через воронку из оттянутой пробирки или укреплять пленку на уже наполненной раствором перевернутой воронке, конец которой для этого предварительно закрывают резиновой трубкой с зажимом.

В сосуд, наполненный насыщенным раствором сахара почти доверху, вставляют пробку с трубкой. Раствор при этом поднимается в трубке на небольшую высоту. У пробки не должно оставаться пузырька воздуха. Укрепляют горлышко сосуда в зажиме штатива и погружают сосуд в чашку или стакан с водой.

Если прибор устроен правильно и целлофан не имеет отверстий, жидкость за 1 ч поднимается на несколько десятков сантиметров, а при не очень длинной трубке даже выливается через открытый верхний конец.

Целлофан должен быть не слишком тонкий, чтобы пленка его не прорвалась под давлением столба поднявшегося раствора.

2) **Эндоосмос и экзоосмос.** Небольшую баночку наполняют насыщенным раствором сахара, натягивают на нее влажную мягкую пленку целлофана так, чтобы под пленкой не осталось пузырьков воздуха. Вторую такую же баночку наполняют водой и тоже затягивают пленкой. Первую баночку погружают в стакан с водой, вторую — в стакан с концентрированным раствором сахара (рис. 131, а и б). Если пленка не имеет дефектов, то она в первом стакане выгибается вверх (эндоосмос), во втором — втягивается внутрь (экзоосмос).

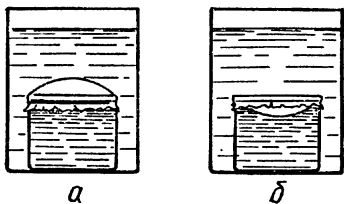


Рис. 131. Эндоосмос (а) и экзоосмос (б).

3) Искусственные водоросли. а) Явление образования полупроницаемых пленок и проникновения через них растворителя можно использовать для «выращивания» так называемых искусственных водорослей.

Если в цилиндр или пробирку с раствором силиката натрия (можно использовать разбавленный вдвое силикатный канцелярский клей, но раствор его мутный и трудно фильтруется)

бросить кусочек хлорида железа FeCl_3 , то вокруг него немедленно образуется пленка из силиката железа, через которую будет проникать вода. От этого пленка раздувается и разрывается. Вытекающий в месте разрыва раствор хлорида железа соприкасается с раствором силиката, при этом вновь образуется пленка и т. д. От дна пробирки растут причудливо извивающиеся стебли с боковыми отростками.

Для приготовления коллекции разнообразных «водорослей» наполняют почти доверху 50-процентным раствором силиката натрия несколько цилиндров или больших пробирок (рис. 132) и бросают туда кусочки хлорида железа FeCl_3 — образуются водоросли бурого цвета, от кристаллов хлорида кобальта — сиреневые водоросли, от хлорида никеля — светло-зеленые водоросли, от хлорида марганца — белые водоросли с розоватым оттенком, от сульфата железа (II) — изумрудно-зеленые. Соли алюминия и магния образуют бесцветные стекловидные стебли.

Опыт можно провести в большом стакане, стеклянной банке¹, наполненной раствором силиката натрия. В раствор бросают последовательно соли разных металлов. При росте водорослей возникает красивый «химический ландшафт».

б) Кроме раствора силиката натрия для создания искусственных водорослей можно использовать 3—4-процентный раствор гексациано-(III)-феррат калия $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ или гексациано-(II)-феррат калия $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, т. е. красную или желтую кровяную соль. В цилиндр или пробирку с раствором той или другой соли бросают кристаллы солей меди (лучше кристаллы двойной соли $(\text{NH}_4)_2\text{CuCl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, но можно брать сульфат или хлорид меди, правда, «водоросли» растут в этом случае медленно и получаются небольшие).

Лучшие результаты получаются, если в 3-процентный раствор сульфата меди опустить кристаллы указанных выше комплексных

¹ Следует иметь в виду, что силикат натрия сильно разъедает стекло и стеклянные цилиндры при длительном нахождении в них этого раствора могут быть испорчены, поэтому предпочтительнее пользоваться дешевыми банками или приготовить самодельные цилиндры из широких стеклянных трубок, например из обрезанных перегоревших ламп дневного света (т. I, стр. 214).

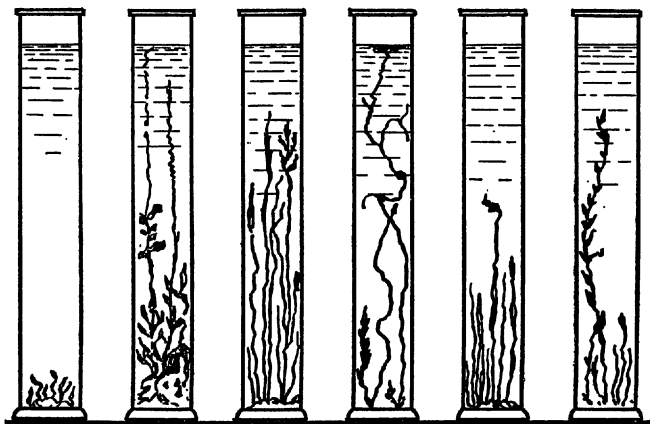


Рис. 132. Искусственные водоросли.

солей. Стойкость растущих водорослей можно повысить, если к растворам этих солей или раствору сульфата меди прибавить раствор желатины. Еще лучше использовать для выращивания и сохранения «водорослей» из медных солей специально приготовленный раствор из 100 мас. ч. дистиллированной воды, 5—10 мас. ч. насыщенного раствора красной кровяной соли и 10—20 мас. ч. 0,5-процентного раствора желатины.

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ РАСТВОРЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОДЕ

Значительные изменения температуры при растворении в воде серной кислоты H_2SO_4 , едкого натра $NaOH$, безводного хлорида кальция $CaCl_2$ и других веществ можно обнаружить, прикоснувшись рукой к стенке сосуда, в котором производят растворение. В других случаях необходимо пользоваться демонстрационным термометром, а при отсутствии последнего — термоскопом (т. I, стр. 93) или некоторыми дополнительными приспособлениями (см. ниже).

1) Чтобы показать понижение температуры при растворении, можно воспользоваться поваренной солью (хлоридом натрия) и селитрой (нитратом калия). Из солей, дающих более резкое понижение температуры при растворении, можно взять хлорид аммония, нитрат натрия, ацетат натрия кристаллический, хлорид кальция кристаллический, роданид калия $KCNS$, нитрат аммония и др.

Нижеследующие данные дают представление о понижении температуры, вызываемой различными солями:

	Количество соли на 100 г воды в г	Температура в °С		
		начальная	по растворе- нии соли	понижение
Квасцы кристаллические	14	10,8	9,4	1,4
Хлорид натрия	36	12,6	10,1	2,5
Сульфат натрия	75	13,2	6,8	6,4
Нитрат натрия	16	13,2	3,0	10,2
Ацетат натрия	85	10,7	4,7	15,4
Хлорид аммония	30	13,3	—5,1	18,4
Хлорид кальция (кристал- лический)	250	10,8	—12,4	23,2
Нитрат аммония	60	13,6	—13,6	27,2
Роданид аммония	133	13,6	—18,0	31,6
Роданид калия	150	10,8	—23,7	34,5

Чтобы составить охлаждательные смеси солей со снегом, нужно смешать 100 г снега при -1°C с указанными ниже количествами солей, тогда смеси будут иметь температуры:

Соли	Количество солей на 100 ч. снега в г	Температура в $^{\circ}\text{C}$ ¹
Нитрат натрия	13	—2,85
Хлорид калия	30	—10,9
Хлорид аммония	25	—15,4
Нитрат аммония	50	—17,75
Хлорид натрия	33	—21,3
Хлорид кальция (кристалли- ческий)	143	—50

Для опытов с повышением температуры можно воспользоваться едким натром NaOH, едким кали KOH и концентрированной серной кислотой H_2SO_4 (плотность 1,84). Опыты с солями и щелочами производятся с термоскопом, опыт с серной кислотой — без термоскопа.

Для опытов необходимо приготовить стаканы, лучше толсто-стенные. Только для серной кислоты нужен тонкостенный стакан или колбочка, так как толстостенный стакан от резкого повышения температуры может треснуть. В стаканы заранее наливают столько воды, чтобы в нее можно было погрузить шарик термоскопа до самой пробки и оставалось еще место для прибавляемого вещества. Для серной кислоты следует взять воды около $\frac{1}{4}$ стакана. Соли, хорошо

¹ Смесь твердого оксида углерода CO_2 с эфиром или бензолом имеет температуру около -100°C .

измельченные, можно приготовить в банках или стаканчиках, едкий натр — в виде небольших кусочков (раздробить пестиком в ступке 1—2 палочки; *правила*, т. I, стр. 166) в банке, плотно закрытой пробкой.

Погрузить шарик термоскопа в воду стаканчика и, убедившись, что столбик жидкости в термоскопе не смещается, отметить его положение резиновым колечком. Высыпать в воду несколько ложек поваренной соли и помешивать термоскопом до тех пор, пока не будет заметно более или менее значительного понижения температуры. То же самое проделать и с остальными веществами. При растворении едкого натра происходит сильное повышение температуры. В последний стаканчик прилить серной кислоты немного больше чем до половины стаканчика и размешать стеклянной палочкой. Повышение температуры происходит настолько сильное, что жидкость нагревается почти до кипения и из стаканчика поднимается «пар».

2) Если есть возможность воспользоваться снегом или толченым льдом, следует показать замораживание воды в пробирке, воспользовавшись одной из указанных выше охлаждающих смесей. Беря снег и поваренную соль, можно смешать их приблизительно, не отвешивая (примерно 1 объем соли на 2 объема снега).

3) При лабораторных опытах термометр и термоскоп не обязательны. Изменение температуры отчетливо ощущается рукой. Опыты производят в пробирках или в маленьких колбочках. Кроме поваренной соли и селитры, можно взять еще несколько солей из перечисленных выше.

При опыте с едким натром не следует закрывать пробирку пальцем. Взбалтывать жидкость нужно, держа пробирку двумя пальцами за самый верх и раскачивая нижний конец пробирки из стороны в сторону.

При опыте с концентрированной серной кислотой сначала влить в пробирку немного воды, а уже затем прибавить равный объем кислоты и взболтать, как указано при опыте с едким натром, не закрывая пальцем.

Лить воду в кислоту *опасно*, так как из-за сильного разогревания вода сразу же обращается в пар и кислота разбрызгивается.

4) Значительное понижение температуры при растворении нитрата аммония можно показать в опыте примораживания стакана. В тонкостенный стаканчик объемом 100 мл с плоским (не вогнутым внутрь) дном наливают 50 мл воды и ставят его на деревянный кубик, дощечку и т. п. Под дно стаканчика наливают немного воды, высыпают в стаканчик с налитой в него водой около одной столовой ложки измельченного нитрата аммония и перемешивают стеклянной палочкой, придерживая стаканчик рукой, чтобы не сдвинуть его с места. Через некоторое время стаканчик примерзает.

По окончании опыта концентрированный раствор выливают из стаканчика в фарфоровую чашку и оставляют испаряться на воз-

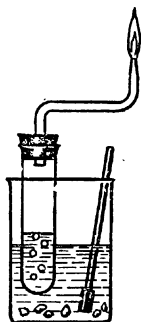


Рис. 133. Закипание эфира от теплоты растворения.

духе, слегка смазав края чашки вазелином, чтобы кристаллы нитрата аммония не «перелезали» через край¹.

5) **Закипание эфира при растворении едкого натра в воде.** В пробирку, снабженную пробкой с газоотводной трубкой, изогнутой, как показано на рисунке 133, наливают 2—3 мл серного эфира. В стакан емкостью 100 мл наливают 40—50 мл воды и осторожно всыпают около одной чайной ложки едкого натра (при необходимости предварительного измельчения см. *правила*, т. I, стр. 166) и взбалтывают стеклянной палочкой с надетым на конце куском резиновой трубки, чтобы случайно не пробить дно стакана. В образовавшийся горячий раствор опускают пробирку с эфиром и продолжают взбалтывание. Через некоторое время эфир

закипает, и пары его можно зажечь у оттянутого конца стеклянной трубки.

По окончании опыта концентрированный раствор щелочи, когда он остынет, сливают в бутылку, при необходимости разбавляют до нужной концентрации и используют по назначению.

6) С таким же эффектом можно демонстрировать опыт разбавления серной кислоты (вливать кислоту в воду). Можно использовать для такой демонстрации тепловой эффект растворения безводного хлорида кальция (в стаканчик с 40 мл воды всыпать не менее двух чайных ложек измельченной соли и размешать).

7) Тепловой эффект растворения одного и того же вещества может быть положительным или отрицательным в зависимости от того, взята ли безводная соль или соответствующий кристаллогидрат.

Для сравнительных опытов с использованием термоскопа (т. I, стр. 93) можно взять следующие пары солей: сульфат меди безводный CuSO_4 (растворяется с повышением температуры и изменением окраски) и кристаллогидрат $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (растворяется с понижением температуры); карбонат натрия безводный, кальцинированная сода Na_2CO_3 (растворяется с разогреванием) и десятиводный кристаллогидрат $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (растворяется с охлаждением); хлорид кальция CaCl_2 (см. выше) и кристаллогидрат $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (происходит охлаждение при растворении); сульфаты натрия Na_2SO_4 и $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$; квасцы $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ и $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ и пр.

При лабораторных опытах термометр и термоскоп не обязательны. Изменение температуры отчетливо ощущается рукой. Опыты можно производить в пробирках или в маленьких колбочках.

¹ Этим приемом следует пользоваться во всех случаях испарения концентрированных растворов при обычной температуре, так как по образовавшимся на стенке чашки кристаллам часть насыщенного раствора поднимается и может даже попасть на наружную стенку.

Растворимость в воде твердых веществ

1) Растворимость гипса и извести. Цель опыта — показать пример малорастворимого вещества. В стакан с водой всыпать немного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и размешивать в течение некоторого времени стеклянной палочкой. Гипс как будто бы совсем не переходит в раствор. Отфильтровать немного раствора в стакан, перелить в железную чашку и быстро выпарить. На дне чашки остается перешедший в раствор гипс в виде белого порошка. Железную чашку следует изнутри предварительно хорошо вычистить и прокалить, чтобы железо покрылось слоем окислы. Тогда она не ржавеет и белый налет, остающийся после выпаривания, виден отчетливо.

Опыт можно выполнить также с гашеной известью¹.

2) Испытание растворимости сульфата бария. Цель опыта — показать пример практически нерастворимого вещества. Опыт выполняется, как предыдущий. После выпаривания части отфильтрованного раствора следов сухого остатка не остается: растворимость сульфата бария составляет всего 0,00017 г в 100 мл воды.

Для доказательства того, что абсолютно нерастворимых веществ не существует, нередко показывают растворимость стекла в воде: стекло растирают в ступке с водой и затем прибавляют раствор фенолфталеина. По покраснению последнего судят о «растворимости» стекла. В действительности же здесь происходит не растворение стекла в обычном смысле, а его выщелачивание.

3) Сравнение растворимости различных твердых веществ и зависимость ее от температуры. Серию описанных ниже опытов можно провести в пробирках, поручив выполнение их учащимся на практических занятиях. Для опытов следует взять сульфат бария, сульфат кальция (или гидроксид кальция), квасцы $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$, хлорид натрия, нитрат калия. Все вещества должны быть хорошо измельчены. Для выпаривания можно использовать ложечки из железа (т. I, стр. 70) или жестяные крышки от бутылок и банок. Для отмеривания 2 мл воды лучше воспользоваться бюретками (1—2 бюретки на класс), маленькими мензурками или пробирками с меткой, которые заготавливают заранее.

На аптечных весах (т. I, стр. 80) отвесить по 0,5 г сульфата бария, сульфата кальция (гипс), квасцов $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$, селитры KNO_3 , поваренной соли (вещества можно не называть, а обозначить их номерами). Пересыпать соли в пробирки и в каждую пробирку прибавить по 2 мл воды (лучше дистиллированной). Закрыв про-

¹ Растворимость $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ составляет при комнатной температуре около 0,2 г, растворимость $\text{Ca}(\text{OH})_2$ — около 0,16 г в 100 мл воды. В последнем случае переход вещества в раствор, кроме выпаривания остатка, может быть показан по изменению окраски лакмуса или фенолфталеина.

бирку пальцем, долгое время взбалтывать. Так поступить со всеми пробирками по очереди, стараясь их не перепутать. Отметить, где изменилась температура при растворении: пробирки с квасцами, селитрой и поваренной солью немного охладились. Указать, какие вещества при этом совсем не растворились (BaSO_4 и CaSO_4), какие растворились только отчасти (квасцы) и какие растворились полностью (NaCl , KNO_3).

Чтобы убедиться, действительно ли не растворились те вещества, которые кажутся нерастворимыми, профильтровать жидкость и выпарить понемногу на железных ложечках: нерастворим практически только сульфат бария. Снова взять по 0,5 г обоих веществ, прибавить по 2 мл воды, нагреть жидкость до кипения и затем отфильтровать раствор и выпарить каждый фильтрат в той же железной ложечке, что и раньше (предварительно ее вытереть): результат не изменился.

Жидкость в пробирке, в которой вещество растворилось только отчасти, также нагреть: квасцы растворились.

Прибавить еще 0,5 г вещества и снова нагреть. Добавлять соль до тех пор, пока она перестанет растворяться (прибавлять приходится много раз).

Прибавлять по 0,5 г вещества в те пробирки, где все вещество сразу растворилось, и взбалтывать без нагревания: растворяются все соли, кроме хлорида натрия. С этим веществом повторить опыт с нагреванием, как в предыдущем случае: поваренная соль не растворилась, растворимость ее с повышением температуры меняется очень мало. Оставить пробирки с растворами охлаждаться: в пробирках с квасцами и селитрой выпадает обильный осадок, в пробирке с поваренной солью — очень маленький.

Характеризовать растворимость всех взятых веществ и зависимость растворимости от температуры.

После этого можно познакомить учащихся с графиками растворимости. Полезно дать учащимся решить несколько задач, пользуясь этими графиками.

4) Растворимость нитрата калия (селитры). Опыты по исследованию растворимости нитрата калия дают возможность не только проследить зависимость растворимости от температуры, но и получить количественные значения растворимости.

Селитру для опытов лучше взять чистую, чтобы при растворении получился прозрачный, а не мутный раствор. В колбочке на 250—300 мл (конической или круглодонной с широким горлом) приготовить 100 мл чистой воды. В приготовленную воду всыпать небольшими порциями селитру (при помощи ложечки и т. п.), все время взбалтывая и выжидая, пока растворится вновь добавленная порция. Всыпать до тех пор, пока селитра перестанет растворяться. Получается раствор, насыщенный при обыкновенной температуре.

Большая часть приготовленной селитры остается нерастворенной. Растворить ее при нагревании. Всыпать также отдельными порци-

ями, все время взбалтывая раствор и не оставляя колбы с нерастворившимся веществом над пламенем без взбалтывания (т. I, стр. 125). Круглодонную колбу можно нагревать в пламени, держа колбу в руке (обернуть горло сложенной в несколько слоев бумагой). Когда вся приготовленная селитра растворится, показать, что при понижении температуры вещество опять выделяется из раствора. Для этого можно или погрузить колбу в чашку с холодной водой, или охлаждать водой непосредственно из водопроводного крана. И в том и в другом случае для более быстрого охлаждения раствор в колбе следует все время взбалтывать.

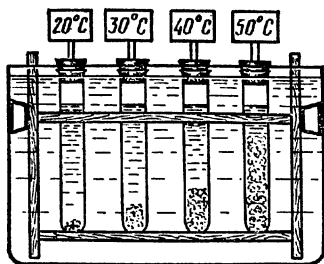


Рис. 134. Растворимость селитры при различных температурах.

После того как из раствора выделится более или менее значительное количество осадка, колбу обтереть полотенцем и, показав осадок учащимся, снова нагревать, пока осадок растворится. Нагрев раствор почти до кипения, вылить его в плоский сосуд (кристаллизационную чашку) диаметром около 15 см и оставить медленно кристаллизироваться. Через 15—20 мин на дне сосуда выделяется целый лес крупных кристаллов селитры, которые показать учащимся, слив предварительно маточный раствор.

Опыт можно показать также с квасцами, хлоридом аммония и другими солями, растворимость которых сильно меняется при нагревании (см. кривые растворимости).

Для лабораторного опыта нужно взять меньше селитры, например 20 г на 25 мл воды. Чтобы показать количественно сравнительную зависимость растворимости от температуры, можно сливать в ряд пробирок равные объемы растворов селитры, насыщенные при разных температурах. Для этого почти насыщенный при 100 °С раствор охлаждают постепенно до 90 °С (можно поместить колбу в чашку с горячей водой, чтобы охлаждение шло медленно), следя за понижением температуры по термометру. По достижении заданной температуры должно начаться выделение кристаллов. Быстро выливают часть раствора в пробирку (почти доверху, но чтобы можно было закрыть пробирку пробкой), следя, чтобы выпавшие на дно колбы кристаллы не попали в пробирку. Вновь помещают колбу в чашку с водой, охлаждают до 80 °С, опять отливают раствор в пробирку и так поступают, доводя охлаждение раствора до комнатной температуры и отливая его через каждые 10 °С.

По охлаждении в каждой пробирке получают различные количества кристаллов. Объемы, занятые в каждой пробирке кристаллами, составят как бы диаграмму (рис. 134), от которой переходят к кривым растворимости (П. В. Верещагин).

Определение коэффициента растворимости селитры (или другого вещества) при разных температурах¹ можно провести на практических внеклассных занятиях, чтобы затем вычертить график растворимости. При этом нет необходимости получать большое число значений для разных температур, достаточно иметь для составления графика 4—5 точек, по которым можно вычертить кривую. Лучше дать нескольким учащимся выполнить опыт при одной и той же температуре, чтобы взять средние данные.

П о р я д о к р а б о т ы:

1) Взвесить пустую фарфоровую чашку — m_1 .

2) В колбочке на 50—100 мл приготовить в 30—50 мл воды концентрированный раствор селитры при температуре, на 5—10 °С большей, чем заданная², и, следя за показанием термометра, медленно охладить раствор до заданной температуры (при этом на дне колбы должны выпасть кристаллы).

3) Быстро отлить во взвешенную чашку 5—10 мл раствора (выпавшие в колбе кристаллы не должны попасть в чашку).

4) Взвесить чашку с раствором, охладив его предварительно до комнатной температуры (на дне чашки при этом появятся кристаллы селитры), — m_2 .

5) Осторожно выпарить раствор досуха, охладить чашку с оставшейся в ней селитрой и взвесить — m_3 .

6) Оставшийся в колбе раствор можно вновь нагреть до растворения выпавших кристаллов, охладить до другой заданной температуры и повторить все операции.

В ы ч и с л е н и я:

1) Масса отлитого раствора:

$$m_2 - m_1 = m_4 \text{ (г)}$$

2) Масса сухого остатка селитры:

$$m_3 - m_1 = m_5 \text{ (г)}$$

3) Масса испаренной воды:

$$m_4 - m_5 = m_6 \text{ (г)}$$

¹ Точные данные о растворимости веществ при разных температурах имеются в справочниках, и ими нужно пользоваться для того, чтобы приблизительно судить, сколько вещества надо взять для получения насыщенного раствора во взятом объеме воды. При этом следует иметь в виду, что в справочниках количественное значение растворимости показывается как концентрация насыщенного раствора в процентах. Для пересчета растворимости на 100 г растворителя (воды) можно пользоваться формулой:

$$x = \frac{100c}{100 - c},$$

где x — коэффициент растворимости, c — концентрация насыщенного раствора в процентах.

² Количество селитры, которое нужно растворить во взятой воде при этой температуре, определить по справочнику или по кривой растворимости.

4) Коэффициент растворимости селитры при данной температуре (растворимость в 100 г воды):

В m_6 г H_2O растворяется m_5 г KNO_3

$$B \text{ 100 g H}_2\text{O} \quad \text{„} \quad x \text{ g KNO}_3 \quad x = \frac{100 \cdot m_5}{m_2}$$

Остатки насыщенного раствора и сухую селитру из чашек собрать в отдельные банки; их можно использовать для последующих работ.

Растворимость газов в жидкостях

1) Выделение растворенного в воде воздуха при нагревании.

Демонстрационный опыт можно показать в приборах, изображенных на рисунке 135, *а* и *б*. В первом случае колба объемом 1 л или более наполняется свежей водопроводной, родниковой или речной водой до самого верха. Длинную стеклянную трубку с изогнутым концом и надетой на другой конец подобранной по размерам горла колбы резиновой пробкой (кончик стеклянной трубки не должен выдаваться из пробки) также наполняют водой (например, засасыванием) и, закрыв изогнутый конец пальцем, плотно вставляют пробку в горло колбы так, чтобы под пробкой не было пузырьков воздуха. Изогнутый конец трубки погружают в стакан с водой и надевают на него наполненную водой пробирку. Постепенно нагревают воду в колбе до кипения. Растворенный в воде воздух вытесняет из трубки воду и собирается в пробирке. Остатки воздуха из трубки вытесняются водяным паром. Когда пузырьки воздуха перестанут поступать в пробирку, прекращают нагревание, после чего водяной пар в трубке и в горле колбы под пробкой конденсируется, в колбу и трубку из стакана засасывается вода. Объем

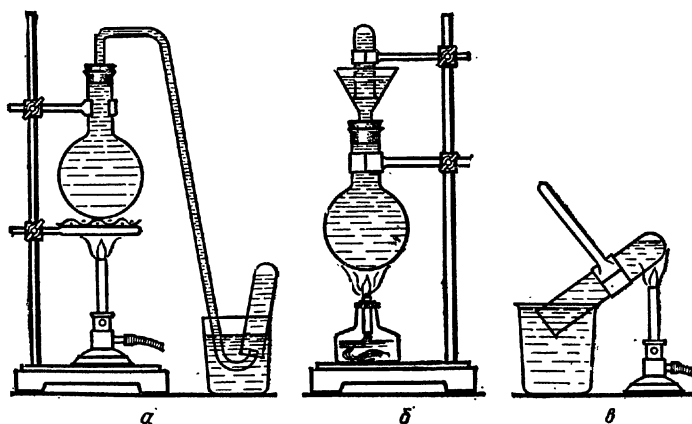


Рис. 135. Выделение из воды растворенного в ней воздуха при нагревании.

собранного в пробирке воздуха можно измерить, нанеся на стенку пробирки метку и вливая до метки воду из бюретки¹.

Во втором случае (рис. 135, б) длинная отводная трубка не нужна. В наполненную водой колбу вставляют пробку с воронкой (Д. М. Кирюшкин). В воронку наливают воду (пузырьки воздуха из трубки воронки должны быть удалены) и опускают наполненную водой пробирку, закрепив ее точно над отверстием воронки в зажиме штатива. При нагревании воды до кипения (круглодонную колбу можно нагревать без сетки) воздух собирается в пробирке, а пространство под пробкой, занятое водяным паром, по охлаждении заполняется водой из воронки.

Учащиеся могут выполнять такой опыт в приборе, изображенном на рисунке 135, в. Помещенную в держалку (или захваченную бумажной полоской) пробирку наполняют водой и в наклонном положении опускают в стакан с водой. При нагревании пробирки у дна в ней собираются пузырьки воздуха. Можно нагреть воду в пробирке до начала кипения. При этом от образовавшегося водяного пара уровень воды резко понижается и нагревание следует немедленно прекратить, чтобы не перегреть стекло, иначе пробирка может треснуть. По охлаждении вода в пробирке вновь поднимается, но у дна остается пузырек воздуха.

2) **Выделение растворенного в воде воздуха под уменьшенным давлением.** Для опыта нужен разрежающий насос (т. I, стр. 194) и толстостенная склянка приблизительно на 1 л с хорошей резиновой пробкой и газоотводной трубкой. Удобно использовать для опыта колбу Бунзена, применяемую для фильтрования под уменьшенным давлением (т. I, стр. 248). Вместо фарфоровой воронки в горло колбы вставляют резиновую пробку, а всасывающую трубку насоса присоединяют к отростку колбы. Возможно также выполнить опыт в круглодонной (!) колбе Вюрца, закрыв горло ее резиновой пробкой и присоединив насос к отводной трубке. В сосуд наливают до половины объема или менее свежую холодную воду и насосом откачивают воздух. Из воды сразу же начинают выделяться пузырьки воздуха.

3) **Растворение углекислого газа в воде под давлением и выделение его из раствора при уменьшении давления.** Для опыта нужна толстостенная трубка диаметром около 2 см и длиной 70—80 см, запаянная с одного конца. К этой трубке следует сделать поршень, который бы плотно в нее входил. Поршень можно изготовить из обыкновенной мягкой резинки для стирания карандаша. При помощи пробочного сверла или ножом вырезают цилиндр подходящего к трубке диаметра. Этот цилиндр привинчивают к палке (рис. 136), которая должна быть приблизительно на 10 см длиннее трубки, толщиной же немного менее внутреннего диаметра трубки. Под головку винта следует положить шайбу — кружок, вырезанный

¹ Растворимость кислорода при обычной температуре составляет 30 мл, растворимость азота — около 14 мл в 1 л воды.

из толстой жести, диаметром немного меньше диаметра резинового цилиндрика. В центре кружка гвоздем или шилом пробивают отверстие. Чтобы подогнать резиновый цилиндр к трубке, его можно обточить на стеклянной бумаге. Если поршень слишком свободно входит в трубку, его можно слегка увеличить, закручивая сильнее винт. Под давлением шайбы цилиндрик несколько раздается. Края отверстия трубки должны быть слегка оплавлены, но не до сужения отверстия, а еще лучше сделать на конце трубки небольшое расширение (т. I, стр. 229), тогда поршень легче вставить в трубку. Чтобы поршень свободно двигался, его следует смазать глицерином.

В трубку наливают холодную воду высотой примерно 15 см, опускают до дна стеклянную трубочку, соединенную с прибором для получения углекислого газа. Наполняют углекислым газом трубку. Не прерывая тока газа, постепенно вынимают трубочку и сейчас же вставляют поршень. Трубку переворачивают запаянным концом вверх, чтобы вода оказалась над поршнем, упирают конец ручки поршня в крышку стола и вдвигают поршень внутрь трубки, слегка покачивая трубку и сдавливая газ, пока объем его над водой уменьшится в 2—3 раза. Происходит растворение газа в воде под давлением. Перевернув трубку в наклонное положение (запаянный конец ниже отверстия), быстрым движением вынимают поршень. При резком падении давления углекислый газ выделяется из воды, жидкость в трубке как бы вскипает, подобно тому как газированная вода в бутылке при открывании.

Поршень не теряет своей эластичности много лет. Его нужно сохранять, вдвинув в трубку и обильно смазав глицерином, но, прежде чем вдвигать поршень в трубку, нужно ослабить винт, чтобы поршень в трубке не был сжат, а входил свободно. Резинку для стирания карандаша нельзя заменить резиновой пробкой, так как пробка бывает обыкновенно коническая, ее трудно подогнать, она плохо поддается обработке и недостаточно мягка. За неимением запаянной трубки можно вставить в открытую трубку корковую пробку, которую сильно углубить и залить слоем менделеевской замазки в 1—1,5 см толщиной. За неимением глицерина можно ограничиться смачиванием поршня водой, но никоим образом не мазать вазелином или маслом, от которого резина разбухает и делается дряблой. Трубка может быть меньшего диаметра, чем указано, и короче, но стенки ее должны быть не тоньше 1,5 мм.

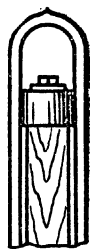


Рис. 136.
Верхняя часть прибора для растворения углекислого газа под давлением.

Пересыщенные растворы

1) Сульфат натрия (глауберова соль). В большой колбе (до 2 и более литров) приготовить раствор сульфата натрия Na_2SO_4 на 5 мас. ч. воды взять 6 мас. ч. соли. Если имеется безводная соль

(некристаллическая), то нужно взять на 1 мас. ч. соли 2 мас. ч. воды. Растворять при нагревании, но не до кипения, нагревать осторожно на сетке, все время взбалтывая. Если раствор окажется мутным, профильтровать его в горячем виде через холст в другую обмытую горячей водой колбу. Профильтрованный раствор нагреть до кипения и кипятить несколько минут, чтобы конденсирующаяся в горле колбы вода смыла с внутренней поверхности горла брызги раствора. Отставив горелку, закрыть горло колбы плотным комком ваты и оставить раствор охлаждаться при комнатной температуре. Чтобы выделяющиеся кристаллы получились более крупные, к раствору следует прибавить несколько капель глицерина.

В таком виде раствор может сохраняться при комнатной температуре сколько угодно времени (годами), не кристаллизуясь, если даже переставлять колбу и взбалтывать раствор. Полезно обвязать горло колбы поверх ваты резиновой или полиэтиленовой пленкой, целлофаном и т. п.

При демонстрации поставить колбу перед темным фоном, открыть ее и бросить туда кристаллик сульфата натрия. Около него сейчас же образуется дружка кристаллов, которая, быстро разрастаясь, заполняет всю колбу. Прежде чем вызвать кристаллизацию, можно в раствор погрузить шарик термоскопа (стр. 163), чтобы показать выделение теплоты при кристаллизации.

По окончании опыта очень осторожно нагреть колбу на сетке, сложенной в несколько рядов, или на куске асбестового картона и, все время взбалтывая, растворить выделившиеся кристаллы. Закрыть колбу ватой и оставить на хранение. Не следует откладывать надолго растворение выделившихся кристаллов, так как с течением времени кристаллы срастаются в плотную массу и растворяются труднее, чем сразу после выделения.

Для растворения кристаллов можно поместить колбу в какой-нибудь сосуд, например железное ведро с холодной водой, которую постепенно довести до кипения. В таком случае встряхивать колбу нет необходимости.

Иногда кристаллизация вещества из раствора начинается сама собой, как только вынута из горла колбы ватная пробка. Это бывает потому, что в воздухе оказывается мелкая пыль сульфата натрия или изоморфного с ним вещества, с которым до этого работали в помещении (например, пересыпали и т. п.). Если выпадение кристаллов сразу не наступило, то, прежде чем вызывать кристаллизацию, можно бросить в колбу кристаллик какой-нибудь другой соли. Он должен быть чистый, лучше предварительно обмытый водой. Обычно это не вызывает кристаллизации, если вещества неизомерные.

2) **Ацетат натрия.** Ацетат натрия $\text{Na}(\text{H}_3\text{C}_2\text{O}_2)$ дает пересыщенный раствор при значительно большей концентрации, чем глауберова соль. Для приготовления пересыщенного раствора на 300 г кристаллогидрата $\text{Na}(\text{H}_3\text{C}_2\text{O}_2) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ достаточно взять 45—50 мл

воды. В таком количестве пересыщенный раствор готовят в колбе с учетом возможности его многократного использования.

Колбу с указанным количеством ацетата натрия, смоченного водой, помещают в водяную баню (т. I, стр. 201) или кастрюлю с водой и нагревают в воде до полного растворения соли. После этого вытирают колбу снаружи досуха, ставят ее на асбестированную сетку и нагревают на горелке или электрической плитке до кипения раствора, чтобы смыть с внутренних стенок оставшиеся кристаллы соли. Перед охлаждением на поверхность горячего раствора наливают пипеткой по стенке слой горячей воды толщиной 1—2 см, закрывают горло колбы ватой и оставляют остывать при комнатной температуре. Как и при опыте с сульфатом натрия, к раствору следует прибавить несколько капель глицерина.

Чтобы вызвать кристаллизацию, иногда достаточно взболтать охлажденный раствор, покачивая колбу (вату не вынимать). Если при этом кристаллизация не наступит, нужно вынуть вату из горла колбы и бросить в раствор кристаллик ацетата натрия. Жидкость быстро застывает в сплошную кристаллическую массу, при этом происходит заметное разогревание.

Для хранения кристаллы в колбе лучше вновь растворить, нагревая сначала в горячей воде, некоторое время прокипятить полученную жидкость, как указано выше, закрыть горло колбы ватой и завязать полиэтиленовой или другой пленкой, как указано для раствора сульфата натрия. Незакристаллизовавшийся раствор всегда готов к демонстрации. Если же он почему-либо закристаллизовался, следует растворить кристаллы за день до демонстрации. При многократных демонстрациях нужно перед кипячением раствора прибавлять 5—10 мл воды для компенсации убыли при испарении.

Для лабораторного опыта в пробирку насыпают около 5 г ацетата натрия, приливают 2—3 мл воды, нагревают до полного растворения соли, кипятят раствор 15—20 сек и охлаждают в стакане с холодной водой или струей воды под краном. Отверстие пробирки лучше закрыть при этом ватой. Кристаллизацию можно вызвать сильным встряхиванием (вату вынуть) или опусканием кристалла ацетата натрия. По окончании опыта кристаллы в пробирке вновь растворяют при нагревании и горячий раствор сливают в общую колбу.

3) Пересыщенный раствор тиосульфата натрия. Кристаллогидрат тиосульфата натрия¹ (иногда его называют гипосульфитом) $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ может плавиться в кристаллизационной воде, образуя при охлаждении пересыщенный раствор.

Для получения пересыщенного раствора свежие, неветрившиеся кристаллы соли нужно всыпать в колбу на 800—1000 мл. Колбу погрузить в стакан с холодной водой, укрепив в зажиме таким образом, чтобы она не касалась дна сосуда, и затем нагреть

¹ Под названием «фиксажная соль» тиосульфат натрия применяют в фотографии для фиксации (закрепления) негативов и отпечатков, но чаще пользуются его обезвоженной солью.

воду в сосуде до кипения. Когда соль расплавится, прибавить столько кристаллов, чтобы раствор занял приблизительно $\frac{3}{4}$ объема колбы. Чтобы раствор не мутнел от разложения соли, нужно прибавить к нему 1—2 капли раствора едкого натра NaOH (1 : 10). По окончании растворения раствор в колбе осторожно кипятить некоторое время на железной сетке, затем погрузить в него до центра колбы оттянутую на конце стеклянную трубку, плотно обмотанную ватой, чтобы она удерживалась в горле колбы. Отверстие трубки закрыть кусочком ваты и оставить раствор медленно охлаждаться при комнатной температуре.

Перед демонстрацией вынимают из конца трубки вату и опускают в отверстие трубки маленький кристаллик тиосульфата натрия. Через некоторое время у нижнего, оттянутого конца трубки образуется один или несколько растущих кристаллов, постепенно заполняющих всю колбу. Кристаллизация идет сравнительно медленно, кристаллы получаются в виде очень плотных правильных призм. Число образующихся кристаллов зависит от размеров оттянутого кончика трубки. Поэтому следует заготовить несколько трубок и затем испытать, с какой из них опыт удастся наилучшим образом.

Подготовка раствора к хранению, как указано выше (стр. 175).

Опыт можно выполнить как лабораторный. В пробирку насыпают на $\frac{1}{3}$ объема кристаллов тиосульфата, осторожно нагревают до полного расплавления, затем кипятят раствор несколько секунд, охлаждают холодной водой и вносят в него на конце стеклянной палочки прикрепленный пластилином кристаллик тиосульфата натрия. По окончании кристаллизации поступают, как указано на странице 175.

Коллоидные растворы

Получение суспензий

Примером суспензии может служить взболтанная в воде очень мелкозернистая глина. Закупоренную склянку с водой и небольшим количеством глины, которая образует суспензию при взбалтывании, можно использовать неограниченное количество времени. Желательно, чтобы образовавшаяся при взбалтывании муть не оседала полностью в течение многих дней. Если взятая для образования суспензии глина содержит много крупных частичек, то отмучиванием отделяют более мелкие частички и собирают их в склянку.

Можно заготовить такую же склянку с отмученным мелом, тальком и т. п. Вода для опытов не должна быть жесткой, так как небольшая примесь электролитов сильно понижает устойчивость суспензии.

Примером тонкой суспензии, являющейся переходом к коллоидному раствору, может служить суспензия серы. Для получения ее

4—5 мл насыщенного раствора серы в спирте¹ вливают по каплям в колбу с 100 мл дистиллированной воды (см. также стр. 180), взбалтывая после прибавления каждой капли. Получается слегка мутноватая с голубым оттенком в отраженном (боковом) свете суспензия, при фильтровании проходящая через бумажный фильтр.

Такую же коллоидную суспензию можно получить, вливая в дистиллированную воду по каплям раствор канифоли в спирте, содержащий 1 г канифоли в 10 мл 95-процентного спирта. После каждой капли раствор размешивают.

Получение эмульсий

1) Влить в цилиндр с пробкой или в пробирку на $\frac{2}{3}$ объема 4—5-процентный раствор буры $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, затем несколько миллилитров подсолнечного, льняного или какого-либо другого растительного масла и сильно взболтать. Получается молочнообразная эмульсия. Если взболтать достаточно энергично, то эмульсия не отстаивается полностью в течение многих недель².

2) Приготовить 5-процентный раствор обыкновенного мыла в дистиллированной воде. Влить в склянку на 250 мл 5 мл раствора мыла, прибавить 5 мл бензола, сильно взболтать. Затем прибавить несколько раз по 10, 20, 30 мл бензола, каждый раз сильно взбалтывая. Таким образом может быть получена эмульсия, содержащая до 97% бензола.

3) В две склянки или пробирки влить до половины воды, лучше дистиллированной. В одну склянку прибавить несколько стружек мыла. Влить в обе склянки небольшое количество какого-либо минерального масла (машинного и т. п.) и сильно взболтать. В склянке без мыла масло быстрее отстаивается, в склянке с мылом — медленнее. Мыло играет роль защитного коллоида.

Тот же опыт можно проделать и с растительным маслом. Опыт объясняет моющее действие мыла.

ПОЛУЧЕНИЕ КОЛЛОИДНЫХ РАСТВОРОВ

1) **Получение коллоидного раствора при механическом измельчении.** Взболтать в пробирке немного крахмала, профильтровать через маленький фильтр, испытать фильтрат раствором иода в иодиде калия. Взять немного крахмала в ступку, смочить дистиллированной водой так, чтобы получилось густое тесто, и растирать

¹ Для приготовления такого раствора мелко растертый порошок чистой серы помещают в склянку, заливают этиловым спиртом и «настаивают» в течение нескольких дней, периодически взбалтывая. Полученный насыщенный раствор сливают с осадка серы в чистую склянку. В запасе нужно иметь его около 50 мл, так как приготовление требует много времени.

² Бура в водном растворе сильно гидролизруется и имеет щелочную реакцию. Щелочь с растительным маслом образует небольшое количество мыла. Раствор мыла является защитным коллоидом. Вместо буры можно взять соду или мыло.

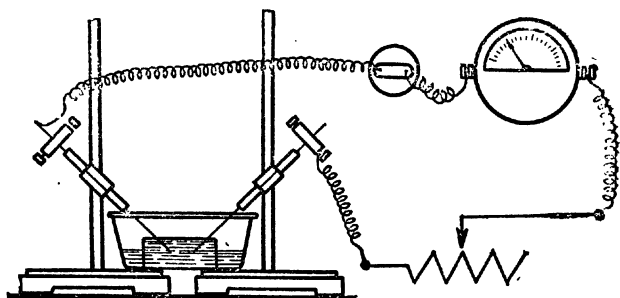


Рис. 137. Электрическое распыление металла.

с силой долгое время (до 30 мин). Прибавить дистиллированной воды, взболтать, профильтровать и фильтрат снова испытать раствором иода.

2) Получение коллоидного раствора электрическим распылением.

Для опыта можно взять два куса медной проволоки толщиной около 1 мм и длиной до 15 см каждый. Прибор собирают по рисунку 137. Для распыления пользуются переменным током от осветительной сети. В цепь включают реостат с сопротивлением до 50 ом (при напряжении в сети 220 в и рабочей силе тока около 4 а). Лучше, однако, понизить напряжение с помощью трансформатора (ЛАТР, см. т. I, стр. 97) и пользоваться от него током, имеющим напряжение около 50 в. Включение реостата и в этом случае обязательно, а для контроля силы тока следует включить в цепь амперметр (для переменного тока) со шкалой до 10 а. В качестве растворителя (дисперсионной среды) нужна дистиллированная вода, к которой прибавляют на 200 мл 2—3 капли 1—2-процентного раствора соды.

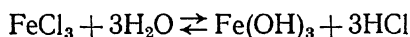
200—300 мл раствора помещают в небольшую кристаллизационную или фарфоровую чашку. Чашку полезно поместить в ванну с водой, чтобы жидкость во время работы не нагревалась. Медные проволоки присоединяют к проводам непосредственно. Для изоляции их вставляют в стеклянные трубки и у выступающих концов обматывают в несколько слоев изоляционной лентой. Один из электродов укрепляют в штативе так, чтобы он был погружен в жидкость примерно на 2 см, другой держат в руке (за стеклянную трубку, на которую можно дополнительно надеть еще резиновую пробку).

Движок реостата ставят на большое сопротивление. Включают ток. Приближают второй электрод к первому на один момент до соприкосновения и сразу же удаляют на расстояние около 1—2 мм. Если дуга не образуется, необходимо несколько уменьшить сопротивление. Регулируют сопротивление так, чтобы дуга не прерывалась. Если это не удается, то можно «чиркать» одним электродом по другому, не оставляя их в соприкосновении на сколько-нибудь долгое время, так как они при этом могут сплавиться, и произойдет короткое замыкание. В возникшей дуге или кратковременной

искре происходит распыление меди и окисление ее мельчайших частиц. В результате образуется коллоидный раствор оксида меди.

Интереснее этим способом получить коллоидный раствор металлического серебра (так называемый колларгол¹), имеющий коричневый цвет. Для этого нужно иметь небольшие серебряные проволочки или кусочки от бытовых серебряных изделий (ложки и т. п.), которые прикрепляют (приклепывают) к изолированным медным проволокам. В остальном опыт оформляется, как указано выше.

3) Получение коллоидного раствора при гидролизе. Для опыта можно воспользоваться хлоридом железа FeCl_3 (2-процентный раствор), который гидролизуетсся с образованием коллоидного раствора гидроксида железа:



В стакане на 500—1000 мл нагреть до кипения дистиллированную воду (с недистиллированной, даже мягкой водой опыт не удастся: гидроксид $\text{Fe}(\text{OH})_3$ выпадает в осадок) и прибавлять по каплям раствор хлорида железа (5—10 капель на каждые 100 мл воды). Раствор продолжать кипятить еще 5 мин. Получается прочный темно-бурый золь, который может храниться годами, давая очень незначительный осадок.

4) Получение коллоидного раствора при реакции восстановления. Приготовить раствор нитрата серебра AgNO_3 , содержащий 0,17 г соли в 1 л. К 100 мл раствора прибавить 2—10 капель однопроцентного свежего раствора танина и 1—2 капли однопроцентного раствора соды. После нагревания получается красновато-бурый прочный золь серебра.

5) Получение коллоидного раствора при реакции обмена веществ. а) В 100 мл дистиллированной воды растворить очень немного (крупинку) вротного камня $\text{K}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$ (SbO) — двойной калиево-сурьмяной соли винной кислоты. Прибавить несколько капель сероводородной воды, избегая избытка (раствор не должен пахнуть). Получается золь сульфида сурьмы. б) К разбавленному раствору ферроцианида калия, желтой кровяной соли, $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ приливают при взбалтывании несколько капель раствора хлорида железа FeCl_3 . Образуется коллоид берлинской лазури синего цвета.

СВОЙСТВА КОЛЛОИДНЫХ РАСТВОРОВ

1) Рассеяние света коллоидами (явление Тиндаля). Для наблюдения явления нужно изготовить покрашенный внутри в черный цвет ящик размером $30 \times 30 \times 70$ см, чтобы в него на небольшой подставке помещались рядом две литровые колбы с коротким горлом. В передней открывающейся дверце ящика делают поперечную щель (2×20 см) для наблюдения явления при дневном

¹ Колларгол применяется в медицине как обеззараживающее средство.

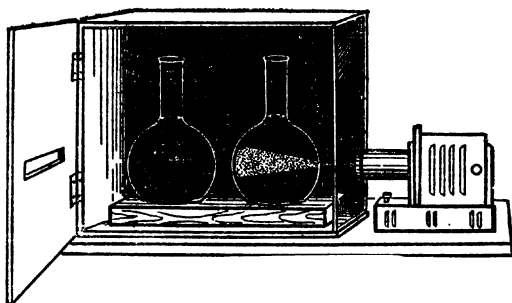


Рис. 138. Ящик для демонстрации рассеяния света коллоидами.

свете. В боковой стенке напротив центра колб просверливают отверстие диаметром около 1 см (рис. 138). Напротив отверстия почти вплотную к стенке ящика снаружи устанавливают источник света: фильмоскоп, диапроектор и т. п. В одну колбу наливают до самого горла дистиллированную воду или очень чистый раствор

поваренной соли ¹, в другой готовят коллоидный раствор серы, как указано на странице 177 (можно приготовить также коллоидный раствор гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$ и др.). Устанавливают колбы в ящике рядом и включают свет. Даже при открытой дверце ящика без затемнения (если ящик не поставлен близко к окну и дневной свет падает только сбоку) луч света хорошо виден в колбе с коллоидным раствором и почти не виден в воде и в растворе поваренной соли.

2) **Диализ.** Цель опыта — показать, что коллоидные частицы не могут проникать даже через очень мелкие поры.

Для опыта заготавливают несколько диализаторов, сделанных из обрезанных пробирок следующим образом: на плоское стекло наливают немного коллодия, чтобы получился круг, диаметр которого примерно на 2 см больше диаметра пробирки. После испарения большей части растворителя пленку коллодия осторожно отделяют и влажной стороной накладывают на оплавленный раструб пробирки. Пленку осторожно загибают за развернутые края пробирки и привязывают ниткой. Сильно натягивать пленку не следует, так как при высыхании она может лопнуть. Исправность диализатора проверяется при налипании 5—6 мл воды внутрь диализатора. Если прибор неисправен, то вода стекает каплями или струей. Исправный диализатор держит воду.

Ряд диализаторов с налитыми в них ярко окрашенными коллоидными растворами гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$, берлинской лазури (стр. 179) укрепляют в цилиндрах с водой (рис. 139, а).

Для сравнения в один из диализаторов помещают концентрированный раствор перманганата калия и тоже укрепляют в цилиндре с водой. На близком расстоянии можно наблюдать, как ярко окрашенный раствор перманганата калия проходит через поры пленки коллодия по всей ее поверхности. Через некоторое время издали становится видно, как окрашенный раствор соли опускается на дно цилиндра.

¹ Можно взять и другие соли, в том числе и окрашенные, однако оптически пустой раствор приготовить трудно. Из-за присутствия мелких пылинок луч света немного виден даже в дважды перегнанной воде.

В приборах с помещенными в них коллоидными растворами по внешнему виду не наблюдается существенных изменений, так как коллоидные частицы не проходят через пленку коллодия. А электролиты проходят через поры пленки, и после некоторого стояния во внешнем сосуде диализатора с коллоидным раствором гидроксида железа можно с помощью раствора нитрата серебра обнаружить ионы хлора.

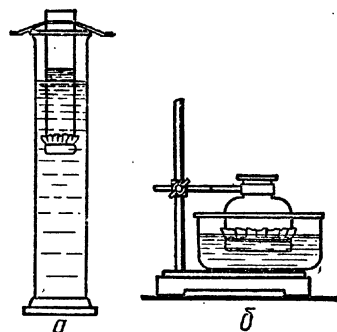


Рис. 139. Диализаторы.

Отсутствие способности коллоидов к диализу используется для очистки их от примесей электролитов. С этой целью применяются диализаторы большего размера (рис. 139, б). Для опыта можно приготовить диализатор из стеклянной банки, у которой обрезают дно (т. I, стр. 214). Острые края сглаживают напильником. В качестве полупроницаемой пленки можно взять пергаментную бумагу. Из нее вырезают круг такого размера, чтобы края его после натягивания на банку вместо дна были выше нижнего края на 5—7 см, как показано на рисунке 139, б. Круг размачивают в воде, накладывают на перевернутую банку, края загибают правильными складками и укрепляют на колоколе толстой капроновой жилкой.

Диализатор укрепляют в зажиме штатива и погружают в кристаллизатор или иной сосуд с водой так, чтобы края перепонки были выше уровня воды. При таком устройстве диализатора вода не может попадать в него через промежутки между складками и диффундирует только через перепонку. При длительном диализе коллоид обедняется ионами электролита и наступает коагуляция.

После опытов диализаторы заполняют чистой водой, опускают в сосуд с водой, где они сохраняются длительное время.

3) **Коагуляция коллоидов.** а) К 100 мл коллоидного раствора гидроксида железа приливают несколько миллилитров раствора сульфата аммония (1 : 10). Через некоторое время коллоид мутнеет, а затем гидроксид железа осаждается. Вместо сульфата аммония можно взять хлорид бария (1 : 10) или хлорид кальция (1 : 10).

б) Готовят в пробирке коллоидный раствор канифоли (стр. 177) и прибавляют к нему 1—2 мл 2 н. раствора сульфата аммония или другого электролита. Выпадает белый творожистый осадок канифоли.

в) Нагревают до кипения коллоидный раствор сульфида сурьмы (стр. 179). Происходит коагуляция. При нагревании золя гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$ коагуляция не наступает.

4) **Защитные коллоиды.** Растворить в 10 мл кипящей воды немного агар-агара (коллоид типа желатины растительного происхождения). В пробирке с коллоидными растворами сульфида

сурьмы и гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$ прибавить по несколько миллилитров раствора агар-агара и повторить с ними вышеописанный опыт коагуляции. Для коагуляции приходится приливать значительно бóльшие количества электролитов, чем в первом случае.

За неимением агар-агара можно воспользоваться для опыта желатиной.

5) Желатинизация коллоидов. а) Разломать лист сухой желатины и стебелек агар-агара на мелкие кусочки. Насыпать того и другого в пробирки слоем около 2 см. Прибавить в обе пробирки по 10 мл воды и нагревать почти до кипения, пока получатся прозрачные растворы. Погрузить пробирки на некоторое время в холодную воду. Наблюдать застуднение растворов. Снова нагреть пробирки — вновь получатся растворы.

б) Получить кремниевую кислоту, осторожно приливая к раствору силиката натрия разбавленную (1 : 10) серную кислоту. Нагреть осадок и сравнить результат с предыдущим опытом.

6) Набухание гелей. а) Из листа сухой желатины вырезать две одинаковые пластинки шириной 1 см, длиной 3 см и поместить в две одинаковые пробирки. Одну пластинку желатины залить водой, вторую оставить для сравнения.

Через полчаса в результате набухания объем пластинки желатины в воде становится заметно больше.

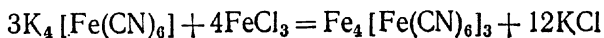
б) От резиновой трубки диаметром не более 1 см отрезать два колечка толщиной 1 см и поместить в две пробирки. Одно из колец залить бензином, второе оставить для сравнения. Через 30—40 мин залитое бензином резиновое кольцо сильно увеличивается в объеме.

в) В колбу на 100 мл опустить свободно проходящую через горло резиновую пробку и налить около 20 мл бензола. Закрыть колбу корковой пробкой и оставить на несколько дней. Пробка настолько увеличивается в объеме, что извлечь из колбы ее невозможно. Если оставить колбу открытой (на открытом воздухе или под тягой), поглощенный бензол постепенно испаряется и пробка приобретает прежний объем.

г) Студень кремниевой кислоты, полученный в одном из предыдущих опытов, высушивают при помешивании, пока он распадается на мелкие крупинки. В две пробирки насыпают равные объемы высушенного геля. В одну из них наливают воду. При стоянии не наблюдается никакого изменения объема залитого водой геля по сравнению с контрольным.

Сопоставление последнего опыта с двумя предыдущими позволяет классифицировать гели по их отношению к набуханию.

7) Перевод геля в раствор при помощи диализа. Слить равные объемы растворов желтой соли $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ (1 : 10) и хлорида железа FeCl_3 (2 : 10). Получается осадок берлинской лазури $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$:



Осадок берлинской лазури представляет собой гель, который легко переходит в золь, если удалить из раствора соли, что достигается при диализе. Поместить осадок с раствором в диализатор (стр. 181) и ежедневно менять воду до тех пор, пока осадок берлинской лазури перейдет в раствор (вначале следует менять воду несколько раз в день). Менять воду приходится в течение недели и больше.

Полученный раствор, если к нему прибавить несколько капель глицерина, можно употреблять как хорошие синие чернила.

8) Старение гелей. Синерезис. а) В 100 мл воды размешать 1,5 чайной ложки крахмала и полученную смесь постепенно влить в 100 мл кипящей воды. При остывании получается плотный гель крахмального клейстера. Через несколько дней гель стареет — сжиживается и выделяет жидкость. Это явление называется синерезисом.

б) Гель желатины, полученный в опыте желатинизации (стр. 182), оставляют для наблюдения. Через несколько дней гель изменяет свой внешний вид — стареет. Гель сжиживается, и от него отделяется часть жидкости.

С процессом старения гелей мы сталкиваемся в жизни, наблюдая, например, изменения простокваши при стоянии. «Отстаивание» простокваши, т. е. сжатие геля и отделение жидкости, содержащей соли, не что иное, как старение геля (простокваши) — синерезис.

Глава VII

ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКАЯ ДИССОЦИАЦИЯ

Электропроводность веществ в растворах и расплавах

Устройство приборов для испытания электропроводности

Простейший прибор для испытания электропроводности раствора или расплава состоит из стакана (банки) или широкой пробирки (для расплавов) с металлическими, преимущественно медными, электродами в виде проволок или пластинок, закрепленных в пробке непосредственно на краю сосуда (рис. 140, а, б, в). Схема включения показана на рисунках 140, в и 141.

Один из электродов соединяют с электрической цепью (прикрепляют к одному из штифтов вилки штепселя), другой идет к электрической лампе. Электрическую лампу соединяют с другим проводником, идущим к штепселю.

Если раствор (расплав) проводит ток, то при опускании в него электродов и включении вилки в сеть лампа загорается. Для опытов можно пользоваться постоянным и переменным током от осветительной сети, но следует предпочесть ток пониженного напряжения — от 36 до 40 в, особенно при выполнении работ учащимися. С этой целью применяют разнообразные понижающие трансформаторы: ЛАТРы, выпрямители и в качестве указателя тока используют электрические лампочки, рассчитанные на соответствующее

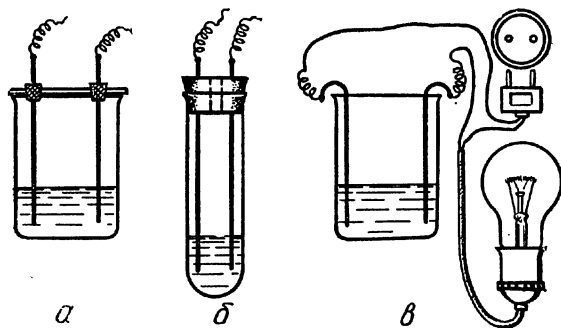


Рис. 140. Простейшие приборы для испытания электропроводности.

напряжение, например елочные лампочки до 60 в и т. п. Простейшие лабораторные опыты могут быть выполнены учащимися в небольших сосудах с использованием лампочек для карманных фонарей и батареек 3—4,5 в.

При использовании тока непосредственно от сети (220 в) следует соблюдать правила предосторожности: не прикасаться руками к оголенным проводникам; места соединений и выступающие части электродов замотать изоляционной лентой или полиэтиленовой пленкой (т. 1, стр. 101). Перед каждой сменой раствора, вытиранием электродов и т. п. следует вынимать вилку из розетки, чтобы при случайном прикосновении к оголенным проводам не получить удара током. Более сложные по конструкции, но устроенные по тому же принципу при-

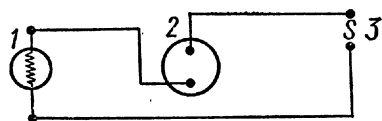


Рис. 141. Схема опыта по испытанию электропроводности:

1 — электролампа; 2 — банка с раствором; 3 — штепсельная вилка.

боры для демонстрационных опытов изображены на рисунках 142 и 143, а и б. Для таких приборов, кроме лампы, розетки, выключателя, изготовляют отдельно указатель тока, присоединенный непосредственно к проводам (рис. 142) или включаемый в розетку (рис. 143, а и б). Конструкции указателей тока могут быть разные, но устроены они по одному принципу: два разобращенных, хорошо изолированных электрода включают в рабочую цепь прибора последовательно с лампой; при замыкании электродов включенная в осветительную сеть лампа загорается. На рисунке 144 показано несколько конструкций указателей тока. Один из них (рис. 144, а) изготовляют из стеклянной трубки длиной около 12 см, диаметром от 1 до 1,5 см (можно взять обрезанную пробирку). В верхней части трубки находится резиновая пробка с вставленными до половины ее тонкими стеклянными трубочками. Через трубочки и непротвержденную часть пробки

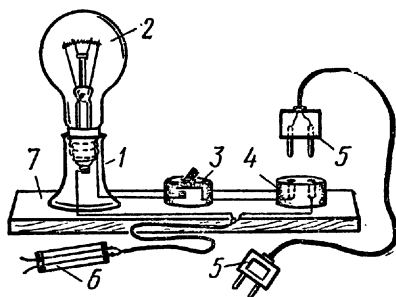


Рис. 142. Прибор для испытания электропроводности растворов:

1 — патрон для лампы; 2 — лампа; 3 — выключатель; 4 — розетка; 5 — вилка; 6 — указатель тока; 7 — панель для монтажа прибора.

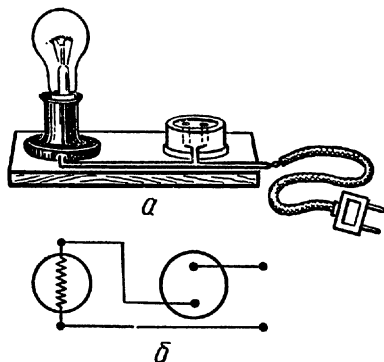


Рис. 143. Прибор для определения электропроводности раствора.

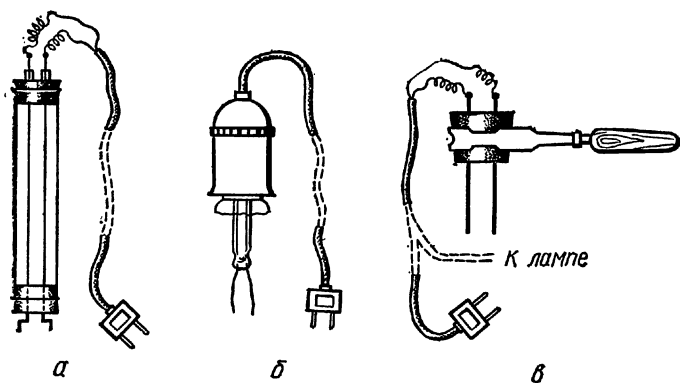


Рис. 144. Указатели тока.

внутри трубки введены две медные проволоки (толщиной до 1 мм). В нижней части трубки эти проволоки проходят через вторую резиновую пробку (для придания всей конструкции необходимой жесткости), вставленную в трубку на глубину до 1 см от отверстия. Пространство от нижнего обреза трубки до пробки заливают мendeleeвской замазкой, расплавленной серой или полиэтиленом¹. Это препятствует попаданию испытуемого раствора внутрь трубки, если конец ее погружается в раствор. Заливание не нужно, если выступающие из трубки концы электродов сделать длинными, однако это для некоторых опытов неудобно². Лучше, чтобы концы электродов выступали наружу не более чем на 0,5—1 см. Верхние концы электродов соединены с проводами для включения в цепь³. Места соединения обертывают изоляционной лентой, но участки электродов у самых концов стеклянных трубочек лучше оставить неизолрованными, чтобы к ним можно было приложить металлический предмет (нож и т. п.) для испытания исправности цепи, не вынимая электродов из сосуда. Погружать трубку с электродами в раствор следует, держа ее (конечно, не за электроды) рукой или поместив в держалку для пробирок. Расстояние между концами электродов должно быть 1—2 см. Указатель тока можно изготовить из обрезанной почти у самого цоколя электрической лампочки (рис. 144, б). Цоколь с торчащими из него проволоками ввинчивают в патрон с проводами для включения в цепь.

В простейших случаях две медные проволоки пропускают через резиновую пробку, которую укрепляют в держалке с деревянной

¹ Кусок полиэтилена (например, полиэтиленовую пробку), держа в щипцах, зажигают; он расплавляется и капает в отверстие трубки.

² Например, если при демонстрации электропроводности приходится разбавлять раствор (стр. 190), то при этом будет изменяться поверхность соприкосновения электродов с жидкостью, что может создать неверное представление об изменении электропроводности.

³ Если нет специальных клемм, то концы электродов расплющивают, загибают и, вставив в место изгиба, провод заклепывают молотком (т. 1, стр. 209).

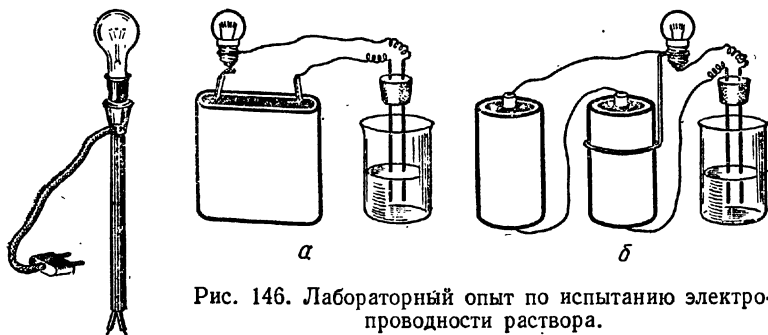


Рис. 146. Лабораторный опыт по испытанию электропроводности раствора.

Рис. 145. Указатель тока, имеющийся в продаже.

ручкой. Такой указатель включают в цепь, смонтированную на панели (рис. 142 и 143), или присоединяют прямо к лампе, как на рисунке 140, в, включив вилку в осветительную сеть или присоединив провода к выпрямителю, трансформатору и т. п. в зависимости от мощности применяемой лампы. В продаже имеется указатель тока с вмонтированной в него лампой (рис. 145).

Схема лабораторного опыта по испытанию электропроводности раствора с использованием батарейки для карманного фонаря (нужно соединить последовательно несколько батареек, см. т. I, стр. 95) показана на рисунке 146. Лампочку можно припаять к одному из контактов батареи, вставив навинтованную часть в отверстие в металлической пластинке, в кольцо и т. п. (пайка обеспечивает лучший контакт, см. т. I, стр. 283).

Опыты по испытанию электропроводности

1) В стакан насыпать некоторое количество кристаллической поваренной соли, погрузить электроды, включить ток. Лампочка не горит, но загорается при замыкании электродов металлическим предметом (опыт по электропроводности стекла, стр. 189). Кристаллическая поваренная соль электрический ток не проводит. Таким же способом испытывают твердый едкий натр, калийную селитру и другие твердые вещества.

2) Погрузить электроды в стакан с дистиллированной водой¹. Вода не проводит тока. Испытать таким же способом спирт, ацетон, ледяную уксусную кислоту. Эти жидкости не проводят электрического тока.

3) Влить воду в стаканы со спиртом, ацетоном, поваренной солью, уксусной кислотой, едким натром, сахаром, глюкозой. Поочередно испытать электропроводность полученных растворов. После каждого испытания споласкивать электроды и насухо выти-

¹ Водопроводная, родниковая и другая природная вода может заметно проводить ток, так как содержит растворенные соли.

рать их (при выключенном токе) чистой тряпкой или фильтровальной бумагой.

Зная тип химической связи в испытуемых веществах, учащиеся могут заранее предположить наличие или отсутствие электропроводности соответствующих водных растворов.

4) Сравнение электропроводности раствора хлороводорода в воде и в толуоле. Обычным способом испытывают электропроводность соляной кислоты и убеждаются, что она проводит ток. Испытывают электропроводность раствора хлороводорода в толуоле¹. Раствор не проводит тока. Приливают к этому раствору воду, взбалтывают стеклянной палочкой и дают отстояться. Часть растворенного в толуоле хлороводорода в соответствии с законом распределения переходит в воду и подвергается диссоциации с образованием ионов H^+ и Cl^- . При испытании в верхнем слое (раствор HCl в толуоле) лампочка не загорается, при погружении электродов в нижний слой (водный раствор HCl) — загорается.

Можно для опыта не готовить специальный раствор хлороводорода в толуоле, а прилить к концентрированной соляной кислоте (достаточно 30—40 мл) равный объем толуола, хорошо перемешать, дать отстояться и испытать электропроводность в каждом слое. Слить оба слоя в делительную воронку (при отсутствии воронки взять 20—30 мл верхнего слоя пипеткой) и разлить их в отдельные стаканы. В стакан толуола влить равный объем воды, перемешать, дать отстояться и вновь испытать электропроводность каждого слоя. Водный слой (нижний) будет проводить ток. Следовательно, из соляной кислоты хлороводород переходит при взбалтывании в толуол, но там он оказывается не диссоциированным на ионы. При обратном переходе хлороводорода в воду происходит диссоциация.

Опыт подтверждает роль воды в процессе электролитической диссоциации (разрушение ионных кристаллов или разрыв молекулы с образованием гидратированных ионов).

5) Электропроводность расплава нитрата калия. Нитрат калия сравнительно легко расплавляется (темп. пл. $333^\circ C$, при $400^\circ C$ наступает разложение), по застывании расплава его можно сохранять в этой же пробирке для следующих опытов. Наиболее удобно показать опыт в пробирке с электродами, изображенной на рисунке 140, б (в пробке должен быть сделан вырез, показанный на рисунке пунктиром).

В пробирку насыпают на $1/4$ объема кристаллического нитрата калия, погружают в сухую соль электроды и присоединяют провода с лампочкой, как показано на рисунке 140, в, или используют один из приборов, изображенных на рисунках 142 и 143, — лампочка

¹ Газообразный хлороводород (получение его см. на стр. 256) пропускают через толуол до насыщения. Раствор хлороводорода в толуоле можно использовать для опытов много раз, пропуская в него по мере надобности дополнительное количество HCl .

не горит. После проверки исправности цепи (замкнуть электроды) нагревают соль в пробирке пламенем спиртовки. При расплавлении соли электрическая лампочка загорается и продолжает гореть даже при прекращении нагревания, так как селитра между электродами будет оставаться в расплавленном состоянии за счет теплоты тока. Если выключить ток и дать расплаву полностью застыть, то при повторном включении лампочка не загорается, необходимо вновь получить расплав.

Для сравнения аналогичный опыт проводят со стеклом. Нерасплавленное стекло тока не проводит. Прибор для такой демонстрации легко изготовить (на рисунке 147 он показан в разрезе). Прибор состоит из двух потолочных электроламповых патронов, соединенных друг с другом нижними поверхностями с помощью длинных винтов с гайками. На рисунке 147 патроны показаны соединенными не вплотную, чтобы лучше было видно соединение контактов внутри. В верхний патрон ввинчивают исправную электрическую лампочку (достаточно 60 *вт*), в нижний — цоколь от обрезанной лампочки (т. I, стр. 216) с оставшейся частью стеклянного баллона и внутренними проволочными проводниками, выходящими из запаянной стеклянной трубки. Для обрезания лучше взять лампочку больших размеров, чтобы внутренние проволочные проводники были достаточной длины. К одному контакту каждого патрона (на рисунке 2, 2) присоединены провода, включаемые в сеть, вторые контакты каждого патрона (на рисунке 1, 1) соединены друг с другом коротким проводом. Проволочные проводники обрезанной лампочки загибают крючками, на которые помещают тонкостенную стеклянную трубочку. Расстояние между крючками может быть около 3 *см*, не более, так как при размягчении трубка сильно провисает. Собранный прибор закрепляют в штативе.

При включенной в осветительную сеть вилке лампочка прибора не загорается, так как контакты в нижней части разорваны, а стеклянная трубка при обычной температуре тока не проводит. Для испытания прибора замыкают проволочные проводники вблизи трубки, приложив к ним какой-либо металлический предмет (например, нож, шило, отвертку с деревянной ручкой, стр. 187); лампочка должна загореться. Убедившись в исправности прибора, нагревают стеклянную трубку в пламени спиртовки или газовой горелки. Когда стекло хорошо размягчится (при этом в местах контактов его с проволоками возникает заметное искрение), лам-

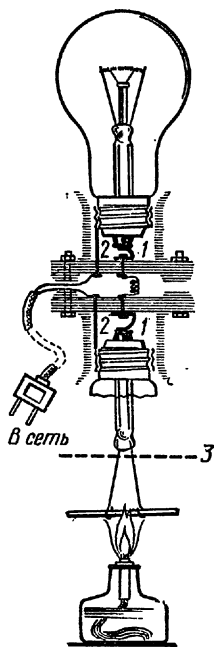


Рис. 147. Прибор для демонстрации электропроводности стекла:

1 — патрон; 2 — кожух; 3 — асбестовая пластинка.

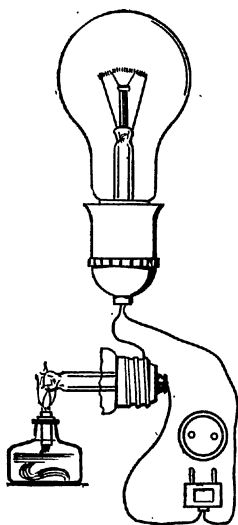


Рис. 148. Электропроводность стекла (упрощенный вариант).

почка загорается. Проходящим через стекло током трубка разогревается весьма сильно и через некоторое время плавится и разрывается.

Для защиты от пламени горелки пластмассовой части патрона на проволоочные проводники (особенно если они недостаточно длинные) следует надеть тонкую асбестовую пластинку 3. Прибор может быть использован также для испытания электропроводности растворов (стр. 187). Для этого его держат рукой за пластмассовую часть верхнего патрона, а проволоочные проводники погружают в испытуемый раствор.

В упрощенном варианте (рис. 148) к цоколю обрезанной электрической лампочки припаивают провода и включают их через исправную лампу в сеть. Цоколь обрезанной лампочки после припаивания проводов обертывают изоляционной лентой и укрепляют в штативе. Нагревают концы проволок в запаянном (бывшем внутреннем) отростке обрезанной лампочки. По размягчении стекла исправная лампочка загорается. Нагреваемая часть обрезанной лампочки выдерживает обычно 3—4 демонстрации.

почка загорается. Нагреваемая часть обрезанной лампочки выдерживает обычно 3—4 демонстрации.

Степень диссоциации слабых электролитов и ее зависимость от разбавления раствора

Опыты проводят с приборами для испытания электропроводности (рис. 142 и 143) и указателем тока (рис. 144).

1) В стакан объемом 100—150 мл наливают ледяную уксусную кислоту слоем около 0,5 см, погружают до самого дна электроды указателя тока, включают ток; лампочка прибора не загорается. Держа указатель тока в одном положении (длина выступающих концов не более 1 см), приливают в стакан воду; лампочка загорается сначала тускло, но по мере прибавления воды горит все ярче.

2) В такой же стакан наливают 25-процентный раствор аммиака слоем 0,5—1 см. При погружении электродов и включении тока нить лампочки слегка светится, при приливании воды накал становится более ярким ¹.

3) Сливают полученные в опытах 1 и 2 растворы уксусной кислоты и аммиака в один стакан и испытывают электропроводность

¹ Если концы электродов длинные и неизолированные, указатель тока необходимо по мере приливания воды приподнимать, чтобы электроды оставались погруженными на одну и ту же глубину (стр. 186).

полученного раствора (ацетата аммония); лампочка сразу загорается очень ярко (соль в растворе диссоциирована полностью).

4) В банку объемом 1 л наливают немного ледяной уксусной кислоты и погружают в нее электроды указателя тока (при небольшом количестве кислоты можно вначале наклонить банку, чтобы концы электродов были погружены в жидкость полностью). При приливании воды лампочка сначала разгорается все ярче, затем накал начинает ослабевать (дальнейшее разбавление не увеличивает, а уменьшает концентрацию ионов в растворе).

ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАМЕРЗАНИЯ РАСТВОРОВ ЭЛЕКТРОЛИТОВ И НЕЭЛЕКТРОЛИТОВ

Цель опытов — показать, что: 1) температура замерзания растворов ниже, чем чистого растворителя, и тем ниже, чем выше концентрация раствора; 2) понижение температуры замерзания раствора электролита при равной молярной концентрации больше, чем неэлектролита. При демонстрационных опытах сравнительные данные можно достаточно наглядно получить с помощью термоскопа (стр. 163). Лабораторные опыты выполняют с термометром, однако более или менее точные количественные величины (например, для определения молекулярных масс или коэффициента i ¹) можно получить только при пользовании хотя бы нормальным термометром с делениями до 1 °C (т. I, стр. 92).

1) **Влияние концентрации раствора на температуру его замерзания.** Отмерить 20 мл дистиллированной воды в широкую пробирку и опустить ее в охлаждающую смесь (стр. 86). Опустить термоскоп с несколькими резиновыми колечками на трубке в охлаждаемую воду, резиновое колечко на трубке термоскопа опустить до уровня столбика жидкости в ней. В воде появятся первые льдинки (рис. 149). Пробирку немного встряхивать во избежание переохлаждения (не вынимая из смеси).

¹ i — изотонический коэффициент, показывающий отношение $\frac{\Delta t_{\text{набл.}}}{\Delta t_{\text{выч.}}}$, т. е. во сколько раз при данной молярной концентрации фактическое понижение температуры замерзания больше, чем вычисленное без учета диссоциации по формуле: $\Delta t = \frac{K \cdot 1000 \cdot a}{b \cdot M}$, где Δt — вычисленное понижение температуры замерзания, a — число граммов растворенного вещества, b — число граммов растворителя, M — молекулярная масса растворенного вещества, K — криоскопическая постоянная растворителя (понижение температуры замерзания раствора при одномолярной концентрации: в 1000 г растворителя находится 1 моль вещества). Величина K для воды равна 1,86 °C. Найденное значение Δt для неэлектролитов в пределах возможной ошибки при достаточно точном измерении температуры (с помощью, например, дифференциального термометра Бекмана) совпадает с вычисленным, что, как известно, дает возможность определить молекулярные массы растворенных неэлектролитов:

$$M = \frac{K \cdot 1000 \cdot a}{b \cdot \Delta t}$$

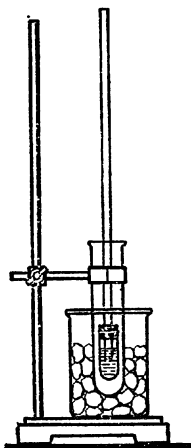


Рис. 149. Прибор для определения температуры заморзання растворов.

Прилить в воду отмеренные пипеткой 2 мл спирта. Наблюдать изменение температуры заморзання раствора (пробирку с раствором слегка встряхивать). Передвинуть нижнее колечко на трубке термоскопа, отмерив условно температуру заморзання раствора. Еще раз добавить 2 мл спирта из пипетки и повторить опыт. Сравнить результаты первого, второго и третьего опытов. В последнем случае температура заморзання оказывается значительно ниже.

2) **Понижение температуры заморзання неэлектролитов.** В том же приборе можно выполнить опыт с определенным молярным количеством различных веществ. Удобно взять, например, 2,4 г мочевины, 7,2 г глюкозы¹. Взвешенные количества веществ растворяют в широких пробирках (в каждой по 20 мл воды) и определяют температуры заморзання по сравнению с чистой водой. Понижение оказывается в том и другом случае одинаковым².

3) **Понижение температуры заморзання, вызываемое раствором электролита, взятым в эквивалентной концентрации.** Растворяют в 20 мл воды 2,34 г хлорида натрия и определяют понижение температуры заморзання раствора, как и в предыдущих опытах. Оно оказывается почти вдвое больше, чем в растворах неэлектролитов.

СВОЙСТВА ИОНОВ

Коллекция цветных растворов. Приготавливают на дистиллированной воде в пробирках или в колбе водные растворы солей: сульфат, хлорид и нитрат меди; сульфат и хлорид никеля; нитрат и хлорид кобальта; сульфат железа FeSO_4 (подкислить раствором серной кислоты); хлорид железа FeCl_3 , сульфат и хлорид марганца; сульфат, хлорид и нитрат натрия; сульфат, хлорид и нитрат калия; перманганат калия; сульфат хрома (или хромовые квасцы); хромат и дихромат калия. Растворы должны быть примерно одинаковой прозрачности. В хорошо закрытых колбах (пробирках) они сохраняются долгое время (кроме раствора сульфата железа FeSO_4). При демонстрации обращают внимание на цвет гидратированных катионов и анионов и степень окисления элемента, образующего простой или сложный ион.

¹ Мочевина $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ — амид угольной кислоты. Указанные количества составляют по 0,04 моль, так же как 2,34 г хлорида натрия в последующем опыте.

² Опыт проводят с одним и тем же термоскопом.

ГИДРАТАЦИЯ И ДЕГИДРАТАЦИЯ ИОНОВ

1) Растворяют в воде безводный сульфат меди CuSO_4 , безводный хлорид меди, безводный хлорид кобальта¹. Обращают внимание на изменение цвета раствора.

2) Безводный хлорид меди всыпают в стакан, приливают сначала немного воды и перемешивают. Получается изумрудно-зеленый раствор, который при дальнейшем приливании воды становится светло-зеленым, затем голубым².

3) К концентрированному водному раствору хлорида меди прибавляют кристаллический бромид натрия. При перемешивании образуется коричневый раствор, содержащий бромид меди CuBr_2 . При разбавлении он становится сначала темно-зеленым, затем светло-зеленым и, наконец, голубым.

4) Синие кристаллы хлорида меди растворяют в ацетоне или спирте, при этом получается зеленовато-бурый раствор (дегидратация). При разбавлении водой раствор постепенно становится голубым (см. также стр. 194).

5) Розовые кристаллы хлорида кобальта растворяют в спирте или ацетоне; получается раствор синего цвета (дегидратация). При разбавлении водой раствор становится розовым.

6) Приготавливают концентрированные и разбавленные растворы сульфата хрома (III) или хромокалиевых квасцов. Первый раствор фиолетового цвета, второй — зеленого.

7) Приготавливают концентрированный, например 40-процентный, раствор хлорида кальция³, который практически не содержит свободной воды, так как она связана ионами кальция. При прибавлении к такому раствору хлорида меди, смеси хлорида меди с бромидом натрия, хлорида кобальта (кристаллогидратов) образуются растворы соответственно зеленовато-бурого, коричневого и синего цвета. При разбавлении водой растворы постепенно принимают присущую им окраску (см. выше).

8) В концентрированный красный раствор хлорида кобальта погружают до половины белый крупный кусок безводного хлорида кальция (держат щипцами) и сразу же вынимают — часть куска

¹ Безводный хлорид меди CuCl_2 (порошок серовато-желтого цвета) готовят осторожным прокаливанием синие-зеленых кристаллов хлорида $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и хранят в эксикаторе. Безводный хлорид кобальта CoCl_2 (порошок синего цвета) получают осторожным прокаливанием розовых кристаллов $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Если розовым раствором хлорида кобальта сделать надпись на бумаге (лучше розового цвета), то по высыхании буквы почти не видны, но проявляются (становятся синими), если погреть бумагу, держа ее высоко над пламенем спиртовки. Если подержать бумагу над водяным паром, буквы вновь исчезают. Белая ткань, пропитанная водным раствором хлорида кобальта, служит своеобразным показателем содержания влаги в воздухе: в сухом воздухе она синее, а при повышении содержания влаги синий цвет постепенно переходит в розовый.

² В концентрированных водных растворах хлорида и бромида меди содержатся комплексы состава $\text{Cu}[\text{CuCl}_4]$ и $\text{Cu}[\text{CuBr}_4]$, которые разрушаются при разбавлении водой с образованием гидратированных ионов меди (II).

³ Для растворения берут безводную соль в виде пористых гранул.

становится синей. Можно также медленно капать красный раствор хлорида кобальта на мелкие кусочки безводного хлорида кальция. В местах попадания капель появляются синие пятна.

Наблюдение гидратации и дегидратации ионов в растворах можно сочетать с одновременным наблюдением процессов диффузии, как это изложено в томе I (стр. 310) и на странице 159 настоящего тома в главе «Растворы». В школьных условиях вполне возможна постановка следующих опытов.

1) Диффузия и гидратация хлорида кобальта. В стеклянный цилиндр наливают более чем на $\frac{3}{4}$ объема дистиллированной воды. Приготавливают раствор хлорида кобальта в концентрированном растворе хлорида кальция (стр. 193). Пипеткой берут 20 мл этого раствора, плотно закрывают пальцем верхнее отверстие пипетки, опускают ее в цилиндр с водой до самого дна и медленно выпускают под воду тяжелый синий раствор. Когда жидкость вытечет из пипетки, вновь хорошо закрывают ее верхнее отверстие пальцем и быстро вынимают пипетку из цилиндра, чтобы оставшийся в ней синий раствор не попал в верхний слой воды. На поверхность воды в цилиндре осторожно наливают синий раствор хлорида кобальта в спирте или ацетоне (такой раствор легче воды), закрывают отверстие цилиндра полиэтиленовой пленкой (т. I, стр. 316) и оставляют для наблюдения. Уже через сутки очень хорошо видно, как при диффузии растворов в водный слой синяя окраска хлорида кобальта постепенно переходит в красную.

2) Диффузия и гидратация бромида меди. Точно так же ставят опыт с диффузией и гидратацией бромида меди. На дно цилиндра под слой воды пипеткой наливают раствор бромида меди¹, поверх водного слоя — раствор бромида меди в ацетоне. При диффузии в водный слой сверху и снизу коричневая окраска переходит в темно-зеленую, светло-зеленую и, наконец, в голубую.

Красочность опыта можно усилить, если налить на дно цилиндра раствор бромида меди в хлориде кальция, а сверху на слой воды — раствор хлорида кобальта в ацетоне или наоборот.

3) Диффузия бромида меди в воду и ацетон. В цилиндр наливают дистиллированную воду до половины объема. Поверх воды осторожно пипеткой наливают слой (толщиной 3—4 см) раствора бромида меди в ацетоне (см. выше). Поверх этого коричневого слоя осторожно пипеткой по стенке цилиндра наливают слой спирта (2—3 см), а затем слой ацетона. Получаются два бесцветных слоя (внизу — вода, сверху — спирт и ацетон) с коричневым слоем раствора бромида меди посередине. При диффузии вниз (в водный слой) коричневая окраска переходит в зеленую и голубую, при диффузии вверх (в слой спирта и ацетона) изменения окраски не происходит, распространяется только коричневый раствор.

¹ Хлорид меди (лучше безводный) растворяют в концентрированном растворе хлорида кальция и прибавляют туда бромид натрия (стр. 193). Второй раствор готовят растворением хлорида меди и бромида натрия в ацетоне.

4) Диффузия и дегидратация хлорида кобальта. В цилиндр наливают до половины (или немного больше) объема этиловый спирт (на 100 мл 96-процентного спирта добавляют 3—4 мл воды) и осторожно, лучше через длинную воронку без оттянутого конца, небольшими порциями всыпают 5—6 г мелко растертого красного порошка хлорида кобальта. При опускании порошка до дна цилиндра часть его успевает раствориться и за счет содержащейся воды окрашивает спиртовой слой в слегка розовый цвет. Однако у дна цилиндра, где содержащейся в спирте воды для полной гидратации растворившегося хлорида кобальта не хватает, образуется синий раствор, который постепенно диффундирует вверх. Поверх слегка розоватого слоя спирта наливают осторожно по стенке пипеткой слой ацетона (ацетон немного легче спирта и при осторожном наливании слои не смешиваются). В месте соприкосновения слоев образуется четкое синее кольцо (ацетон дегидратирует растворенный хлорид кобальта), которое постепенно расширяется равномерно вверх и вниз.

Движение ионов

В электрическом поле под действием разности потенциалов ионы в растворах могут перемещаться к соответствующим полюсам согласно зарядам.

Для опытов используют три вида веществ:

а) вещества, в состав молекул которых входят окрашенные катионы и анионы, например $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{CrO}_4$;

б) вещества, в состав молекул которых входит только один окрашенный катион (CuCl_2) или анион (KMnO_4 , K_2CrO_4);

в) вещества, молекулы которых образованы бесцветными катионами и анионами. В этом случае перемещение ионов обнаруживается с помощью индикаторов.

При значительном сопротивлении прибора (особенно при опыте на смоченной электролитом бумаге) требуется обычно довольно большое напряжение постоянного тока, поэтому опыт идет очень медленно. Прибор, подключаемый к выпрямителю, изображен на рисунке 150¹. На толстую негибкую пластмассовую пластинку (плексиглас, гетинакс и т. п.) размером 15×10 см помещают 6—8 слоев фильтровальной бумаги, обильно смоченной (перед началом опыта) 10-процентным раствором сульфата натрия. Поверх слоев бумаги по ширине пластинки накладывают две ровные металлических полоски (3×12 см) из жести или алюминия с присоединенными к каждому концу проводами. На эти полоски помещают пластинки из пластмассы, прижатые небольшими болтиками. Расстояние между металлическими полосками можно при необходимости менять. Укрепленный в штативе прибор поворачивают под небольшим углом к классу, чтобы была видна поверхность бумаги.

¹ Модернизированная модель Л. Ситкевича.

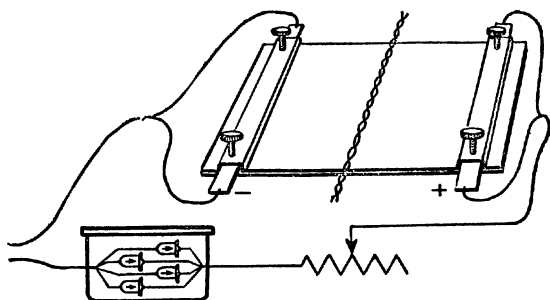


Рис. 150. Прибор для демонстрации движения ионов с полупроводниковым выпрямителем на диодах Д7Ж (выпрямитель смонтирован в коробке).

При более простой конструкции прибора можно просто приложить к смоченной бесцветным раствором электролита фильтровальной бумаге, находящейся на стеклянной пластинке, толстые медные или алюминиевые проволоки, соединенные с источником постоянного тока.

Ниже перечислены возможные варианты опыта.

1) На равном расстоянии от электродов (пластинок) помещают небольшие кристаллы хлорида меди и дихромата калия. Вследствие растворения вокруг кристаллов появляется оранжевое и голубое кольца. После включения тока (силу тока регулируют реостатом) через 10—15 мин хорошо видно распространение оранжевого окрашивания в сторону анода, голубого — в сторону катода.

2) Поместить у анода полоску фильтровальной бумаги, смоченной раствором хлорида меди, а у катода — полоску, смоченную раствором дихромата калия. При включении тока будет наблюдаться движение ионов навстречу друг другу: ион меди — от анода, ион дихромата — от катода. В месте встречи ионов образуется зеленая полоска (В. С. Полосин).

3) На поверхность смоченной раствором сульфата натрия фильтровальной бумаги помещают жгут (как показано на рис. 150) из чистого фитиля спиртовки, слегка смоченный раствором комплексной соли $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{CrO}_4^1$, содержащей окрашенные ионы: анион желтого цвета CrO_4^{2-} и катион синего цвета $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$.

Через некоторое время, сняв жгут, можно увидеть желтую полосу, направленную в сторону анода, голубую — в сторону катода.

4) Посередине пластинки или ближе к аноду помещают кристаллики перманганата калия. После включения тока образуются фиолетово-красные язычки, направленные в сторону анода.

¹ Для приготовления комплексной соли к насыщенному раствору хлорида меди приливают насыщенный раствор хромата калия. Выпавший осадок растворяют в 25-процентном растворе аммиака, приливая его небольшими порциями.

5) На расстоянии 2—3 см от катода помещают бесцветную фенолфталеиновую бумажку (приготовление см. в т. I, стр. 287), на том же расстоянии от анода такую же индикаторную бумажку, но окрашенную (смоченную водой бумажку подержать в парах аммиака). Через несколько минут после включения тока бумажка у катода краснеет (избыток гидроксильных ионов), а красная бумажка у анода обесцвечивается (избыток водородных ионов).

Можно для этого варианта использовать также синюю (у анода) и красную (у катода) лакмусовые бумажки, которые соответственно изменяют цвет.

6) При использовании фильтровальной бумаги (даже нескольких слоев) с нее довольно быстро испаряется вода. Этот недостаток устраняется, если заменить бумагу ватой (В. С. Полосин). На стеклянную пластинку наносят два тонких ровных слоя гигроскопической ваты в виде двух полосок шириной 3—4 см (рис. 151). Обе полоски ваты (а и б) слегка увлажняют, чтобы они держались на пластинке. На концы полоски а кладут алюминиевые пластинки с приклепанными к ним проводами 5. На участок 1 того и другого слоя капают пипеткой 3—4-процентный раствор хлорида натрия, на участок 2 капают однонормальный раствор соляной кислоты (3—4 см по длине полоски), на участок 3 (также 3—4 см по длине) капают раствор поваренной соли и на участок 4 — раствор поваренной соли с добавлением к нему раствора синего лакмуса. Раствор поваренной соли на участке 3 изолирует лакмус от соляной кислоты, нанесенной на участок 2.

Стеклянную пластинку покрывают такой же пластинкой (она прижимает электроды к вате), скрепляют пластинки с помощью согнутых полосок жести резинкой или ниткой, ставят вертикально и подключают полоску а к источнику постоянного тока (напряжение 40—50 в). Полоска б контрольная. Ионы водорода передвигаются к катоду и окрашивают лакмус в красный цвет, что заметно через 6—7 мин после начала опыта. В контрольной полоске изменение окраски лакмуса может наступить только в результате диффузии через длительное время.

7) Четкую картину распределения ионов в направлении катода и анода можно получить с помощью прибора, сделанного из кожуха холодильника Либиха (рис. 152). Из кожуха холодильника вынимают трубку и закрывают его отверстия пробками. Один из боковых отростков соединяют резиновой трубкой с водопроводным краном, от второго отростка направляют сливную трубку в рако-

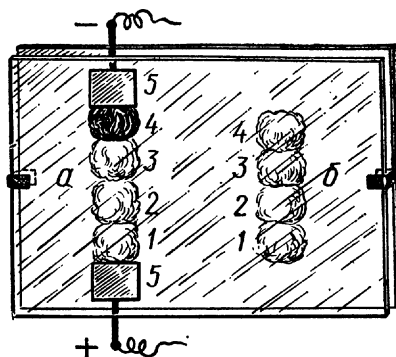


Рис. 151. Использование ваты в опыте по движению ионов.

вину. Между отростками холодильника в несколько слоев наматывают белую полотняную тряпку, смоченную 10-процентным раствором сульфата калия. Края тряпки обертывают двумя широкими лентами из алюминиевой фольги. Поверх фольги тряпку зажимают широкими медными пластинками, концы которых скрепляют болтиками (винт и гайка). Подготовленный кожух укрепляют в штативе.

Приготавливают жгут из тряпки (толщина жгута 2 см) и смачивают его раствором комплексной соли $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{CrO}_4$ (стр. 196). Жгут отжимают и осторожно, но плотно накладывают на середину тряпки, намотанной на кожух холодильника. Если жгут после этого снять, то на ткани останется ясно заметная зеленая полоса.

Медные обоймы, охватывающие кожух, присоединяют к выпрямителю. Всю установку через выпрямитель включают в осветительную сеть. В кожух холодильника пускают воду из крана водопровода. Включают ток. Через 1,5 мин у краев зеленой полосы на тряпке появляется синее распространяющееся к катоду окрашивание. К аноду распространяется желтая полоса. Издали эти полосы будут видны через 5 мин. Если выключить ток через 20 мин после начала опыта, снять с муфты тканевую обмотку и развернуть ее, то можно видеть хорошо заметные синюю и желтую полосы, отходящие от средней зеленой полосы. Ширина полос различна. Таким образом, этот опыт показывает и относительную скорость движения ионов.

8) Более сложный по конструкции прибор для наблюдения движения ионов изображен на рисунке 153. Он состоит из U-образной трубки с впаянной на сгибе воронкой с краном (такие приборы имеются в продаже). В отверстия трубки вставляют на пробках чистые угольные электроды. Для наблюдения движения ионов готовят утяжеленный раствор перманганата калия и нитрата меди. Для этого в насыщенном при комнатной температуре растворе нитрата калия растворяют перманганат калия до получения интенсивно окрашенного непрозрачного раствора и всыпают в него кристаллы нитрата меди (около 20 г на 50 мл раствора).

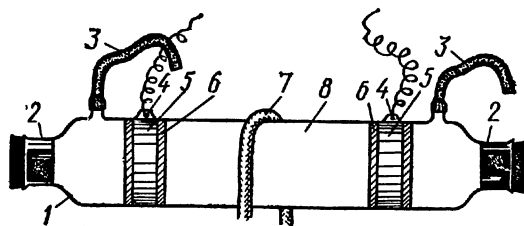


Рис. 152. Прибор из муфты холодильника Либиха для наблюдения движения ионов:

1 — муфта холодильника; 2 — резиновая пробка; 3 — отводы холодильника; 4 — обоймы с винтами; 5 — медные электроды; 6 — алюминиевая фольга; 7 — жгут; 8 — тряпка.

В U-образную трубку наливают (не через воронку) сначала до $\frac{2}{3}$ объема 10-процентный раствор нитрата калия при закрытом кране так, чтобы в пространстве под краном не осталось воздуха. Не открывая кран, наливают в воронку окрашенный рабочий раствор, приготовленный указанным выше способом (уровень раствора в воронке должен быть выше уровня жидкости в коленях U-образной трубки), и, осторожно приоткрывая кран, вливают окрашенный раствор в трубку под жидкость, пока он займет положение, как на рисунке 153. При этом уровень раствора нитрата калия должен подняться настолько, чтобы угольные электроды были погружены в него. Прибор позволяет использовать небольшое напряжение от селенового выпрямителя (до 15 в). Через несколько минут после включения тока к аноду начинает подниматься фиолетовое облачко. У катода такое облачко не появляется. Сколько-нибудь заметного нагревания раствора следует избегать, так как при этом наступает конвекционное перемешивание растворов. При небольшой силе тока, регулируемой реостатом, и достаточном напряжении можно использовать выпрямитель ВУП-12. Через некоторое время в катодном пространстве над темным раствором перманганата калия появляется голубое кольцо, свидетельствующее о перемещении к катоду окрашенных ионов меди.

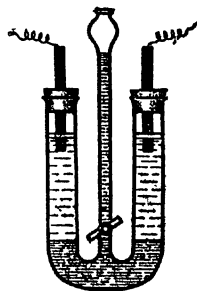


Рис. 153. Прибор для наблюдения движения ионов.

ИОННЫЕ РЕАКЦИИ В РАСТВОРАХ

1) Реакция обмена между кислотами, основаниями и солями в водных растворах. Цель опытов — показать, что многие обменные реакции в растворах с участием ионов протекают очень быстро¹ (см. также главу о скорости реакций).

Для опыта нужно брать растворы равных концентраций, например 0,1 н. опыты проводят последовательно со следующими группами веществ:

- а) CuSO_4 , CuCl_2 , $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ и NaOH (или KOH);
- б) Na_2SO_4 , CuSO_4 , H_2SO_4 и BaCl_2 ;
- в) BaCl_2 , NaCl , HCl и AgNO_3

Вещества подбирают по принципу: каждый из нескольких разных электролитов, имеющий общий ион, сочетается с одним и тем же электролитом, содержащим ион, реагирующий с этим общим ионом. В соответствии с этим принципом указанные вещества могут быть заменены другими.

¹ Существуют специальные методы, с помощью которых скорость самых быстрых ионных реакций может быть измерена.

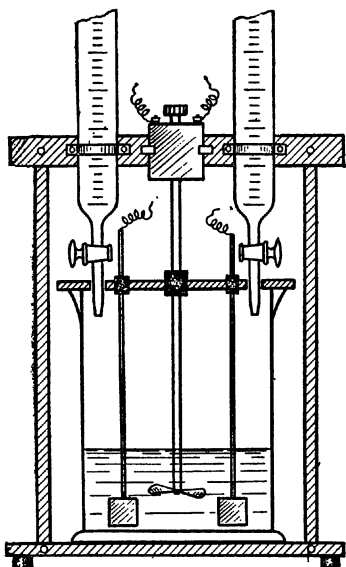


Рис. 154. Прибор для демонстрации изменения электропроводности при нейтрализации раствора гидроксида бария серной кислотой.

нитрата свинца), с выпавшим осадком¹ поступают, как указано выше.

г) О реакции нейтрализации с применением индикаторов рассказывается на странице 147.

2) Реакция нейтрализации гидроксида бария серной кислотой. Реакция интересна тем, что при полном протекании ее в растворе практически не остается ионов², так как ионы Ba^{2+} и SO_4^{2-} связываются в нерастворимое соединение $BaSO_4$, а водородные и гидроксильные ионы — в малодиссоциирующую воду. Поэтому в момент нейтрализации изменяется соответственно окраска индикатора и резко падает электропроводность раствора, отчего лампочка, подключенная к опущенным в раствор электродам, гаснет.

На рисунке 154 изображен прибор для демонстрации этих явлений, доступный для изготовления в школе. На деревянной доске (панели) размером примерно 15×20 см между двумя деревянными (или металлическими, например из «уголкового» алюминия) стойками устанавливают толстостенный стакан (банку) объемом 250—300 мл. К стакану (банке) изготавливают из дерева или пластмассы

Демонстрационные опыты проводят в стаканчиках, лабораторные работы — в пробирках. На сосудах лучше сделать метки карандашом по стеклу, а на пробирках — колечки, чтобы иметь возможность быстро сливать равные объемы растворов.

а) В приготовленные три сосуда наливают приблизительно равные объемы раствора щелочи и приливают в каждый из них раствор соответствующей соли меди. Желательно показать, что голубой осадок находится в бесцветном растворе; если это не удается, то можно отфильтровать часть раствора.

б) К растворам разных солей серной кислоты приливают раствор хлорида или нитрата бария, перемешивают жидкость с осадком, фильтруют, промывают осадки на фильтре и сравнивают их свойства.

в) К растворам соляной кислоты, хлорида натрия, хлорида бария приливают раствор нитрата серебра (при отсутствии последнего берут раствор

¹ Выпавший белый осадок хлорида свинца хорошо растворим в горячей воде и при медленном охлаждении выпадает в виде крупных белых кристаллов.

² Произведение растворимости $BaSO_4$ составляет всего $0,84 \cdot 10^{-10}$.

крышку с просверленными в ней отверстиями: в центре — для мешалки, по обеим сторонам от него — по два отверстия (небольшие — для концов бюреток и побольше — для пробок, в которые вставлены проволочные медные электроды с пластинками внизу). К верхней перекладине крепятся две бюретки (можно обойтись и одной) и небольшой электромотор ¹, вращающий мешалку (можно вращать мешалку рукой). Мешалка соединяется с осью мотора отрезком резиновой трубки.

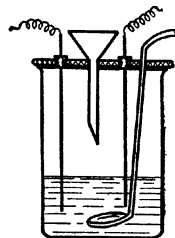


Рис. 155. Простой прибор для нейтрализации гидроксида бария серной кислотой.

Концентрации взятых растворов следует подбирать так, чтобы на 100 мл раствора гидроксида бария расходовалось для нейтрализации около 20 мл раствора серной кислоты. Обычно насыщенный раствор гидроксида бария ² (баритовую воду) разбавляют дистиллированной водой в 5—10 раз, а концентрацию серной кислоты рассчитывают в пределах указанного соотношения и проверяют предварительными опытами ³.

В стакан наливают 150 мл раствора гидроксида бария и приливают фенолфталеин. В одну бюретку наливают (правила, стр. 149) раствор серной кислоты, в другую — раствор гидроксида бария. Присоединяют электроды к прибору для испытания электропроводности, при включении прибора в сеть лампочка загорается (стр. 184). Пускают в ход мешалку и приливают раствор серной кислоты из бюретки сначала по несколько миллилитров, потом по 1; 0,5 мл и, наконец, по каплям. Окраска фенолфталеина ослабевает, накал лампочки уменьшается, и в момент нейтрализации лампочка гаснет, а окраска индикатора пропадает. Обратив на это внимание учащихся, приливают из бюретки несколько капель раствора гидроксида бария: индикатор краснеет, лампочка загорается. Осторожно приливают из другой бюретки серную кислоту, вновь происходит нейтрализация, а с прибавлением избытка кислоты лампочка загорается, но индикатор остается бесцветным.

На рисунке 155 изображен простой прибор для демонстрации этой реакции. Кислоту приливают пипеткой через небольшую хорошо вымытую воронку (можно применить и бюретку), мешалку приводят в движение снизу вверх рукой, проволочные электроды включаются как обычно (стр. 184). При этих упрощениях добиться совпадения погасания лампочки и исчезновения окраски индикатора труднее, так как можно ошибиться в дозировке кислоты:

¹ Так называемый мотор Уоррена дает примерно до 200 оборотов в минуту. В продаже имеются моторчики для прямого включения в осветительную сеть с разным числом оборотов.

² Растворимость гидроксида бария при комнатной температуре составляет около 1,8 г в 100 мл воды, но она сильно возрастает при нагревании.

³ Следует приготовить достаточное количество раствора серной кислоты, чтобы хватило надолго, так как подбор необходимой концентрации требует много времени.

лучше брать кислоту более разбавленную, например в 2—4 раза по сравнению с раствором для первого варианта опыта. Опыт перед демонстрацией требует тщательной проверки.

3) Взаимодействие кислоты и основания в процессе взаимной диффузии ионов. В стеклянный цилиндр наливают до половины объема разбавленный (например, 1М) раствор уксусной кислоты, в который прибавлен универсальный индикатор (стр. 205) с большим диапазоном изменения окраски: от красной в кислой среде до темно-фиолетовой (или темно-зеленой) в щелочной среде¹. Поверх этого раствора пипеткой по стенке настилают водно-спиртовой раствор аммиака² (12-процентный раствор аммиака и этиловый спирт слить в равных объемах) с прибавленным к нему же индикатором (налить почти до верха цилиндра и закрыть полиэтиленовой пленкой, как описано в т. I, стр. 316). В месте соприкосновения растворов сначала образуется зеленое кольцо, а по мере протекания встречной диффузии появляются участки с оранжевой, желтой, зеленой (разных оттенков), синей и фиолетовой (в верхних слоях) окраской с постепенными переходами от одной к другой (без резких границ). Кроме универсального индикатора, можно применить любой индикатор, но окраска будет менее разнообразна.

4) Отличие свойств кристаллических электролитов и их растворов. Смешать сухие порошки гидрокарбоната натрия NaHCO_3 (около 6 г) и лимонной кислоты (около 5 г). Реакция между веществами не происходит. Всыпают смесь в воду, взбалтывают, немедленно наступает реакция с сильным вспениванием и выделением оксида углерода CO_2 .

5) Свойства растворов уксусной кислоты в ацетоне и в воде (Г. Вольеров). а) В ацетоне растворяют индикатор метиловый оранжевый до насыщения. Раствор сливают с оставшегося осадка и к 2—3 мл его приливают 3—4 мл ледяной уксусной кислоты (за неимением такой кислоты можно использовать уксусную эссенцию, но тогда раствора индикатора в ацетоне надо взять по крайней мере вдвое больше для связывания избытка воды, см. стр. 195). После перемешивания окраска индикатора остается желтой (концентрация ионов водорода водорода незначительна), характерной для нейтральной среды. При добавлении воды индикатор краснеет, так как увеличивается концентрация ионов водорода в результате диссоциации уксусной кислоты под действием полярных молекул воды.

б) В 3—4 мл ацетона растворяют около 1 мл ледяной уксусной кислоты и прибавляют немного порошка магния: реакция почти незаметна; приливают воду: сразу же начинается бурная реакция с выделением водорода.

¹ Сухой универсальный индикатор с возможностью изменения окраски в пределах значений pH от 1 до 14 имеется в продаже (в наборах индикаторов). Инструкция для приготовления раствора прилагается к набору (т. I, стр. 288).

² Для опыта следует брать растворы слабой кислоты и слабого основания, тогда переходы в изменении окраски индикатора будут более богатыми.

6) Отличие протекания реакции замещения в разных растворителях. В двух стаканах растворяют безводный хлорид меди CuCl_2 (стр. 193) в ацетоне и в воде; сравнивают цвет растворов (стр. 193). В растворы опускают одинаковые железные пластинки. На пластинке в стакане с водным раствором сразу же появляется слой меди, а в растворе ацетона реакция идет очень медленно, так как концентрация ионов невелика.

7) Окислительно-восстановительные реакции при взаимной диффузии ионов. а) В цилиндр до половины объема наливают раствор дихромата калия, подкисленный серной кислотой. Поверх него наливают по стенке пипеткой раствор сернистой кислоты (приготовление см. на стр. 296), разбавленный на $\frac{1}{3}$ этиловым спиртом. В месте соприкосновения растворов образуется сине-зеленое кольцо. По мере протекания диффузии вверх и вниз распространяется зеленовато-фиолетовое окрашивание вследствие образования соли трехзарядного хрома (стр. 367).

б) В цилиндр до половины объема наливают концентрированный подщелоченный раствор сульфита натрия, а поверх него осторожно наливают прозрачный раствор перманганата калия. В результате диффузии от места соприкосновения растворов вверх и вниз распространяется зеленое окрашивание (восстановление иона MnO_4^- в щелочной среде).

Можно вначале налить в цилиндр утяжеленный (в растворе нитрата калия, стр. 198) раствор перманганата калия, а поверх его подщелоченный раствор сульфита натрия, разбавленный на $\frac{1}{3}$ этиловым спиртом. Если вместо сульфита натрия взять раствор сернистой кислоты, то в процессе диффузии будет происходить обесцвечивание раствора перманганата (стр. 369).

8) Обнаружение ионов хлора в продукте разложения бертолетовой соли. В две пробирки насыпают понемногу кристаллической бертолетовой соли. В одну из них приливают воду, растворяют в ней взятую соль и добавляют раствор нитрата серебра; осадок не образуется. Во второй пробирке нагревают бертолетову соль до прекращения выделения кислорода. Охлажденный сухой остаток (хлорид калия) растворяют в воде и приливают раствор нитрата серебра; образуется обильный белый осадок. Сравнивают состав ионов и степень окисления хлора в бертолетовой соли и в хлориде калия. (О подобных реакциях см. также в последующих главах.)

9) Обменные ионные реакции с участием ионитов¹. а) К раствору хлорида натрия в дистиллированной воде приливают раствор

¹ Иониты — ионообменные смолы — высокомолекулярные органические вещества с трехмерной структурой, образованной каркасом из углеродных атомов, с которыми связаны группы $-\text{COOH}$, $-\text{SO}_3\text{H}$ или замещенные аммонийные группы типа $-\text{N}(\text{CH}_3)_3^+\text{Cl}^-$. В первом случае возможно обратимое замещение ионов водорода катионами металлов (катиониты), во втором — обмен ионов хлора на анионы OH^- и другие (аниониты).

В СССР выпускают сульфокислотные катиониты марок КУ-1, КУ-2, КБ-4 и др., а также сульфоголь с активными группами $-\text{SO}_3\text{H}$, $-\text{COOH}$ и др., основные аниониты АБ-17, АБ-15 с активными группами $-\text{N}^+(\text{CH}_3)_3$ и др.



Рис. 156.
Ионобмен-
ная колонка.

индикатора метилового оранжевого; он принимает характерный для нейтральной среды оранжевый цвет. В другой колбе встряхивают с водой и прибавленным к ней индикатором (метилowym оранжевым) небольшое количество катионита, «заряженного» ионами водорода (см. ниже) и промытого до нейтральной реакции; окраска индикатора также соответствует нейтральной среде. Приливают в колбу с катионитом раствор хлорида натрия; окраска индикатора становится розовой (произошел обмен ионов водорода на ионы натрия, вследствие чего ионы H^+ от катионита перешли в раствор). Последующие опыты удобно выполнить в ионообменной колонке (рис. 156)¹.

б) Через колонку с катионитом пропускают воду. Изменений окраски индикатора в вытекающей воде нет. После этого пропускают через колонку раствор соляной кислоты. Вытекающая жидкость окрашивает метиловый оранжевый в розовый цвет за счет поглощенных ионов водорода (значительная часть H^+ поглощается ионитом). Через некоторое время промывают катионит в колонке водой до нейтральной реакции на метиловый оранжевый (подготовка H^+ -катионита).

в) Через колонку с H^+ -катионитом пропускают раствор хлорида натрия. Вытекающая жидкость окрашивает метиловый оранжевый в розовый цвет (обмен ионов H^+ из ионита на ионы Na^+). Раствор хлорида натрия пропускают через колонку до тех пор, пока в вытекающей жидкости индикатор перестанет изменять окраску (насыщение катионита ионами натрия).

г) Насыщенный ионами натрия катионит промывают несколько раз соляной кислотой (ионы натрия замещаются ионами водорода, происходит регенерация катионита), затем водой до нейтральной реакции; катионит снова готов к работе. (О применении ионитов для умягчения воды см. т. I. стр. 239.)

КОНЦЕНТРАЦИЯ ВОДОРОДНЫХ ИОНОВ В РАСТВОРАХ, ВОДОРОДНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ. БУФЕРНЫЕ РАСТВОРЫ

Несколько приведенных ниже рекомендаций по приготовлению буферных растворов и определению рН колориметрическим методом подготавливают учащихся к работам по установлению степени кислотности различных растворов, кислотности почвы и т. п. Для работ в сравнительно небольших интервалах рН нет необходимости готовить большую индикаторную шкалу; так, для опре-

¹ Изготовить ионообменную колонку можно из бюретки или соответствующей стеклянной трубки. Слой зерен смолы высотой до 15—20 см помещают между двумя тампонами из стеклянной ваты или стекловолна.

деления кислотности почвы достаточно шкала в пределах от 3 до 8 рН с интервалом через 0,1. Для этого достаточно использовать индикаторы метиловый оранжевый (3,1—4,8 рН), лакмоид (4,4—6,6 рН), бромфеноловый красный (5,4—7,0 рН), феноловый красный (6,8—8,4 рН)¹ или другие индикаторы, имеющиеся в наборах (инструкции к приготовлению и характеристике индикаторов прилагаются к набору), или же воспользоваться универсальным индикатором.

Буферные растворы² в указанных интервалах³ можно приготовить на основе смесей растворов кислот, оснований, солей. Так, для рН, равного 2,2—8,0, готовят 0,2 М раствор гидрофосфата натрия Na_2HPO_4 и 0,1 М раствор лимонной кислоты и сливают разные объемы этих растворов так, чтобы в сумме получилось 20 мл.

pH	3,00	3,2	3,4	3,6	3,8	
Na ₂ HPO ₄ (мл)	4,11	4,94	5,70	6,44	7,10	
Лимонная кислота (мл)	15,89	15,06	14,3	13,56	12,90	
pH	4	4,2	4,4	4,6	4,8	
Na ₂ HPO ₄ (мл)	7,71	8,28	8,82	9,35	9,86	
Лимонная кислота (мл)	12,29	11,72	11,18	10,65	10,14	
pH	5,0	5,2	5,4	5,6	5,8	
Na ₂ HPO ₄ (мл)	10,30	10,72	11,15	11,60	12,09	
Лимонная кислота (мл)	9,70	9,28	8,85	8,40	7,91	
pH	6,0	6,2	6,4	6,6	6,8	
Na ₂ HPO ₄ (мл)	12,63	13,22	13,85	14,55	15,45	
Лимонная кислота (мл)	7,37	6,78	6,45	5,45	4,55	
pH	7	7,2	7,4	7,6	7,8	8,05
Na ₂ HPO ₄ (мл)	16,47	17,39	18,17	18,73	19,15	19,45
Лимонная кислота (мл)	3,53	2,61	1,83	1,27	0,85	0,55

Для приготовления стандартной шкалы рН достаточно влить в пробирки по 10 мл соответствующего буферного раствора и прибавить столько капель индикатора, чтобы окраска его была хорошо заметна (без избытка). Пробирки с растворами хорошо закрывают и хранят как эталон для определения рН в данных интервалах. При определении рН испытуемого раствора наливают 10 мл его в такую же пробирку, приливают столько же капель индикатора и сравнивают окраску со стандартной шкалой. Для определения рН почвы часто пользуются универсальным индикатором Алямовского и стандартной шкалой окрасок, приготовленной сливанием цветных растворов минеральных солей.

¹ В скобках указаны крайние значения рН в областях изменения окраски: для бромфенолового красного — желтая, красная; для фенолового красного — то же.

² Буферные растворы сохраняют постоянное значение рН при разбавлении, а также при прибавлении растворов кислот и щелочей в пределах емкости буфера.

³ Для приготовления буферных растворов в других интервалах нужно обратиться к специальным руководствам.

Глава VIII

ЭЛЕКТРОЛИЗ

Прибор для электролиза водных растворов солей может быть изготовлен из U-образной трубки с отрезками или без них (т. I, стр. 102), в отверстия которой на пробках вставляют угольные электроды. В продаже имеется прибор для электролиза растворов солей, изображенный на рисунке 157. В простейших опытах можно использовать самодельный прибор из согнутой стеклянной трубки с внутренним диаметром 0,5 см. Электродами в этом случае служат графитовые стержни от карандашей (рис. 158). В качестве источника постоянного тока годится любой из выпрямителей, упомянутых в томе I (стр. 99), а также несколько соединенных последовательно сухих батарей (т. I, стр. 95). В необходимых случаях в цепь включают реостат (см. схемы соединения в т. I, стр. 98).

На первой стадии изучения явления электролиза достаточно рассмотреть по одному примеру каждого случая.

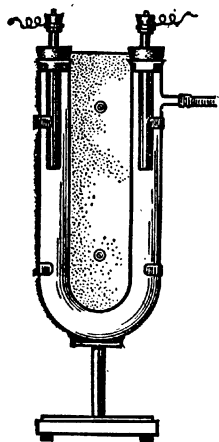


Рис. 157. Прибор для электролиза растворов солей.

1) В процессе электролиза разряжается и катион и анион растворенной соли. В U-образную трубку наливают раствор хлорида меди CuCl_2 , опускают электроды, включают ток. Через некоторое время на катоде отлагается красноватый слой меди (вынуть катод и показать классу), на аноде выделяется хлор (угольный электрод пахнет хлором). По окончании опыта катод с осажженным слоем меди погружают на некоторое время в разбавленную (1 : 1) азотную кислоту до растворения меди и хорошо промывают водой. Угольный анод также промывают водой.

2) В процессе электролиза разряжается только катион, входящий в состав соли, на аноде же протекает окисление иона OH^- с выделением кислорода. В U-образную трубку наливают раствор сульфата меди. На катоде отлагается слой меди, в анодном пространстве над жидкостью

собирается кислород, который при достаточно интенсивно идущем процессе можно отвести через отросток трубки и собрать в пробирку над водой или, вынув электрод, испытать тлеющей лучинкой.

3) Разряжается только анион, входящий в состав растворенной соли, а на катоде восстанавливается водород. В U-образную трубку наливают раствор иодида калия. В катодное пространство добавляют раствор фенолфталеина, в анодное — раствор крахмала и соответственно присоединяют к угольным электродам провода с учетом полюсов. Электроды должны быть хорошо промыты. При электролизе на аноде выделяется иод, дающий с крахмалом синее окрашивание, а у катода вследствие восстановления ионов водорода повышается концентрация гидроксильных ионов, фенолфталеин окрашивается в малиновый цвет.

4) Ни один из ионов, входящих в состав растворенной соли, не разряжается, а на катоде и аноде происходит соответственно восстановление ионов водорода и окисление гидроксильных ионов с выделением кислорода. В U-образную трубку наливают 10-процентный раствор сульфата натрия с прибавленным к нему фиолетовым раствором лакмуса. Изменение концентрации водородных и гидроксильных ионов при электролизе приводит к появлению у анода красного, у катода синего окрашивания. В согнутой части U-образной трубки лакмус некоторое время сохраняет фиолетовую окраску. Водород и кислород при достаточно интенсивном процессе и хорошо держащих пробках можно отвести через боковые отростки и собрать в пробирке над водой.

Если по окончании опыта раствор из U-образной трубки слить в стакан, то окраска лакмуса вновь будет фиолетовой, что свидетельствует об эквивалентности окислительно-восстановительных процессов, протекающих на электродах.

Удобно провести этот опыт в аппарате Гофмана, который заполняют раствором сульфата натрия с лакмусом. Водород и кислород собираются при этом в катодном и анодном пространстве под краями трубок; их испытывают обычным способом (стр. 102).

Описание опытов по практическому применению электролиза дано в главах «Галогены» и «Металлы».

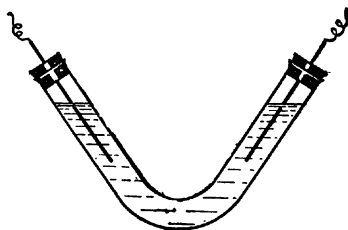


Рис. 158. Упрощенный прибор для электролиза.

Г л а в а IX

КРИСТАЛЛЫ

ОБРАЗОВАНИЕ КРИСТАЛЛОВ

Образование кристаллов из раствора

Выше (стр. 169) было указано, как получить в течение урока сравнительно большие кристаллы селитры. Подобным же образом можно получить кристаллы других веществ (KClO_3 , $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$). Для этого достаточно приготовить насыщенные растворы данных веществ при более высокой температуре и охладить. При медленном охлаждении образуются сравнительно крупные кристаллы, при быстром — мелкие.

Для демонстрации желательнее иметь набор образцов кристаллов некоторых веществ в их насыщенных растворах. Для составления набора достаточно взять следующие количества этих веществ на 10 мл воды:

$\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	4 г	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	4,5 г
$\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	5,5 г	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	4 г
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	3,5 г	KNO_3	5 г

Полученные при нагревании растворы фильтруют горячими в приготовленные пробирки и оставляют для охлаждения. Если при охлаждении кристаллизация не начнется, ее вызывают дополнительным введением кристаллика этой же соли. Затем пробирки закрывают пробками, заливают менделеевской замазкой и укрепляют на стойке или стенде с общим заголовком «Кристаллизация различных солей в насыщенных растворах». Этот набор может служить годами.

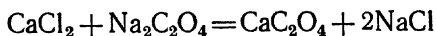
Кристаллы веществ, растворимость которых мало зависит от температуры (хлорид натрия и др.), можно получить осторожным упариванием насыщенного раствора при комнатной температуре в сосуде с плоским дном (кристаллизационной чашке и т. п.). Сосуд с раствором ставят в место, защищенное от пыли, сверху прикрывают бумагой и оставляют на длительное время, не взбалтывая и не допуская сотрясаний жидкости. Крупные, хорошо образованные кристаллы перечисленных выше веществ также можно получить в этих условиях. Образование кристаллов из растворов

при охлаждении или при сливании небольших количеств жидкостей можно наблюдать в увеличенном виде на экране с помощью кодоскопа (т. I, стр. 18). Для этого на дно чашки Петри, поставленной (через слой прозрачного целлофана) на линзу кодоскопа, наливают немного горячего раствора. При охлаждении образуются кристаллы, хорошо видимые на экране. (Об образовании кристаллов из пересыщенных растворов см. стр. 173.)

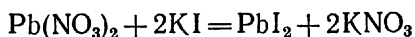
Образование кристаллов при химических реакциях

Кристаллы малорастворимых веществ можно получить при различных реакциях обмена.

1) Характерные блестящие кристаллы получают при сливании растворов солей кальция с раствором щавелевокислого натрия (оксалата натрия):



2) Золотистые кристаллы иодида свинца образуются при реакциях солей свинца с иодидом калия в водных растворах:



В стакан наливают по 10 мл 10-процентных растворов нитрата свинца и иодида калия, дают отстояться и часть жидкости сливают с желтого мелкого осадка.

Затем взвесь иодида свинца вливают в колбу с кипящей водой, к которой прибавлено немного уксусной кислоты. При медленном охлаждении раствора выпадают золотистые кристаллы иодида свинца. Таким же способом можно получить крупные белые кристаллы хлорида свинца (стр. 200).

Образование кристаллов при застывании расплавленного вещества

1) Чтобы показать образование кристаллов при застывании расплавленного вещества, можно воспользоваться классическим опытом с серой.

Чистую (например, черенковую) серу осторожно расплавляют в небольшом фарфоровом тигле, не допуская ее потемнения (стр. 287). Уровень расплавленной серы в тигле должен быть ниже края на 1,5—2 см. Когда вся сера расплавится (должна получиться желтая, почти прозрачная жидкость), ставят тигель на асбестированную сетку и закрывают стеклом. Вначале на поверхности образуется почти прозрачная легкая корка, под которой от краев тигля к центру начинают расти игольчатые кристаллы. Как только кристаллы начнут сходиться концами к середине тигля, сейчас же проплавить в образовавшейся корке предварительно нагретым железным стержнем (гвоздем и т. п.) отверстие посередине и быстро

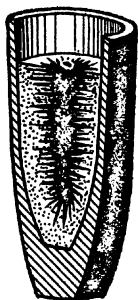


Рис. 159.
Кристаллы
призматиче-
ской серы.

вылить оставшуюся жидкую серу (тигель при этом держать щипцами). После этого удалить горячим ножом оставшуюся корку, чтобы лучше были видны кристаллы внутри тигля. Тигель держат так, чтобы удаляемые куски серы не испортили внешний вид кристаллов.

Тигель с кристаллами (рис. 159) сохранить для демонстрации явления перехода призматической серы в ромбическую (стр. 286).

Опыт требует внимания: важно не пропустить момент, когда нужно пробить корку, но после небольшой тренировки опыт удастся хорошо.

2) **Кристаллизация свинца и олова.** а) Расплавить 300—500 г свинца в железной чашке диаметром 8—10 см и, отставив горелку, дать медленно остыть. Когда при легком постукивании по чашке щипцами будет заметно, что на поверхности образовался твердый слой на протяжении 1—1,5 см от краев чашки, быстро вылить незастывшую часть свинца во вторую железную чашку, на сковородку и т. п.

На дне чашки, в которой плавится металл, остаются крупные кристаллы свинца. Опыт после небольшой практики удается очень хорошо.

б) Для получения кристаллов олова обыкновенная железная чашка не годится, так как к ней олово не пристаёт и кристаллы выпадают из чашки при выливании расплава. Чтобы опыт с оловом удался, чашка должна быть предварительно вылужена. Можно воспользоваться для плавления коробочкой, сделанной из луженой жести.

в) Из расплавленного олова и свинца легко отлить круглые палочки. Для этого расплавленный металл (неперегретый)¹ выливают в расширенную на конце (т. I, стр. 229) тонкостенную стеклянную трубку (трубку предварительно можно подогреть до 100—150 °С) с внутренним диаметром 0,5 см, обернутую несколькими слоями бумаги (на случай, если она даст трещины). Второй конец трубки запаивают или закрывают пробкой. Закрытым концом трубку ставят в чашку с песком и укрепляют в средней части в зажиме штатива.

После выливания расплавленного металла дают ему остыть, снимают с трубки слой бумаги, осторожно разбивают трубку молотком и вынимают металлическую палочку. Для демонстрации от палочки отламывают куски по 2—3 см. На изломе хорошо видны блестящие грани и ребра кристаллов.

При невозможности отлить круглые палочки выливают расплавленный металл в желобок, сделанный из согнутой вдоль длинной полосы листового железа, или в желобок, сделанный в толстой,

¹ Температура плавления олова 232 °С, свинца — 327 °С.

хорошо высушенной пластине глины и т. п. При этом получают трехгранные или четырехгранные палочки, на изломе которых кристаллы видны не хуже, чем на круглых. Металла для таких отливок требуется больше. Проще сделать отливку из сплава Вуда (стр. 355). Можно показать учащимся кристаллы на уже готовом изломе палочки цинка, меди, железа, чугуна (кусочек стержня от лабораторного штатива). Коллекцию таких изломов следует иметь в кабинете для изучения свойств металлов.

Кристаллиты

Кристаллическую структуру олова можно показать на куске жести (луженое, т. е. покрытое слоем олова, железо) от консервной банки и т. п. Кусок жести кладут в чашку с 10-процентным раствором соляной кислоты. Через 1—2 ч на поверхности олова отчетливо заметны очертания кристаллов, образовавшихся при застывании олова на поверхности железа. (При действии кислоты в первую очередь разрушаются стыки между кристаллами. Такие протравленные жестяные пластины ранее употреблялись для обивки ящиков, изготовления футляров и пр.)

Образование кристаллов при конденсации паров

Если раньше не были показаны опыты с иодом и бензойной кислотой (т. I, стр. 300), то их следует проделать. Кроме того, можно показать применение возгонки твердого вещества для его очистки. Таким способом очищаются, например, иод, нафталин и другие вещества.

Возгонка иода. На большое часовое стекло или в фарфоровую чашку помещают некоторое количество измельченного иода, сме-

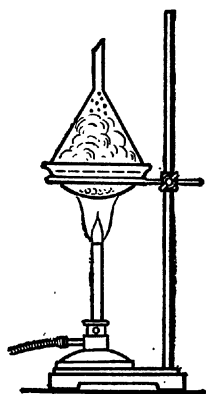


Рис. 160. Возгонка иода.

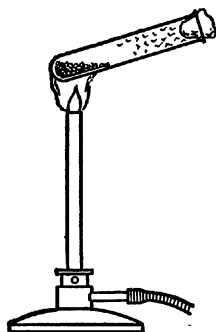


Рис. 161. Возгонка нафталина.

шанного с углем или каким-либо другим индифферентным веществом, сверху прикрывают опрокинутой большой воронкой, как на рисунке 160, и нагревают на слабом огне. На холодных участках воронки осаждаются крупные кристаллы иода. Такой же опыт можно показать и с нафталином (рис. 160).

Лабораторные опыты по возгонке можно выполнить в пробирках (рис. 161).

ВЫРАЩИВАНИЕ КРИСТАЛЛОВ

Выращивание кристаллов из пересыщенных растворов¹

Выращивание кристаллов из насыщенных растворов при медленном охлаждении

1) Красивые крупные призмы сульфата меди можно получить при медленном охлаждении насыщенного при нагревании прозрачного раствора.

Раствор готовят в конической колбочке, к нему прибавляют несколько капель декстринового или столярного (но не силикатного) клея. Клей повышает вязкость жидкости, что замедляет образование зародышей кристаллов. Чтобы охлаждение шло медленнее, колбу с раствором можно поставить в кристаллизационную чашку с горячей водой. Чашку сверху закрыть, поместить на асбестовую пластинку, а с боков обернуть несколькими слоями бумаги. На следующий день на дне колбочки появляются крупные (до 1 см в поперечнике) призмы длиной до нескольких сантиметров.

2) Подобным способом можно получить красивые кристаллы на стекле. Для этого горячий раствор сульфата магния (он получается очень концентрированный, густой, как сахарный сироп), к которому прибавлен клей, наносят при помощи кисти ровным слоем на кусок стекла. Через некоторое время все стекло покрывается узором, похожим на ледяные узоры, появляющиеся на окнах в сильные морозы.

Выращивание кристаллов из насыщенных растворов при испарении растворителя

Для получения больших, правильно образованных кристаллов удобнее всего воспользоваться квасцами $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Для опыта необходимо иметь запас насыщенного на холоде этого раствора: на 500 мл воды берут 50 г квасцов, растворяют при нагревании и затем, профильтровав горячий раствор (лучше через плотный фильтр, см. т. I, стр. 247), дают ему остыть, закрыв отверстие сосуда комком ваты. На дне сосуда образуется осадок кристаллов,

¹ Материал изложен на странице 176.

которые должны всегда находиться в сосуде с запасом насыщенного раствора.

В небольшой высокий стакан наливают до половины объема приготовленного холодного раствора и, хорошо прикрыв куском фильтровальной бумаги, оставляют сосуд стоять при комнатной температуре, не взбалтывая. Через несколько суток на дне сосуда появляются небольшие кристаллики квасцов. Выбрав наиболее правильно образованный кристаллик, осторожно переносят его пинцетом в другой стакан, в который налито до половины свежего раствора, и, прикрыв фильтровальной бумагой, оставляют кристаллизаться. Первый раствор фильтруют и присоединяют к запасному.

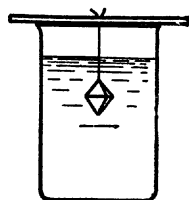


Рис. 162. Выращивание кристалла.

Помещенный в насыщенный раствор кристаллик, чтобы он рос равномерно, следует каждый день или через день переворачивать другой стороной, доливая, если нужно, раствор. Если в сосуде образовались новые кристаллики, то их следует удалить или перенести первый кристалл в сосуд со свежим раствором. Сосуд, в котором идет кристаллизация, должен быть всегда хорошо закрыт фильтровальной бумагой. Для получения более или менее крупного кристалла требуется несколько недель.

Чем равномернее температура в помещении и чем медленнее идет испарение, тем более правильным получается кристалл. Весьма существенным условием успешности опыта является также чистота раствора. В него не должна попадать пыль.

Вместо того чтобы переворачивать кристалл, можно подвесить его в растворе на нитке (рис. 162). Для этого достигший достаточных размеров кристалл вынимают из раствора, тщательно вытирают чистым полотенцем и затем к одной из его вершин слегка прикасаются размягченным в пламени горелки куском менделеевской замазки (т. I, стр. 290). К кристаллу должно пристать очень небольшое количество замазки. Берут тонкую капроновую нить и, размягчив замазку на кристалле при помощи пламени спички (осторожно, чтобы не нагревать кристалл), прикасаются к ней концом нити так, чтобы она пристала к замазке. Затем привязывают нить к лучинке, которую кладут на края стакана.

Подвешивание кристалла упрощает уход за ним, но внутри кристалла остается менделеевская замазка, которая портит вид кристалла.

Нить выше кристалла постепенно покрывается мелкими кристалликами, которые следует время от времени счищать. Вместо нити лучше поэтому воспользоваться волосом, по которому раствор меньше поднимается вверх.

Вместо того чтобы приклеивать кристалл к нити, можно растворить в стаканчике с 50 мл воды при нагревании 20 г квасцов, опустить в стаканчик конец намотанной на лучинку капроновой

или другой нити на 0,5 см, прикрыть бумагой и дать медленно остыть.

По остывании на нитке окажется несколько мелких кристалликов. Счистить или срезать ножницами все кристаллики, кроме одного, который и подвесить в стакан с холодным раствором, как было указано раньше. Все лишние, образующиеся на нитке кристаллы следует по мере их появления удалять, оставляя только тот, который предназначен для наращивания.

Чтобы на нитке непременно образовались кристаллы, можно предварительно опустить конец нити в порошок данного вещества. Приставшие к нитке кристаллики послужат затравкой для выделения кристаллов из насыщенного раствора.

Кроме алюмокалиевых квасцов, таким же способом можно вырастить темно-фиолетовые кристаллы хромокалиевых квасцов $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Те и другие квасцы изоморфны, поэтому, вырастив достаточно крупный кристалл хромокалиевых квасцов, можно опустить его в насыщенный раствор алюмокалиевых квасцов. Кристалл продолжает расти, покрываясь бесцветным слоем: темный кристалл оказывается заключенным внутри прозрачного.

В данных условиях можно выращивать кристаллы ферроцианида калия $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, феррицианида калия $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, дихромата калия, сульфата цинка и др. Очень крупные кристаллы можно вырастить из сегнетовой соли $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, обладающей пьезоэлектрическими свойствами.

Наращивание отбитого угла кристалла

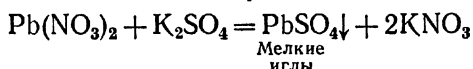
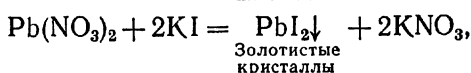
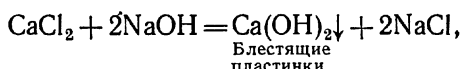
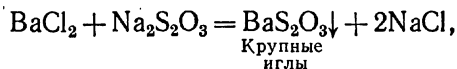
Цель опыта — показать, что в насыщенном растворе существует подвижное равновесие и одновременно идут процессы растворения и кристаллизации.

Для опыта следует выбрать два одинаковых крупных кристалла алюмокалиевых квасцов, отбить уголок от одного из них и подвесить его в насыщенный раствор квасцов в широкогорлую склянку, на дне которой находятся мелкие кристаллы этой соли. Волосок или нитку, на которой подвешивают кристалл, следует прикрепить к пробке, которой закрывают сосуд, так как раствор следует предохранить от испарения. Необходимо один раз в 2—3 дня производить очистку подвешенного кристалла от мелких кристалликов. Второй кристалл оставляют для сравнения и хранят в небольшой, хорошо закупоренной банке во избежание выветривания. Через неделю или две при сравнении опытного кристалла с контрольным становится заметным выравнивание граней кристалла, находившегося в растворе.

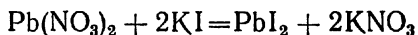
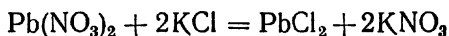
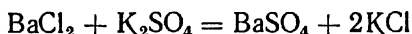
Выращивание кристаллов методом встречной диффузии

Хорошо выраженные и достаточно крупные кристаллы мало-растворимых веществ можно получать при реакциях обмена, если вступающие в обмен вещества диффундируют одно навстречу другому. Этим способом иногда удается получать кристаллы до 1,5 и более сантиметров в длину.

Хорошо получаются кристаллы при следующих реакциях:



Хуже идет образование кристаллов сульфата бария, хлорида свинца, бромида свинца:



Не удастся получить кристаллы иодида серебра, силиката кальция, сульфида меди, сульфида цинка, гидроксида меди (II).

Для опыта нужен большой сосуд (рис. 163), удобнее плоский прямоугольный сосуд длиной около 25 см, высотой 15—20 см и более. Но можно пользоваться и стаканом, банкой и т. п. В сосуд помещают две кристаллизационные чашки на 75—100 мл (химические стаканчики без носиков или две одинаковые баночки). В одной из них находится насыщенный раствор одной из реагирующих солей, в другой — другой (уровень раствора на 1,5—2 см ниже края сосуда). На дне каждого сосуда должен находиться слой в 2—3 см взятого твердого вещества.

Сосудики поверх насыщенного раствора очень осторожно, чтобы не перемешивать слои, заполняют почти доверху дистиллированной или заранее прокипяченной и остуженной до комнатной температуры водой (в воде не должно быть растворенного воздуха, так как потом пузырьки его, поднимаясь, перемешивают жидкость).

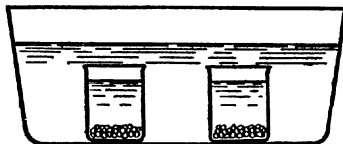


Рис. 163. Выращивание кристаллов плохо растворимых веществ при встречной диффузии.

Осторожно помещают сосудики в большой сосуд. Расстояние между сосудиками, которые должны стоять прямо (к дну можно заранее прилепить кусочки воска или парафина), 5—10 см. Заполняют сосуд дистиллированной или прокипяченной и остуженной до комнатной температуры водой. Вливать воду нужно медленно, лучше всего через большую воронку с присоединенной на каучуке трубкой, доходящей почти до дна сосуда. Воронку устанавливают на кольцо штатива. На каучук ставят зажим. Наполняют воронку водой, приоткрывают зажим так, чтобы вся трубка воронки заполнилась водой и конец трубки был погружен в воду на дне сосуда. После этого заполняют воронку водой и затем выпускают воду в сосуд так, чтобы в трубку воронки не попал воздух. Уровень воды в сосуде должен быть примерно на 5—6 см выше краев стоящих в нем сосудов с растворами.

После этого на поверхность воды наливают слой расплавленного парафина или слой масла и оставляют сосуд в таком месте, где он мог бы долго стоять без сотрясений и по возможности при постоянной температуре и где учащиеся могли бы наблюдать за ростом кристаллов. Кристаллы начинают появляться дней через пять на краях стаканчиков и на стенках большого сосуда. Более значительных размеров кристаллы достигают примерно через месяц.

Г л а в а X

СКОРОСТЬ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ. ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ

Скорость химической реакции

Зависимость скорости реакций в гомогенных и гетерогенных системах от природы реагирующих веществ

1) Сравнение скорости взаимодействия цинка, магния и железа с соляной кислотой. а) В два одинаковых стакана (пробирки) поместить нарезанные из листового цинка полоски или стружки этого металла¹ и такое же примерно (по занимаемому объему) количество стружек или ленты магния. Одновременно влить в сосуды с металлами равные объемы соляной кислоты (1:1). Сравнить скорости протекания реакций.

б) Гранулы цинка и кусочки железа (например, нарубленные из средней толщины вычищенных гвоздей) поместить в стакан или пробирку и прилить равные объемы соляной кислоты. Сравнить скорость выделения пузырьков водорода.

в) Для сравнения скорости реакций железа и магния с соляной кислотой нарезать небольшими кусочками ленту магния, а одинаковые кусочки стали наломать щипцами от хорошо вычищенного лезвия так называемой безопасной бритвы.

г) Небольшие количества мелких порошков цинка, магния, железа всыпать одновременно в три стакана с равными объемами разбавленной соляной кислоты. Сравнить скорости реакций.

2) Сравнение скорости взаимодействия иодида калия с хлорной водой и пероксидом водорода. К раствору иодида калия (например, однопроцентного) с прибавленным к нему раствором крахмала (стр. 37) прилить немного разбавленной (1:5) серной кислоты и разлить раствор поровну в два стакана. В один стакан прилить несколько миллилитров хлорной воды, в другой — несколько миллилитров 3-процентного раствора пероксида водорода. В первом стакане синяя окраска появляется мгновенно, во втором — через некоторое время.

¹ Сравнение скорости реакций цинка в виде обычных гранул и магния в виде ленты или стружек неубедительно, так как слишком велика разница поверхностей соприкосновения металлов с кислотой. При отсутствии стружек или пластинок цинка можно взять хорошо очищенные железные стружки или нарезать пластинки из нелуженой жести, вычищенной наждачной бумагой.

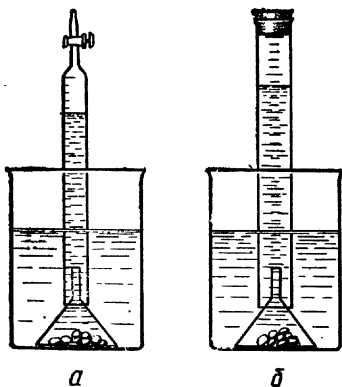


Рис. 164. Сравнение скоростей реакций с собиранием выделяющихся газов.

Опыт можно выполнить также с бромидом калия (подкисленный раствор без крахмала). О протекании реакции судят по пожелтению раствора (стр. 276).

3) **Взаимодействие металлов с разными кислотами.** а) *Взаимодействие магния с соляной и уксусной кислотами.* В один стакан наливают 1 М раствор соляной кислоты (80,8 мл HCl плотностью 1,19 долить до 1 л), в другой — 1 М раствор уксусной кислоты (80,6 мл уксусной эссенции долить водой до 1 л). В растворы этих кислот опускают кусочки ленты магния примерно одинакового размера. Скорость выделения водорода из растворов этих кислот очень различна.

б) В растворы этих же кислот в отдельных стаканах опускают кусочки цинка, железа. Сравнивают скорости выделения пузырьков водорода.

4) **Взаимодействие мрамора с соляной и уксусной кислотами.** В растворы соляной и уксусной кислот опускают кусочки мрамора примерно одинаковой величины, сравнивают скорости выделения пузырьков оксида углерода CO_2 .

5) **Сравнение скорости взаимодействия натрия с водой и спиртом.** В два стакана (по 100 мл) налить до половины объема воды и этилового спирта. Опустить пинцетом в каждый стакан по кусочку металлического натрия величиной с горошину (правила, стр. 89). Наблюдать различия в скорости реакций. Выполнить опыт с растворами этилового спирта в воде (1:1, 1:2, 1:3), отметить повышение скорости реакции с увеличением содержания воды в растворе.

Некоторые из перечисленных опытов можно выполнить с измерением объема водорода или оксида углерода CO_2 , выделившихся за отмеченный отрезок времени (число секунд или число ударов метронома, стр. 220). Опыты можно провести в приборе для определения эквивалентов (стр. 118), в приборах, изображенных на рисунках 166 (стр. 222) и 164. В две кристаллизационные чашки (или стаканы) помещают одинаковые количества кусочков цинка, железа или мрамора¹, накрывают небольшими воронками и наливают раствора кислоты столько, чтобы концы воронок оказались погруженными в жидкость на 2—3 см. Одновременно опускают в каждый стакан рядом с воронкой наполненную водой перевернутую бюретку или запаянную с одного конца (или закрытую пробкой) стеклянную трубку с нанесенными на нее делениями (т. I, стр. 92)

¹ С магнием в таком приборе работать неудобно, так как даже в разбавленных растворах кислот реакция протекает быстро.

или надетым резиновым кольцом¹. Заметив время, надевают одно- временно трубки (бюретки) на концы воронок и отмечают скорость наполнения их газом².

6) **Влияние природы растворителя на скорость реакции.** В одну пробирку налить 10 мл ацетона и прибавить 5 мл раствора брома в бензоле (одна капля брома на 5 мл бензола, стр. 276). В другую пробирку налить 10 мл ацетона и 5 мл раствора брома в четырех- хлористом углероде (той же концентрации). Отметить, через какое время обесцветился раствор брома в той и другой пробирке.

7) **Влияние кислотности среды на скорость реакции.** Равные объемы разбавленного раствора перманганата калия налить в две пробирки до половины объема. В одну пробирку прибавить немного 1 М раствора серной кислоты, в другую — такой же объем 1 М раствора уксусной кислоты CH_3COOH . Затем в обе пробирки прилить одновременно равные объемы 5-процентного раствора бромиды калия. Отметить, через какое время исчезнет окраска раствора в каждой пробирке.

Уравнения реакций не рассматриваются; учащиеся знакомятся с ними в соответствующих разделах курса.

Мгновенно и медленно идущие реакции

1) Демонстрируют опыты с растворами веществ, перечисленными на странице 199.

2) Для сравнения скорости реакций сливают равные объемы 1 М раствора тиосульфата натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (фиксажная соль) и серной кислоты (1:10). Помутнение, вызываемое появлением серы, наступает через легко измеряемый промежуток времени (стр. 220).

ЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ РЕАКЦИЙ ОТ КОНЦЕНТРАЦИЙ РЕАГИРУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

1) **Взаимодействие растворов серной кислоты и тиосульфата натрия различной концентрации.** Для опыта готовят полумолярные растворы серной кислоты и тиосульфата натрия³. Для отмеривания необходимых объемов жидкостей и проведения опытов нужны два измерительных цилиндра по 100 мл и шесть (при сравнении двух концентраций — четыре) стаканов по 150 мл. Отсчет времени произ-

¹ Открытый конец трубки закрывают кусочком бумаги (стр. 104).

² Растворы кислот для таких опытов взять более разбавленные, чем указано в предыдущей работе.

Для гетерогенных систем, где реакции протекают на поверхности раздела фаз, имеется в виду зависимость скорости реакции от концентрации веществ в растворах или от парциального давления газа (стр. 222 и 223).

³ При растворении тиосульфата натрия даже в дистиллированной воде раствор иногда получается немного мутным (опалесцирующим) вследствие выделения ничтожных количеств серы. Причиной этого является обычно слабокислая реакция воды (рН около 5) из-за поглощенного ею CO_2 из воздуха и т. п., поэтому к воде перед растворением соли прибавляют несколько капель раствора щелочи.

водят метрономом (т. I, стр. 94), а при отсутствии его — по часам с секундной стрелкой, равномерными ударами карандашом по столу и т. п.

В три стакана наливают соответственно 60, 30 и 20 мл полумолярного раствора тиосульфата натрия. Во втором и третьем стаканах объем растворов доводят до 60 мл, добавляя соответствующее количество воды. В остальные три стакана наливают по 60 мл полумолярного раствора серной кислоты. Отмеренные количества серной кислоты одновременно вливают в растворы тиосульфата натрия различной концентрации и быстро перемешивают.

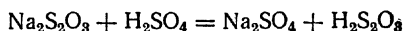
Если есть метроном, его пускают в действие заранее, сливают растворы при совпадении с очередным ударом и далее продолжают счет. При отсутствии метронома начинают счет одновременно со сливанием. Отсчет ведут до появления помутнения во всех трех стаканах, отмечая время (число ударов или счет) для каждого из них¹.

При достаточно точной работе длительность процесса во втором стакане возрастает в два раза, а в третьем — в три раза по сравнению с первым. Это позволяет сделать вывод, что скорость реакции прямо пропорциональна концентрации реагирующих веществ.

Указанная зависимость может быть подтверждена опытами, при которых берут растворы серной кислоты различной концентрации и растворы тиосульфата натрия одной и той же концентрации. Учащиеся могут выполнить их в пробирках с небольшими объемами растворов. Для опытов готовят растворы тиосульфата натрия (1:200) и серной кислоты (1:200, по объему). Вначале учащиеся наблюдают появление серы (помутнение) после сливания произвольных (например, равных объемов) количеств растворов. Затем в три большие пробирки наливают соответственно 5, 10 и 15 мл раствора тиосульфата натрия, отмеривая его пипеткой. В первую пробирку добавляют 10 мл, во вторую — 5 мл воды. В три другие пробирки наливают по 5 мл раствора серной кислоты. Одновременно сливают растворы тиосульфата натрия и кислоты и отмечают, через какое время появляется помутнение во всех трех пробирках.

2) Взаимодействие растворов иодида калия и пероксида водорода в кислой среде (М. Г. Фаерштейн). Для опыта необходим 0,001 н. раствор иодида калия, 0,0001 н. раствор серной кислоты, свежепри-

¹ При реакции между серной кислотой и тиосульфатом натрия образуется непрочная тиосерная кислота:



Кислота сразу же разлагается с выделением оксида серы SO_2 и серы, которая находится сначала в коллоидном состоянии, а затем коагулирует. Принято считать, что тиосерная кислота разлагается моментально, поэтому о скорости реакции судят по скорости коагуляции серы, которая зависит от концентрации исходных веществ. Наглядность этого опыта заставляет предпочесть его многим другим, более строгим в научном отношении. Учителю следует лишь сделать оговорку, что наблюдения за скоростью течения данной реакции проводят по косвенному признаку.

готовленный однопроцентный раствор крахмального клейстера, пероксид водорода, приготовленный разбавлением пергидроля (1:10), два цилиндра и две мензурки.

Заранее в один из цилиндров наливают 10 мл раствора иодида калия, 10 мл раствора серной кислоты, 20 мл воды и 5 мл крахмального клейстера. Во второй цилиндр наливают 20 мл раствора иодида калия, 20 мл раствора серной кислоты и 5 мл крахмального клейстера. Растворы тщательно перемешивают. В каждый из цилиндров добавляют одновременно при помешивании по 5 мл пероксида водорода (1:10).

Голубое окрашивание появляется раньше во втором цилиндре, где раствор иодида калия был более высокой концентрации (оформление опыта дано на рисунке 165). Отсчет времени ведут по секундомеру или одним из способов, указанных на странице 220.

Исходные растворы следует сохранить для опытов, показывающих зависимость скорости реакции от катализаторов (стр. 225).

3) Взаимодействие дисульфита натрия с иодатом калия. Для опыта заранее готовят 5—6-процентный раствор (практически насыщенный) иодата калия в разбавленной серной кислоте (13 мл 96-процентной серной кислоты плотностью 1,84 на 1 л воды)¹ и раствор крахмала (1 г на 1 л воды, способ приготовления см. в т. I, стр. 289). Непосредственно перед демонстрацией готовят раствор дисульфита натрия NaHSO_3 из расчета 26 г безводной соли в 1 л раствора. Нужное количество соли можно отвесить заранее, но раствор ее при хранении быстро окисляется. При отсутствии дисульфита натрия его можно заменить сульфитом натрия Na_2SO_3 , но последний еще менее устойчив².

В два стакана вливают из бюретки соответственно 1,5 и 0,75 мл раствора дисульфита натрия и доливают водой до 100 мл (на стаканах следует заранее нанести черту, соответствующую этому объему). В два других стакана (из другой бюретки) вливают соответственно 5 и 2,5 мл раствора иодата натрия, приливают раствор крахмала до объема 25 мл (нанести заранее черту, соответствующую этому объему) и доливают водой до 100 мл (также до ранее нанесенной черты).

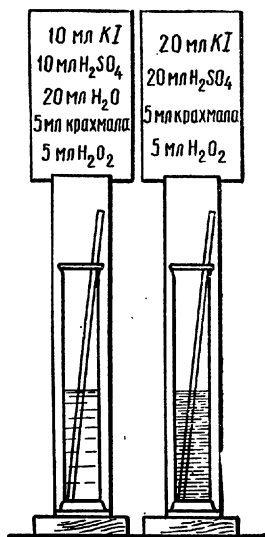


Рис. 165. Взаимодействие раствора иодида калия с пероксидом водорода в кислой среде.

¹ Такой раствор достаточно устойчив, приготовить его можно за сутки до демонстрации опыта.

² В продаже чаще бывает метадисульфит (пиросульфит) натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_6$, при растворении в воде переходящий в дисульфит натрия.

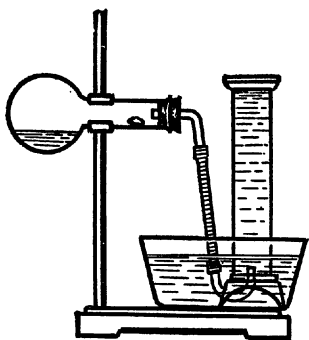


Рис. 166. Прибор для демонстрации зависимости скорости реакции от концентрации раствора.

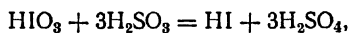
Пустив в действие метроном или начав устный отсчет, сливают попарно растворы в два больших по объему стакана одновременно. Через 10 сек в стакане с большей концентрацией вещества появляется синяя окраска (раствор мгновенно темнеет). В стакане с меньшей концентрацией растворов окраска появится через 40 сек, так как общая разность концентраций равна четырем (концентрация каждого из реагирующих веществ уменьшена в два раза)¹. Возможны и другие соотношения концентраций. Результат опыта зависит от точности приготовления и отмеривания растворов. Без количественных сравнений опыт может быть поставлен в числе

занимательных; он получил название египетской тьмы.

4) Взаимодействие мрамора с растворами соляной кислоты различной концентрации. В две колбы на 100—200 мл вливают через воронку, чтобы не смачивать горло колб, по 50—100 мл растворов соляной кислоты (1:1 и 1:4). Укрепив обе колбы в горизонтальном положении, как показано на рисунке 166, вносят в горла колб одинаковые по размерам и массе кусочки мрамора, закрывают колбы пробками с газотводными трубками и концы трубок подводят под цилиндры с водой. Одновременным поворотом обеих колб в вертикальное положение навески мрамора сбрасывают в растворы соляной кислоты, и по скорости заполнения цилиндров оксидом углерода CO_2 учащиеся могут судить о влиянии концентрации раствора на скорость реакции.

5) Взаимодействие серной и азотной кислот с металлами (В. С. Полосин). а) К 1 л однопроцентного раствора серной кислоты приливают 10 мл насыщенного раствора ферроцианида калия $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ (красная кровяная соль). Из полученного раствора готовят при разбавлении водой 0,5—0,25-процентные растворы, наливают равные объемы их в три стакана и в каждый опускают одинакового размера гвозди или канцелярские скрепки. Синее окрашивание появляется раньше в стакане с однопроцентным раствором, в остальных — позднее.

¹ Основным реакциям соответствуют уравнения:



Пока в растворе достаточно сернистой кислоты, выделения свободного иода не происходит. Как только сернистая кислота израсходуется, начинается выделение иода, который дает с крахмалом синее окрашивание.

б) В три пробирки наливают равные объемы (не более половины) 32-, 16- и 8-процентных растворов азотной кислоты, приготовленных соответственным разбавлением 65-процентного раствора ($d = 1,4$), и опускают одинаковые кусочки очищенной медной проволоки. Голубая окраска нитрата меди появляется раньше в пробирке с большей концентрацией раствора, в остальных — позднее.

б) **Зависимость скорости горения веществ от концентрации кислорода.** В сравнительном плане рассматриваются опыты по горению веществ в кислороде и в воздухе, а также некоторые опыты с жидким кислородом (стр. 20 и стр. 25).

ЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ РЕАКЦИЙ ОТ ПОВЕРХНОСТИ СОПРИКОСНОВЕНИЯ ВЕЩЕСТВ

1) Проводят опыт с мрамором и соляной кислотой, разбавленной в отношении 1:1, в приборе, упомянутом на странице 222 (рис. 166), или в открытых стаканах без собирания газа. Для сравнения берут одинаковые количества мрамора целым куском и измельченного. Сравнивают скорости выделения оксида углерода CO_2 в том и другом случае.

2) В пробирку с однопроцентным раствором серной кислоты с прибавленными к ней 2—3 каплями раствора ферроцианида калия $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ опускают железный гвоздь, в другую пробирку с таким же раствором всыпают равное по массе количество железных опилок. Сравнивают результат.

3) В две пробирки с 32-процентным раствором азотной кислоты помещают в одну кусок толстой медной проволоки, в другую — равное по массе количество порошка меди (стр. 24), сравнивают результат.

4) В стакан с соляной кислотой (1:2) всыпают гранулированный цинк и цинковую пыль, наблюдают различие в скорости их взаимодействия.

5) Образцы железа различной степени измельченности вносят в пламя спиртовки. Железо в куске и крупные железные опилки в этих условиях реагируют очень медленно, а железо, восстановленное водородом, дает в пламени сноп искр.

ЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ РЕАКЦИИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

1) Действие соляной кислоты на мрамор при различных температурах. Оформление опыта такое же, как изображено на рисунке 166, с тем лишь изменением, что в обе колбочки наливают раствор соляной кислоты (1:3) и перед сбрасыванием мрамора одну из колб подогревают пламенем спиртовки примерно до 40°C . Нагревание следует прекратить, как только колба с раствором станет немного теплее руки. Скорость заполнения цилиндра оксидом углерода CO_2 значительно больше в опыте с подогретой кислотой.

2) В три пробирки наливают 32-процентный раствор азотной кислоты. Первую пробирку оставляют при комнатной температуре, растворы во второй и третьей пробирках подогревают в стакане с горячей водой соответственно до 40 и 60 °С (термометр поместить в раствор). В каждую пробирку опускают одинаковые по размеру куски медной проволоки, сравнивают результаты.

3) **Взаимодействие растворов тиосульфата натрия и серной кислоты одной и той же концентрации при различных температурах.** Для опыта удобно воспользоваться полумолярными растворами этих веществ, приготовленными для предыдущих опытов (стр. 219), и разбавить их (на 1 объем этого раствора 2 объема воды). В две пары стаканов на 150 мл наливают по 50 мл раствора тиосульфата натрия и серной кислоты. С первой парой растворов производят опыт при комнатной температуре (стр. 220).

Растворы тиосульфата натрия и серной кислоты во второй паре стаканов подогревают (на электроплитке, спиртовке или помещают в горячую воду) на 10 °С выше комнатной температуры. Следят за повышением температуры, помешивая растворы термометрами. После достижения требуемой температуры одновременно сливают растворы. Отсчитывают число ударов метронома или ведут устный счет (стр. 222) с момента сливания растворов до появления взвеси. При достаточно точной работе в подогретых растворах взвесь появляется в два раза скорее, чем в неподогретых. Это позволяет сделать вывод, что с повышением температуры на 10 °С скорость реакции возрастает примерно в два раза.

Лабораторный опыт учащиеся могут выполнить в пробирке (стр. 220). В первой паре пробирок опыт выполняется при комнатной температуре. Растворы в другой паре пробирок погружают сначала в горячую воду и нагревают до температуры на 10 °С выше комнатной.

4) **Взаимодействие иодида калия и пероксида водорода в присутствии серной кислоты (М. Г. Фаерштейн).** Оформление опыта такое же, как на странице 221, но в данном случае лучше воспользоваться 0,01 н. растворами, так как здесь крахмал нельзя применить в качестве индикатора (нагревание) и о скорости реакции можно судить по появлению желтой окраски иода.

В каждый из двух цилиндров наливают по 10 мл 0,01 н. растворов иодида калия и серной кислоты. В один из цилиндров добавляют 40 мл холодной воды, а в другой — 40 мл воды, нагретой до 80—90 °С. Затем в каждый из цилиндров наливают по 5 мл пероксида водорода (1:10). В растворе с более высокой температурой почти мгновенно появляется желтое окрашивание, в другом же цилиндре — значительно позднее.

5) **Взаимодействие дисульфита натрия с иодатом калия.** Опыт выполняется, как указано на странице 221, но вторую пару растворов подогревают до температуры на 10 °С выше комнатной. Сливание растворов желательно произвести в стакане, помещенном в чашку с водой, нагретой также до этой температуры.

ВЛИЯНИЕ КАТАЛИЗАТОРА НА СКОРОСТЬ РЕАКЦИИ

В дополнение к опытам по катализу, изложенным на страницах 12, 13 и 15, рекомендуются нижеследующие опыты.

1) Разложение бертолетовой соли.

В пробирку насыпают слоем около 1 см бертолетову соль и закрывают пробкой с вставленным в нее стеклянным тройником. К боковому концу тройника присоединяют длинную газоотводную трубку, конец которой опускают в чашку с водой (рис. 167). К верхнему концу тройника на короткой резиновой трубочке присоединяют маленькую пробирку, изготовленную из запаянной стеклянной трубки (т. I, стр. 228), с небольшим количеством оксида марганца MnO_2 . Нагревают бертолетову соль в пробирке до плавления и начала выделения кислорода. Когда можно будет предположить, что воздух из пробирки вытеснен, подводят конец газоотводной трубки под цилиндр и отмечают скорость поступления пузырьков кислорода. Затем, повернув вверх пробирочку с оксидом марганца, всыпают его в расплавленную бертолетову соль, одновременно отставив горелку. Немедленно начинается бурное выделение кислорода, который быстро заполняет цилиндр.

2) Взаимодействие иодида калия с пероксидом водорода (М. Г. Фаерштейн, стр. 220). В три небольших цилиндра (стакана) наливают по 20 мл 0,001 н. растворов иодида калия и серной кислоты и по 5 мл однопроцентного раствора крахмала. В каждый цилиндр приливают по 5 мл 3-процентного раствора пероксида водорода. Сразу же после этого в первый цилиндр приливают несколько капель насыщенного раствора сульфата меди, а во второй цилиндр — несколько капель раствора аммиаката меди $[Cu(NH_3)_4]SO_4$ ¹ и взбалтывают. Синее окрашивание появляется во втором цилиндре мгновенно, в первом — вслед за ним, в третьем — спустя некоторое время. (О каталитическом разложении хлорной извести, каталитическом действии воды и др. см. стр. 269, 282 и 290).

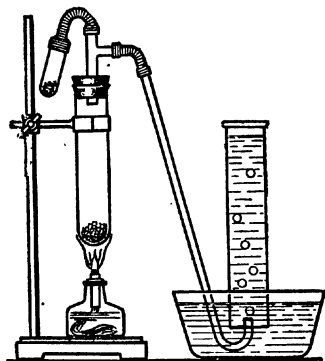


Рис. 167. Нагревание бертолетовой соли с прибавлением катализатора.

¹ Для приготовления раствора аммиаката меди к насыщенному раствору сульфата меди приливают небольшими порциями концентрированный раствор аммиака до полного растворения выпадающего вначале осадка гидроксида меди $Cu(OH)_2$. Аммиакат меди ускоряет разложение пероксида водорода H_2O_2 в миллион раз по сравнению с действием обычных солей меди.

3) Разложение нитрата натрия (В. М. Чистяков). Медленно идущий процесс разложения нитрата натрия при нагревании можно ускорить прибавлением оксида меди CuO . В одной пробирке нагревают чистый нитрат натрия, в другой — смесь его с оксидом меди (до 30% CuO). Сравнивают интенсивность выделения кислорода испытанием тлеющей лучинкой.

ЗАМЕДЛЕНИЕ РЕАКЦИИ ДЕЙСТВИЕМ СТАБИЛИЗАТОРОВ (ЗАМЕДЛИТЕЛЕЙ, ИНГИБИТОРОВ)

1) В две пробирки наливают по 10 мл дистиллированной воды. В одну из пробирок добавляют несколько капель глицерина. Через жидкости в той и другой пробирке пропускают в течение одной минуты оксид серы SO_2 (получение см. на стр. 295)¹. Затем жидкости в пробирках нагревают (не до кипения), пропускают через них в течение одной минуты кислород и приливают раствор нитрата бария, подкисленный азотной кислотой. Помутнение в пробирке, в которую добавлен глицерин, будет значительно слабее, так как глицерин замедляет процесс окисления сернистой кислоты (В. С. Полосин, стр. 297).

2) В две пробирки наливают по 10 мл раствора соляной кислоты (1:1), затем в одной из них растворяют $\frac{1}{4}$ таблетки уротропина. В каждую пробирку опускают одинаковые куски железной проволоки (небольшие гвозди и т. п.). Через несколько дней проволока в пробирке без уротропина почти полностью разрушается кислотой, в пробирке с уротропином остается почти без изменения (подробнее см. в гл. «Металлы»).

Химическое равновесие

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РЕАГИРУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ НА ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ

1) Для опыта можно воспользоваться реакцией роданида калия с хлоридом железа FeCl_3 . Следует заранее приготовить не только разбавленные растворы (0,001 н.), но и более концентрированные (0,1 н.) и кристаллический хлорид калия, а также два измерительных цилиндра, четыре стакана на 100—150 мл и две пипетки на 1 мл.

В два стакана отмеривают по 50 мл 0,001 н. раствора роданида калия и хлорида железа, сливают их в один стакан и затем разливают поровну в четыре сосуда, поставленные перед белым экраном. Влияние концентрации веществ на положение равновесия выясня-

¹ Не следует получать газ при взаимодействии серной кислоты с медью, так как он будет содержать примесь оксида серы SO_3 и серной кислоты (стр. 292).

ется при добавлении в первый стакан 1 мл 0,1 н. раствора роданида калия, во второй — 1 мл 0,1 н. раствора хлорида железа FeCl_3 и в третий — небольшого количества кристаллического хлорида калия. В первых двух случаях наблюдается резкое потемнение раствора, а в последнем — ослабление окраски. Раствор в четвертом стакане служит для сравнения.

2) Готовят концентрированный раствор хлорида меди CuCl_2 в воде. Концентрированный раствор имеет зеленую окраску, так как концентрация гидратированных ионов меди в нем невелика¹, при разбавлении голубеет, но при приливании концентрированной соляной кислоты или добавлении значительных количеств кристаллического хлорида калия раствор вновь становится зеленым. (См. также опыты, показывающие изменение цвета растворов бромиды меди CuBr_2 при разбавлении, стр. 193, и опыты по электропроводности растворов различных слабых электролитов, стр. 187.)

3) Безводный хлорид меди (II) растворяют в ацетоне (стр. 193). В полученный бурый раствор опускают электроды прибора для испытания электропроводности (стр. 184): лампочка не горит, так как раствор не содержит ионов. При добавлении воды появляется голубая окраска, лампочка загорается. Если всыпать в голубой раствор значительное количество безводного хлорида меди CuCl_2 , раствор становится буроватым, накал лампочки заметно ослабевает.

4) Аналогично выполняют опыты с обезвоженным хлоридом кобальта CoCl_2 (стр. 193).

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ

1) **Образование угольной кислоты и ее разложение при нагревании.** В дистиллированную воду пропускают струю оксида углерода CO_2 до насыщения² и прибавляют немного хорошо приготовленного (т. I, стр. 286) раствора фиолетового лакмуса (лакмоида). Индикатор окрашивается в красноватый цвет (слабокислая реакция раствора угольной кислоты). Для сравнения вливают столько же лакмоида в равный объем дистиллированной воды в другом стакане. Раствор угольной кислоты разливают в два стакана (пробирки). Один из них подогревают (не до кипения), другой оставляют для

¹ В растворе содержится комплексная соль $\text{Cu}[\text{CuCl}_4]$, которая разрушается при разбавлении. В концентрированной соляной кислоте диссоциация внутренней сферы комплекса затруднена, поэтому при осторожном разбавлении концентрированного раствора хлорида меди водой появляется голубоватое окрашивание, а при прибавлении концентрированной соляной кислоты раствор вновь зеленеет (смещение равновесия при введении одноименного иона Cl^-).

² К аппарату Киппа или другому прибору для получения CO_2 присоединяют шариковые трубки с углем и ватой для поглощения следов газообразного хлороводорода и мельчайших капель соляной кислоты, увлекаемых током оксида углерода (IV).

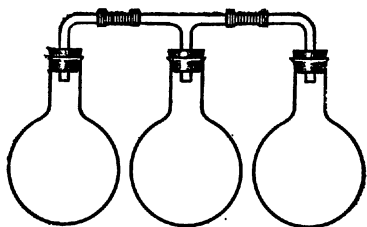
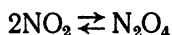


Рис. 168. Прибор для демонстрации смещения равновесия $2\text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4$ при изменении температуры.

короткими изогнутыми трубками с резиновыми перемычками на стык (соединение показано на рис. 168), наполняют оксидом азота NO_2 (получение см. на стр. 327) так, чтобы интенсивность окраски газа во всех трех сосудах была одинаковой¹. Две крайние колбы опускают одновременно: одну — в стакан с горячей водой, другую — в стакан с ледяной водой, но лучше в чашку с охлаждающей смесью (стр. 165). Средняя колба для сравнения остается между сосудами при комнатной температуре. В двух крайних колбах соответственно усиливается и ослабляется окраска вследствие смещения равновесия реакции²:



Через некоторое время колбы меняют местами, оставляя на месте среднюю, и снова наблюдают изменение окраски. Окраска становится одинаковой, как только сосуды примут комнатную температуру. При хороших резиновых пробках заполненный прибор можно использовать продолжительное время. Для лучшего сохранения нижние концы пробок следует покрыть слоем защитной замазки (т. I, стр. 290), приклеить пленку полиэтилена и т. п.

В более простом оформлении опыт можно выполнить в больших пробирках.

В простейших случаях в три пробирки помещают по нескольку

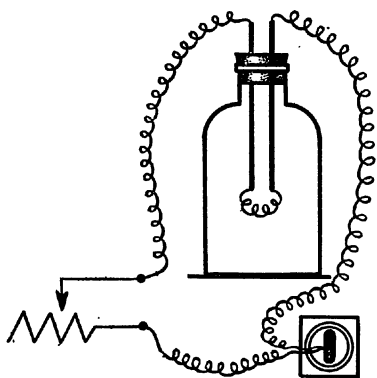


Рис. 169. Прибор для демонстрации смещения равновесия $2\text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4$ и разложения йодоводорода при нагревании.

¹ Колбы перед закрыванием поочередно прикладывают отверстиями друг к другу и несколько раз переворачивают.

² Резиновые перемычки в местах соединения можно перекрыть на это время зажимами, чтобы при изменении давления исключить переход газа из одного сосуда в другой, но это не обязательно, так как изменение окраски хорошо видно.

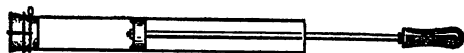


Рис. 170. Трубка с поршнем для демонстрации смещения равновесия.

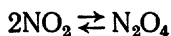
кристалликов нитрата свинца (лучше обезвоженного, стр. 328) и нагревают его до полного разложения¹. Прикладывая пробирки отверстиями друг к другу и перевортывая их, «выравнивают» окраску газа и закрывают резиновыми пробками. При демонстрации опыта одну пробирку оставляют для сравнения, две другие помещают соответственно в горячую воду и в снег и наблюдают изменение окраски (см. также стр. 329).

Для нагревания оксида азота NO_2 можно использовать нихромовую спираль, накаливаемую электрическим током. Три одинаковые стеклянные банки (объемом 250—300 мл из стекла одинакового цвета и прозрачности) наполняют оксидом азота NO_2 и закрывают пробками. Через пробку в одну из банок вводят две толстые медные проволоки с присоединенным к ним куском нихромовой спирали для включения в осветительную сеть через реостат (рис. 169). При демонстрации опыта одну банку оставляют для сравнения, вторую помещают в снег, в третьей накаливают спираль и наблюдают изменение окраски. Опыт можно демонстрировать подряд несколько раз, однако сохранять оксид азота в банке со спиралью и электродами долго не следует, так как они сильно корродируют.

Прибор со спиралью может быть использован для демонстрации смещения равновесия реакции разложения иодоводорода (стр. 284).

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА РАВНОВЕСИЕ РЕАКЦИЙ, ИДУЩИХ С УЧАСТИЕМ ГАЗОБРАЗНЫХ ВЕЩЕСТВ

Для демонстрационного смещения равновесия реакций² (В. С. Полосин)



можно использовать широкую трубку, запаянную с одного конца или закрытую хорошей резиновой пробкой, привязанной проволокой (т. I, стр. 267), с вставленным поршнем (рис. 170). Поршень делают из металлического стержня с резьбой на конце, на которую навинчивают две гайки со вставленной между ними резиновой пробкой. Завинчиванием верхней гайки регулируют диаметр пробки, которая должна плотно прилегать к стенкам

¹ Образующийся при этом оксид свинца PbO плотно пристает к дну пробирки и при перевортывании ее не высыпается. Для удаления оксида его растворяют в разбавленной (1:1) азотной кислоте.

² Повышение давления смещает равновесие в сторону образования N_2O_4 (ослабление окраски), понижение — в сторону образования NO_2 .

запаянной трубки. За неимением металлического стержня можно прикрепить шурупом кусок резиновой мягкой трубки соответствующего диаметра к концу прочной деревянной палочки (стр. 173). Трубку наполняют на $\frac{1}{4}$ объема оксидом азота, который получают разложением нитрата свинца в пробирке с газоотводной трубкой такой длины, чтобы ее можно было опустить почти до дна запаянной трубки. Затем в нее вставляют поршень и после перемешивания газ с воздухом быстро сжимают продвижением поршня примерно на $\frac{4}{5}$ длины трубки.

Вначале интенсивность бурой окраски усиливается вследствие увеличения концентрации газа, затем в результате смещения равновесия в сторону образования бесцветного оксида азота N_2O_4 газ в трубке начинает бледнеть.

Быстрое уменьшение давления при выдвижении поршня приводит вначале к почти полному обесцвечиванию газа вследствие уменьшения концентрации остатка оксида азота NO_2 . Через несколько секунд газ в трубке принимает бурую окраску, так как равновесие смещается в сторону образования оксида азота NO_2 .

Глава XI

ГАЛОГЕНЫ

Хлор

ОБРАЩЕНИЕ С ХЛОРОМ

Все опыты с хлором, за отдельным исключением при работе с очень малыми количествами газа, следует производить под тягой или с применением поглотителей¹. Очень хорошим поглотителем является активированный уголь. Опытным путем установлено, что последний очень интенсивно поглощает хлор (до 25% от своей массы).

При отсутствии активированного угля может быть использован и обычный древесный, лучше всего березовый, уголь, который адсорбирует хлор до 13% от своей массы.

Хлор сильно разъедает пробки и резиновые трубки приборов. Поэтому пробки к приборам для опытов с хлором при наличии тяги можно брать корковые, с тем чтобы после опытов их выбрасывать. Резиновые пробки могут служить дольше, но также сильно портятся. Резиновые трубки лучше брать второго сорта (т. I, стр. 132). Они меньше портятся от хлора, чем из лучшего сорта резины. Во всяком случае, по окончании опытов резиновые трубки необходимо промывать сначала водой, затем раствором щелочи и потом опять водой.

СОСУДЫ ДЛЯ ОПЫТОВ С ХЛОРОМ И ИХ НАПОЛНЕНИЕ

1) Хлор в небольших объемах можно собирать в сосуды (цилиндры, банки и пр.) над водой; этим достигается полнота наполнения, исключая примесь воздуха. Однако вследствие значительной растворимости хлора (стр. 242) следует применять горячую воду или пользоваться насыщенным раствором поваренной соли (например, при собирании хлора в газометр, стр. 234). Но при

¹ Хлор ядовит. В качестве противоядия используют смесь равных объемов этилового спирта, серного эфира и 5—10-процентного раствора аммиака. Жидкостью смачивают ватный тампон, осторожно носом вздыхают пары летучих веществ. Смесь готовят заранее.

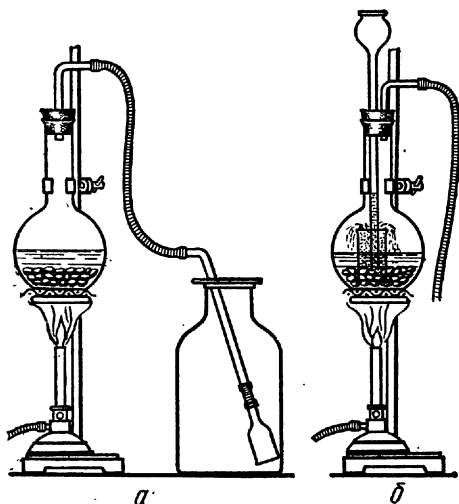


Рис. 171. Получение хлора в лаборатории.

Можно освещать заполняемый сосуд синим светом (синяя лампа, фонарь), при котором цвет хлора виден не хуже, чем днем.

Для демонстрационных опытов с хлором пригодны те же сосуды, что и для опытов с кислородом: склянки для сжигания в кислороде, банки и т. п., а для некоторых опытов — цилиндры для собирания газов. Все сосуды должны быть из бесцветного стекла.

По наполнении хлором сосуды хорошо закрывают. Кorkовые пробки для этого мало подходят, так как не могут хорошо держать. Резиновые пробки сильно портятся от хлора. Поэтому лучше всего закрывать сосуды притертыми стеклянными пластинками, смазанными вазелиновой мазью (т. I, стр. 143). У цилиндров для собирания газов такие пластинки имеются, к склянкам же их можно притереть (т. I, стр. 211). Если приходится пользоваться corkовыми пробками, то их необходимо предварительно проварить в парафине (т. I, стр. 295). Чтобы парафинированная пробка хорошо держалась, ее посыпают каким-нибудь порошком, например мелом или тальком.

Сосуды, наполненные хлором, не следует оставлять на долгое время, особенно если они закрыты не стеклышками, а corkовыми пробками. Можно наполнять сосуды за сутки до демонстрации опытов и оставлять под тягой или за окном.

Чем лучше действует вытяжной шкаф, тем проще может быть обставлено получение хлора и наполнение им сосудов, а также и опыты с хлором. Если же тяга плохая или ее совсем нет, то приходится пользоваться приборами, снабженными поглотителями (стр. 234), или некоторыми дополнительными приспособлениями. На рисунке 172 показано одно из приспособлений в виде цилиндра, наполненного концентрированным раствором едкого натра (1:5). В раствор опущена до дна цилиндра длинная стеклянная трубка,

обычных опытах небольшая примесь воздуха к хлору не имеет значения, поэтому его собирают в сосуды вытеснением воздуха. При достаточно сильном токе хлора на конец погруженной до дна сосуда газоподводящей трубки следует надеть аллонж (т. II, стр. 64), небольшую воронку, чтобы предупредить образование завихрений и преждевременное перемешивание хлора с воздухом (рис. 171). На белом фоне заполнение обычно хорошо видно, однако при вечернем освещении цвет хлора значительно менее заметен.

соединенная тройником с газоотводной трубкой прибора. При переносе газоподводящей трубки из одной банки в другую и т. п. каучук на газоподводящей трубке зажимают пальцами и избыток хлора направляют в раствор щелочи. Иногда отводят избыток хлора за окно через отводную трубку, вставленную в отверстие, просверленное в раме. Устройство приспособления понятно из рисунка 173.

Чтобы не сверлить в пробке для колбы три отверстия, удобно воспользоваться колбой Вюрца, на отросток которой надевают отводную трубку с зажимом. При использовании в качестве окислителя оксида марганца MnO_2 может быть исключена и воронка (стр. 232). Перед поступлением в сосуд хлор, как показано на рисунке 173, пробулькивает в склянку с водой, образуя необходимую для последующих опытов хлорную воду.

Вместо цилиндра со щелочью (рис. 172) можно к газоотводной трубке присоединить поглотительную склянку (склянка Тищенко для сухих веществ или простая банка с пробкой и двумя трубками), наполненную активированным углем (рис. 174). При необходимости перемычку у тройника перекрывают зажимом.

При заполнении хлором нескольких сосудов их можно соединить последовательно друг с другом, как показано на рисунке 175. Трубку от последнего сосуда выводят за окно или присоединяют к погло-

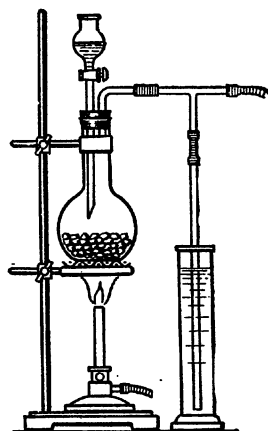


Рис. 172. Цилиндр для поглощения избытка хлора.

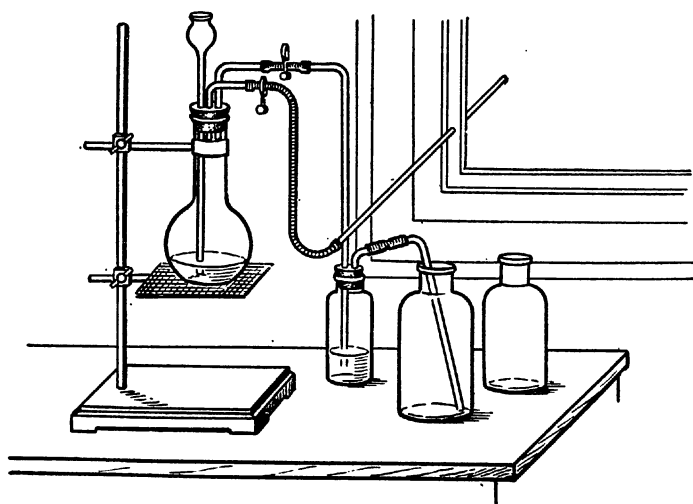


Рис. 173. Выпускание избытка хлора за окно.



Рис. 174. Банка с углем для поглощения избытка хлора.

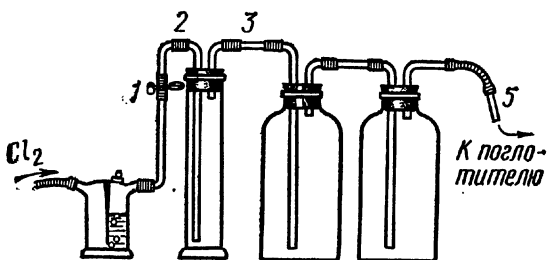


Рис. 175. Способ соединения сосудов для наполнения хлором.

тительной склянке с углем. Все пробки приборов и склянок при наполнении сосудов хлором в отсутствие тяги должны хорошо держать. Приборы следует проверять на герметичность.

2) Изготовление газометра и наполнение его хлором (Д. М. Кирюшкин). Газометр для собирания и хранения хлора (рис. 176) можно изготовить из двух склянок одинакового объема (на 2,5—3 л) с узкими горлышками, достаточными для резиновых пробок с двумя отверстиями. Внутри склянок через пробки проходят доходящие до дна стеклянные трубки, соединенные резиновой трубкой достаточной длины. В пробку склянки 1 вставлена шариковая поглотительная трубка с активированным углем и двумя (сверху и снизу) слоями ваты, а в пробку склянки 2 — газоотводная трубка с краном (при отсутствии крана можно поставить зажим). Для зарядки газометра в склянку 2 наливают насыщенный раствор поваренной соли, ставят ее выше склянки 1, присоединяют газоотводную трубку к прибору для получения хлора, из которого воздух вытеснен первыми порциями газа при начале реакции, затем открывают кран и пускают из прибора ток хлора. Давлением газа раствор из склянки

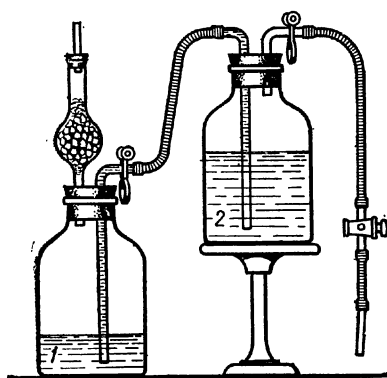


Рис. 176. Газометр для собирания и хранения хлора.

2 вытесняется в склянку 1, заполняя при этом соединительные трубки, а хлор заполняет склянку 2. Когда жидкость в склянке 2 опустится почти до конца стеклянной трубки, разъединяют склянку 2 и прибор для получения хлора и закрывают кран. Чтобы наполнить хлором из газометра какой-нибудь сосуд (колба, пробирка и т. п.), ставят склянку 1 выше склянки 2, опускают газоотводную трубку до дна наполняемого сосуда и открывают кран. Раствор из склянки 1 переливается в склянку 2, вытесняя из нее

хлор. Для хранения хлора в газометре (полностью или только частично наполненном) обе склянки ставят на одном уровне, резиновые трубки перекрывают зажимом, на поглотительную трубку надевают колпачок или закрывают ее резиновой пробкой без отверстия. При длительных перерывах в работе раствор лучше вылить в отдельную склянку, резиновые трубки и пробки промыть (стр. 231). Раствор поваренной соли, насыщенный хлором, можно использовать сколь угодно долго.

СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ХЛОРА И НАПОЛНЕНИЕ ИМ СОСУДОВ

1) Обычный способ получения хлора в лаборатории — взаимодействие соляной кислоты с оксидом марганца MnO_2 . Реакция идет только при нагревании, поэтому в конструкции прибора нет необходимости применять капельную воронку: черный порошок оксида марганца MnO_2 (лучше брать вещество в виде мелких гранул) насыпают в колбу, туда же наливают соляную 37-процентную кислоту и, закрыв колбу пробкой с газоотводной трубкой (рис. 171, а), нагревают содержимое колбы через асбестированную сетку (если колба круглодонная, можно осторожно нагревать ее на «голом» огне, без сетки). Хлор собирают в банку, опустив газоотводную трубку до дна.

Если требуется подливать кислоту в процессе реакции, можно воспользоваться прибором, изображенным на рисунке 171, б. Воронку с длинной трубкой погружают концом в маленькую пробирку внутри колбы. Это создает жидкостный затвор и предотвращает пробуккивание газа через воронку при возрастании давления в колбе (например, при промывке и сушке хлора через систему склянок и т. п.).

Хлор можно или непосредственно собирать в сосуды (рис. 171), или предварительно пропускать через промывную склянку с водой. Вода удерживает выделяющийся хлороводород. Особой необходимости в этом нет, только не нужно нагревать слишком сильно: попутно получается хлорная вода. Для обычных опытов с хлором осушать его не нужно.

При необходимости иметь осушенный хлор (например, для наполнения коллекционной колбы и т. д.) его пропускают через промывную склянку с концентрированной серной кислотой. Если склянку нужно использовать для осушки других газов, кислоту из нее выливают (можно использовать ее потом для мытья посуды и т. п.) и заменяют другой.

Когда требуемое количество сосудов будет заполнено хлором, приливают в колбу холодную воды, чтобы реакция прекратилась. Затем, вынув пробку с воронкой, наполняют колбу водой доверху, чтобы вытеснить из нее хлор. Только после этого разбирают прибор и достают его из вытяжного шкафа для мытья. Если в вытяжном шкафу есть раковина, то и мыть прибор лучше под тягой. Оставший-

ся в колбе оксид марганца MnO_2 промывают, высушивают и затем снова используют.

2) Получение хлора действием серной кислоты на смесь поваренной соли с оксидом марганца MnO_2 . В такой же прибор, как для предыдущего опыта, но желательнее с круглодонной колбой, помещают смесь равных объемов поваренной соли $NaCl$ и оксида марганца MnO_2 . Затем прибавляют серную кислоту, разбавленную двумя объемами воды (дать охладиться). Колбу нагревают на песчаной бане (т. I, стр. 202).

3) Получение хлора взаимодействием соляной кислоты с перманганатом калия. Перманганат калия $KMnO_4$ можно взять технический. В целях экономии сравнительно дорогого реактива следует в качестве окислителя использовать «остатки» после получения кислорода из перманганата калия (стр. 12). Смесь содержит манганат калия (при хранении с доступом воздуха постепенно окисляется до перманганата) и оксид марганца MnO_2 .

Прибор для получения хлора в этом случае должен иметь капельную воронку с краном (т. I, стр. 122), через которую небольшими порциями приливают к сухому окислителю концентрированную соляную кислоту. Реакция вначале протекает очень энергично без нагревания. Когда при обычной температуре выделение хлора прекратится, реакцию нужно подогреть, приливая по мере надобности новые порции соляной кислоты. Затем хлор промывают и осушают (стр. 235)¹.

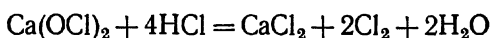
Для предотвращения пробуккивания хлора через жидкость в воронке следует устроить жидкостный затвор, как указано выше (рис. 171, б). Для этого к воронке на резиновой перемычке присоединяют нужной длины стеклянную трубку, конец которой входит в пробирочку внутри колбы. В этом случае при открывании крана кислота выливается не непосредственно из воронки, а только через пробирку, и вследствие большого сопротивления столба жидкости пробуккивание газа через воронку исключено. За неимением капельной воронки с краном можно использовать обычную воронку, присоединенную к длинной стеклянной трубке на каучуке с зажимом (т. I, стр. 256)².

4) Получение хлора действием соляной кислоты на дихромат калия. Для получения хлора этим способом применяют прибор, который изображен на рисунке 171. Дихромат калия в кристаллах насыпают в колбу слоем в несколько сантиметров. Соляную кислоту плотностью 1,19 (не слабее) приливают в таком количестве, чтобы соль была ею покрыта. Реакция идет при нагревании (осторожно, на небольшом пламени, через сетку).

¹ При этом способе получения промывание хлора или пропускание его через трубку со слоем ваты очень желательно, так как ток газа может увлечь мелкую пыль перманганата калия.

² На стенках колбы при этом способе получения хлора обычно образуется трудно отмываемый бурый налет оксида марганца, который можно удалить водным раствором щавелевой кислоты.

5) Получение хлора действием соляной кислоты на хлорную (белильную) известь. Для получения хлора этим способом лучше пользоваться капельной воронкой (стр. 236), так как реакция протекает без нагревания. Реакционный сосуд может быть из толстого стекла (бутылка, банка). Хлорную (белильную) известь¹ насыпают на дно сосуда слоем около 3 см, закрывают пробкой с вставленной в нее капельной воронкой (можно и без жидкостного затвора, так как ток хлора получается ровный) и газоотводной трубкой (т. I, стр. 256) и небольшими порциями приливают соляную кислоту:



Этот способ удобен для получения небольших количеств хлора и может быть применен даже без собирания газа в другой сосуд: в литровую банку насыпают около столовой ложки хлорной извести, приливают 10—15 мл соляной кислоты и через некоторое время закрывают банку пробкой. При указанной дозировке веществ хлор практически не выходит из банки, но вытесняет из нее большую часть воздуха. Цвет хлора на белом фоне достаточно хорошо виден. С полученным таким способом хлором, содержащим примесь воздуха, можно показать непосредственно в реакционном сосуде некоторые опыты: горение водорода в хлоре, обесцвечивание ткани, воспламенение фосфора и др. (см. ниже).

Хлорная известь для опыта должна быть сухая или слегка влажная. Расплывшаяся в кашу известь для получения хлора непригодна. Из порошкообразной хлорной извести можно приготовить прочные гранулы, смешивая ее с гипсом: 4 мас. ч. хлорной извести смешивают с 1 мас. ч. жженого гипса и затем их смачивают водой. Полученную густую массу продавливают деревянной палочкой через стеклянную трубку (пробирку с отрезанным дном), разрезают на куски и сушат на воздухе. Такие гранулы могут быть использованы для получения хлора действием соляной кислоты в любом приборе, в том числе в приборах прерывного действия (т. I, стр. 259) и даже в аппарате Киппа.

6) Получение хлора взаимодействием соляной кислоты с бертолетовой солью. Этот способ пригоден только для получения небольших объемов хлора в открытых пробирках для ограниченного числа опытов (стр. 247). При взаимодействии соляной кислоты с бертолетовой солью, кроме основной реакции:



¹ Хлорная (белильная) известь — смесь нескольких веществ, содержащих хлор в степени окисления +1. Основную часть ее составляет соль состава CaOCl_2 ($\text{Ca} \begin{array}{l} \text{OCl} \\ \text{Cl} \end{array}$ — кальциевая соль хлорноватистой и соляной кислот), а также гипохлорит кальция $\text{Ca}(\text{OCl})_2$, но в меньшем количестве.

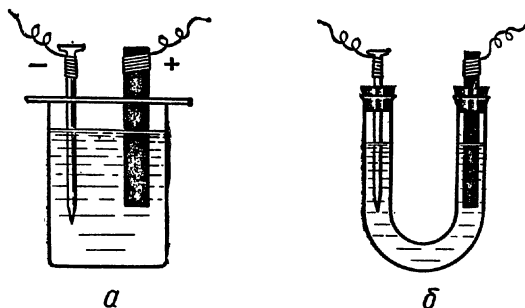
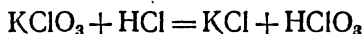
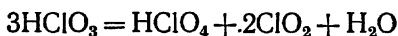


Рис. 177. Электролиз водного раствора поваренной соли.

протекает вторая реакция:



Хлорноватая кислота разлагается с образованием оксида хлора ClO_2 :



Выделяющийся оксид — тяжелый желтый газ с характерным запахом, очень неустойчивый. Примесь оксида к хлору невелика, но он в значительной степени как бы усиливает окраску хлора (даже в пробирке издали виден на белом фоне интенсивно желтый газ), в некоторой степени маскируя его подлинный цвет и запах. При нагревании и при соприкосновении с горючими веществами оксид хлора разлагается со взрывом, поэтому получать сколько-нибудь значительное количество хлора этим способом в закрытых сосудах и особенно при нагревании опасно. Для некоторых опытов обычно насыпают в пробирку чистую бертолетову соль слоем 1 см и капельной пипеткой приливают концентрированную соляную кислоту так, чтобы не было избытка жидкости в пробирке (при переворачивании пробирки жидкость не выливается, а образовавшаяся каша по стенкам не размазывается) и в то же время пробирка в достаточной мере наполнилась бы газом, хорошо видным издали. Для демонстрации газа пробирку закрывают пальцем или вставляют корковую пробку.

7) Получение хлора электролизом раствора поваренной соли.

Цель опытов — показать принципы заводского производства хлора. а) Простейший опыт, который может предшествовать демонстрации более сложных приборов и которым в крайнем случае можно ограничиться, состоит в том, что через раствор поваренной соли, налитый в стакан или банку, пропускают электрический ток между двумя угольными электродами или угольным анодом и железным катодом. Electrodes следует укрепить в пробке или в куске картона (рис. 177, а). Источник постоянного тока должен иметь напря-

жение не менее 4 в. Можно воспользоваться выпрямленным током от осветительной сети (т. I, стр. 104) или батареями, как при опытах с разложением воды электрическим током. Раствор поваренной соли берут почти насыщенный (около 30%).

Влить в стакан раствор поваренной соли, прибавить красный раствор лакмуса, опустить в стакан электроды и включить ток. Через некоторое время замечается посинение лакмуса у катода (образование NaOH) и обесцвечивание у анода. Выключить ток, отделить провода, вынуть электроды — они имеют явственный запах хлора.

Если есть возможность получить ток большего напряжения, то вместо стакана лучше взять U-образную трубку (рис. 177, б). Электроды укрепляют в пробки с боковым прорезом для выхода газов. Над уровнем раствора оставляется свободное пространство. Тогда при достаточно сильном токе хлора скапливается столько, что его можно обнаружить при помощи реакции с сурьмой (стр. 248). Пробку приоткрывают и в трубку насыпают порошок сурьмы.

Не следует совсем вынимать электрод, а только приподнять пробку, чтобы входящий воздух не образовал смеси с хлором.

Если опыт показывают после изучения галогенов, можно обнаружить хлор действием на бумажку, смоченную раствором иодида калия с крахмалом. При достаточно широкой U-образной трубке на белом фоне можно заметить и цвет хлора.

б) Для получения хлора электролизом раствора поваренной соли можно воспользоваться прибором для разложения воды, изображенным на рисунке 105 (стр. 102). Следует только один из железных электродов заменить угольным. Прибор наполняют насыщенным раствором поваренной соли, в котором хлор мало-растворим. Источники тока применяют такие же, как и при разложении воды, и вся постановка опыта та же самая, за исключением испытания собранного хлора.

в) На рисунке 178 изображен прибор, который может служить примером модели заводской установки для получения хлора.

Электролитическая ванна 1 — верхняя часть большой банки диаметром около 12 см (т. I, стр. 102). В горло ее вставлена пробка, в которой укреплены два электрода. Катод 2 — цилиндр, свернутый из листа железа, жести (консервная банка) или меди. К нему припаяна или прикреплена толстая проволока 5, вставленная в пробку. Высота цилиндра около 5 см. Анод 3 — уголь от дуговой лампы или от гальванического элемента

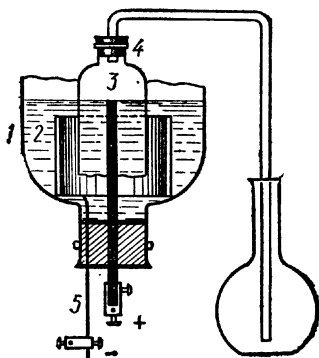


Рис. 178. Электролитическое получение хлора:

1 — электролитическая ванна; 2 — катод; 3 — анод; 4 — ко-
локол; 5 — проволока.

толщиной 5—7 мм. В разрезанную вдоль пробку можно вставить и плоский уголь. После того как вставлены электроды, пробку изнутри (или снаружи) заливают менделеевской замазкой или парафином (т. I, стр. 290). К электродам следует привинтить зажимы для присоединения электрических проводов. За неимением зажимов зачищенные концы проводов плотно прикручивают к электродам проволокой, концы которой скручивают плоскогубцами. Над анодом находится колокол 4 из склянки с отрезанным дном. В горло колокола вставляют на пробке (лучше каучуковой) изогнутую, как на рисунке 178, газоотводную трубку для собирания получаемого хлора в колбочке на 250—500 мл. Ванну 1 устанавливают в кольцо штатива. Колокол 4 укрепляют в зажиме штатива.

Ванну 1 на уроке наполняют насыщенным раствором поваренной соли почти до краев. До урока следует заготовить нужное количество раствора. Перед уроком прибор должен быть разобран, вымыт и высушен. Для прибора указанных размеров требуется источник тока с напряжением не менее 6 в (т. I, стр. 105). Перед началом опыта показать учащимся отдельные части прибора, установить прибор на штативе и включить ток. Через 10—15 мин в колбочке можно заметить присутствие хлора на белом фоне экрана. Рядом с колбочкой полезно поставить пустую колбочку для сравнения.

Хлор можно обнаружить по запаху, по обесцвечиванию влажной лакмусовой бумажки или по посинению иодокрахмальной бумажки (стр. 37). Обратит внимание учащихся на выделение пузырьков водорода у катода. Взяв пипеткой раствор из пространства между

стенками ванны 1 и катодом 2, перелить его в бокал или стакан и обнаружить при помощи лакмуса щелочь.

Для получения больших количеств хлора данный прибор непригоден.

г) Несколько ближе к заводской установке прибор, изображенный на рисунке 179 (П. К. Григориади). Прибор состоит из ванны 1 — жестяной коробки, которая одновременно является и катодом. К ее краю присоединяют на зажиме, припаивают (т. I, стр. 283) или приклепывают провод, соединяющий прибор с катодом источника тока. С противоположной стороны в крае жестянки делают выемку и припаивают жестяной носик (или делают его из воска или пластилина). По носику жидкость должна перетекать в стакан 5. В стакане лакмусом или фенолфталеином обнаруживают щелочь, образующуюся при электролизе раствора поваренной соли.

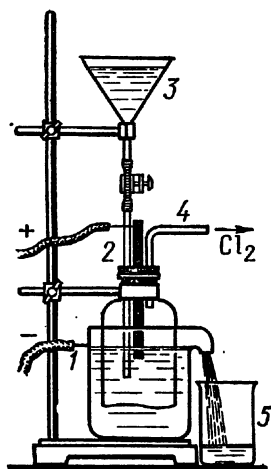


Рис. 179. Электролитическое получение хлора:

1 — ванна (катод); 2 — угольный стержень (анод); 3 — воронка; 4 — газоотводная трубка; 5 — стакан.

В ванну 1 опускают колокол из банки с отрезанным дном (т. I, стр. 214). В горло колокола вставлена пробка, каучуковая или корковая, залитая парафином (т. I, стр. 152). В пробке укреплен анод 2 — угольный стержень от дуговой лампы или от гальванического элемента (диаметром 5—7 мм). В середину пробки вставлена трубка, присоединенная к воронке 3, из которой в ванну добавляется раствор поваренной соли. Раствор вытесняет образующийся у катода раствор едкого натра в стакан 5.

На резиновой трубке, соединяющей воронку с трубкой, — винтовой зажим (за неимением его можно воспользоваться и пружинным). Удобнее заменить воронку, изображенную на рисунке, воронкой с краном. В пробку вставлена и газоотводная трубка 4. К этой трубке можно присоединить трубку, опущенную в колбочку, в которой собирается образующийся хлор. Воронку и ванну заполняют насыщенным раствором поваренной соли. Раствор должен начать вытекать из носика ванны 1 в подставленный стакан, который до урока заменяется сухим. Для опыта нужен источник постоянного тока с напряжением не меньше 6 в.

Прибор выставляют на лекционный стол до урока в собранном виде, наполненный раствором поваренной соли. Трубка, присоединенная к газоотводной трубке, должна быть опущена в колбочку на 250—500 мл, за которой помещают белый фон. Рядом ставят пустую колбочку для сравнения. Включают ток. Объясняют учащимся назначение отдельных частей прибора (желательно нарисовать схему прибора на доске).

Выделение пузырьков водорода на катоде учащиеся видеть не могут. Если раньше показывался предварительный опыт (стр. 238), то следует на него сослаться. Выделяющийся хлор можно заметить через 10—15 мин. Если хлор плохо виден, его можно обнаружить по обесцвечиванию влажной лакмусовой бумажки или по посинению иодокрахмальной бумажки (стр. 240). Осторожно поворачивая винт зажима у воронки, устанавливают медленный непрерывный приток раствора соли в ванну, чтобы раствор из ванны перетекал в стакан 5 по каплям. Обнаружить едкий натр в стакане 5 можно при помощи лакмуса или фенолфталеина.

Следует сообщить учащимся, что на производстве приток раствора поваренной соли регулируют таким образом, чтобы из ванны вытекал возможно чистый раствор едкого натра. Кроме того, отметить, что если сделать ванну закрытой, то можно использовать и выделяющийся при реакции водород. Конструкция модели с улавливанием водорода была бы слишком сложна и получить в таком приборе достаточное количество чистого водорода, который загорался бы без взрыва, спокойно, очень трудно.

Данный прибор, так же как и предыдущий, не может служить для получения больших количеств хлора.

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ХЛОРА

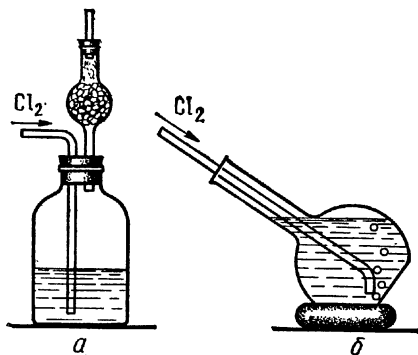


Рис. 180. Получение хлорной воды.

1) **Цвет хлора.** Банку, наполненную хлором, ставят перед белым экраном. При вечернем освещении освещают ее синим светом (стр. 232). Для наблюдения цвета хлора в минимальных количествах получают его в пробирке, пользуясь бертолетовой солью (стр. 237), и показывают на белом фоне.

2) **Запах хлора.** В банку с хлором опускают на 2—3 секунды рыхлый комок гигроскопической ваты, удерживая его щипцами. Быстро вынимают вату, закрывают банку, раздают кусочки ваты на столы учащимся и предлагают понюхать (осторожно). Можно предложить учащимся понюхать налитую в пробирки хлорную воду, кашицу хлорной извести, но нельзя нюхать хлор непосредственно из банки.

3) **Растворение хлора в воде, получение хлорной воды.** Колбу, наполненную хлором, опускают горлом в чашку с холодной водой и несколько раз погружают и поднимают, не вынимая из воды. Когда в горло колбы войдет некоторое количество воды, плотно закрывают ее под водой резиновой пробкой, вынимают из чашки, переворачивают и несколько раз энергично встряхивают. Затем вновь погружают горло колбы в воду и вынимают пробку: внутрь колбы входит вода. При необходимости операцию растворения повторяют¹.

Для получения хлорной воды в банку (рис. 180, а) наливают холодную, лучше дистиллированную, воду и через трубку, погруженную до дна банки, пропускают медленный ток хлора, предварительно пропущенного через промывалку с водой (стр. 235). Нерастворившийся хлор поглощается углем в шариковой трубке, отводится за окно (стр. 233), в раствор щелочи и т. п.

Растворение происходит лучше в колбе, помещенной наклонно (рис. 180, б) в поролоновой, деревянной и т. п. подставке, с введенной изогнутой на конце стеклянной трубкой. При отсутствии тяги можно снабдить колбу поглотительным приспособлением, как на рисунке 180, а. Этим способом получают растворы некоторых других газов, например оксида серы SO_2 (стр. 296).

¹ Растворимость хлора в воде при 20 °C 1:2,25 по объему, однако полного заполнения колбы водой в этих условиях не происходит, так как по мере насыщения растворение замедляется, а к хлору примешивается воздух.

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ХЛОРА

Опыты с хлором проводят в сосудах, заранее наполненных хлором, в сосудах, тут же наполняемых хлором (см., например, получение хлора из хлорной извести, стр. 237), в токе хлора, а также с использованием хлорной воды. Опыты могут быть проведены при использовании тяги или с неизбежными ограничениями без нее.

Сосуды после демонстрации в них опытов наполняют водой в вытяжном шкафу или на открытом воздухе для удаления оставшегося хлора (пробирки опускают в раствор щелочи или тиосульфата натрия¹) и только после этого моют (см. также опыты с бромом, стр. 274).

Опыты под тягой (демонстрационные)

1) **Горение водорода в хлоре.** а) В высокий стакан или цилиндр насыпают около одной столовой ложки хлорной извести или гранул (стр. 237) и вливают 20 мл 37-процентной соляной кислоты. Когда сосуд заметно наполнится хлором, закрывают его стеклянной или проваренной в парафине картонной пластинкой. У оттянутого конца (лучше загнутого вверх) газоотводной трубки, соединенной с прибором для получения водорода, зажигают водород (*правила*, стр. 59), устанавливая небольшое пламя и вносят его в сосуд с хлором. Водород продолжает гореть, окраска пламени становится светло-синей, над отверстием сосуда появляется туман из капелек соляной кислоты.

б) Зажигают водород у конца газоотводной трубки и небольшое пламя вносят в цилиндр (небольшую банку), наполненный хлором (см. опыт горения водорода в кислороде, стр. 70). Опыт продолжают до тех пор, пока цвет хлора в цилиндре исчезнет (лучше передвигать трубку с пламенем вверх и вниз). По окончании опыта вливают в цилиндр до $\frac{1}{4}$ объема воды, встряхивают и приливают раствор лакмуса (лакмоида). Индикатор краснеет. Если в цилиндре осталось значительное количество хлора, окраска индикатора обесцвечивается.

в) Изготавливают горелку для сжигания водорода в хлоре из тройника, тонкой стеклянной трубки и резиновой пробки. Пробку сверлят до половины сверлом по диаметру тройника, пинцетом вынимают вырезанный цилиндр. С другого конца пробку сверлят тонким сверлом или прожигают отверстие (т. I, стр. 139), по диаметру тонкой (но достаточно толстостенной) трубки. Вставляют тройник и трубку в отверстия, как показано на рисунке 181, и укрепляют пробку в штативе. По боковому отростку тройника пускают из аппарата водород, поджигают его (*испытание!*), уста-

¹ Тиосульфат натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ активно связывает хлор, образуя тетрагидрат натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$. Марля, пропитанная раствором тиосульфата натрия, предохраняет органы дыхания от хлора (влажный противогаз).

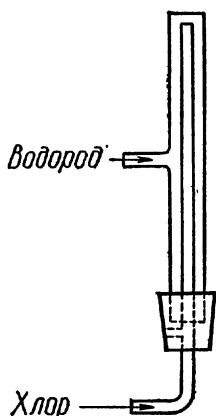


Рис. 181. Горелка для сжигания водорода в хлоре.

навливают средней величины пламя и затем по тонкой трубке подают хлор, лучше из газометра (стр. 234), тогда ток газа получается ровный, пламя не срывается и хлор не поступает в воздух. Отмечают характер пламени. Держат над пламенем опрокинутый стакан, смоченный внутри концентрированным раствором аммиака. Образуется густой белый дым. Подносят к пламени опрокинутый стакан, смоченный внутри водой, затем перевортывают его и наполняют на $\frac{1}{4}$ объема водой. Отливают половину жидкости в другой стакан и испытывают лакмусом и раствором нитрата серебра.

Если для изготовления горелки не найдется подходящего тройника, можно вставить в пробку стеклянную трубку такого же диаметра, а в пробке сделать боковое несквозное отверстие, достигающее только до тонкой трубки (рис. 181, отверстие показано горизонтальным пунктиром).

В него вставляют небольшую стеклянную трубку для подачи водорода. Такая горелка будет нужна для опытов по синтезу соляной кислоты.

г) Широкую стеклянную тонкостенную трубку длиной около 20 см (например, отрезанную часть перегоревшей лампы дневного света) надевают на подходящего размера пробку и через вставленную в нее газоподводящую трубку подают сверху достаточно сильный ток водорода из аппарата Киппа и т. п. (*испытать водород!*). Через некоторое время поджигают водород внизу и вносят до середины широкой трубки оттянутую стеклянную трубку, по которой подается слабый ток газа из газометра (стр. 234). На конце трубки появляется синее пламя. Опыт иногда трактуют как горение хлора в водороде, так же как и горение кислорода в водороде (рис. 182). Следует при объяснении опыта иметь в виду те же замечания, которые высказаны на странице 70.

Если газометра для хлора нет, подачу небольших количеств хлора можно осуществить из склянки на 250—300 мл, наполненной хлором, в которую через воронку вливают раствор поваренной соли, вытесняющий газ (рис. 183).

2) **Взрыв смеси хлора с водородом.** а) *Взрыв при поджигании смеси.* Для опыта нужны два небольших совершенно одинаковых цилиндра для собирания газов высотой 12—15 см и диаметром около 4 см. Один из них заранее наполняют хлором. Оба цилиндра должны быть закрыты смазанными вазелиновой мазью (т. 1, стр. 143) притертыми стеклянными пластинками. Перед опытом наполняют водородом по способу вытеснения воздуха из водородного прибора второй цилиндр, закрывают его стеклянной пластинкой и ставят вверх дном на стекло поверх цилиндра с хлором. Вынимают стекла и, соединив цилиндры краями, несколько раз перевортывают их,

чтобы перемешать газы. Затем разъединяют цилиндры и подносят поочередно, держа отверстия вниз, к пламени горелки. Происходит не особенно громкий взрыв. После этого наливают в один из цилиндров раствор лакмуса, который окрашивается в красный цвет.

При указанных размерах цилиндров опыт безопасен, но его ни в коем случае не следует производить под прямыми лучами солнца и при свете горячей рядом яркой лампы. Если взрыв произойдет под влиянием света, соединенные отверстиями цилиндры может разорвать.

Цилиндры должны быть совершенно чистые. Опыт с загрязненными цилиндрами может привести к *несчастью!* В практике известны случаи, когда при смешивании хлора с водородом в грязных цилиндрах происходили сильные взрывы с серьезными ранениями людей. Особенно опасны остатки органических веществ.

С меньшим эффектом, но вполне убедительно выглядит опыт в пробирках¹. В чисто вымытую пробирку насыпают слоем 1—1,5 см мелкие кристаллы перманганата калия² и из капельной пипетки приливают столько концентрированной соляной кислоты, чтобы при переворачивании пробирки масса из нее не выливалась. Пробирка наполняется хлором (цвет его в этом случае почти не виден). Закрыв отверстие пробирки пальцем, наполняют вторую чистую пробирку водородом, соединяют пробирки отверстиями (держат вертикально, пробирка с водородом сверху), переворачивают (пробирка с водородом внизу) и держат некоторое время, пока газы перемешаются. Пробирку с реакционной смесью опускают в банку со щелочью или временно закрывают пробкой, а пробирку со смесью газов подносят под углом 45° отверстием к пламени (держат пробирку у дна). Происходит взрыв. Сразу же закрывают пробирку пальцем, показывают, что газ в пробирке бесцветный и прозрачный. Приливают до половины объема пробирки воду, наблюдают образование тумана. Встряхивают жидкость в пробирке, туман исчезает. Разливают содержимое в две пробирки и испытывают лакмусом и раствором нитрата серебра.

Выборочно опыт может быть предложен учащимся как лабораторный.

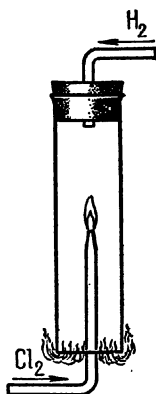


Рис. 182. Горение на границе соприкосновения газов.

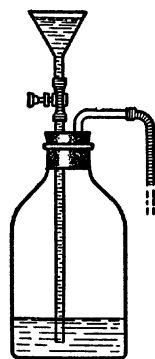


Рис. 183. Вытеснение хлора из склянки.

¹ Этот опыт можно производить без тяги.

² Опыт выглядит лучше, если вместо KMnO_4 взять KClO_3 , соблюдая предосторожности (стр. 237).

б) *Взрыв под действием света.* Взрыв смеси водорода с хлором легко происходит при вспышке магния. Магний следует взять в порошок. Вспышку можно произвести всыпанием порошка магния в пламя газовой горелки, положив ее боком на керамическую подставку. За неимением газа можно вызвать вспышку всыпанием порошка магния в фарфоровую чашку с горящим спиртом (*но не в пламя спиртовки!*). Взрыв смеси от горящей рядом с цилиндром ленты магния не всегда удается.

Сильную и яркую мгновенную вспышку получают при поджигании смеси порошка магния с бертолетовой солью. Около чайной ложки порошка магния смешивают с половинным по объему количеством бертолетовой соли¹. Смесь высыпают горкой на керамическую пластинку или асбестированную сетку и вставляют в нее вертикально ленту магния длиной около 10 см, с загнутыми вверх и внизу концами под прямым углом. Смесь ставят на расстоянии 15—20 см от цилиндра, зажигают сверху ленту магния длинной лучинкой.

Смесь хлора и водорода готовят так же, как в предыдущем опыте. Цилиндры тех же размеров, не узкие и по возможности одинаковые, совершенно чистые. Наполнить цилиндр хлором лучше перед уроком и закрыть его стеклянной пластинкой. Хлор и водород должны быть по возможности без примеси воздуха. Поэтому перед наполнением цилиндров следует хорошо вытеснить воздух из приборов для получения газов. Сушить газы не следует.

Взрыв производят только в одном из цилиндров, второй же отставляют в сторону. Цилиндр, в котором происходит взрыв, закрывают не стеклом, а кусочком гладкого плотного, но нетолстого картона. Картон должен быть совершенно плоский, немятый и негнутый, чтобы он плотно прилегал к краям цилиндра. Чтобы было ясно, что взрыв происходит под влиянием только света, а не нагревания, между цилиндром со смесью и источником вспышки полезно поставить обыкновенное оконное стекло, укрепленное в зажиме штатива.

Все операции по приготовлению веществ для вспышки (порошок магния или смесь магния с бертолетовой солью с лентой магния), а также зажигание горелки или спирта в чашке должны быть выполнены до приготовления смеси.

Перед демонстрацией опыта цилиндр с хлором, закрытый стеклянной пластинкой, выставляют на стол, второй цилиндр наполняют водородом по способу вытеснения воздуха, закрывают стеклянной пластинкой и ставят на цилиндр с хлором. Вынув стекла, соединяют цилиндры отверстиями (*предосторожности*, стр. 245) и перевертывают их несколько раз, чтобы газы хорошо перемешались. После этого ставят цилиндры на стол на нужном расстоянии от источника вспышки, снимают верхний цилиндр и отставляют

¹ Можно взять также KMnO_4 , но при вспышке в этом случае в воздухе появляется значительное количество черной пыли MnO_2 .

его открытым в сторону, нижний немедленно закрывают куском картона и сразу же производят вспышку. Происходит взрыв. Картонная крышка летит к потолку. Взрыв получается более громкий, чем в предыдущем опыте с поджиганием газовой смеси (взрыв в замкнутом пространстве). В цилиндр приливают раствор лакмуса, который краснеет.

Все необходимое для опыта должно быть расположено таким образом, чтобы все действия можно было произвести возможно быстрее и водород не успел улетучиться из цилиндра. При соблюдении вышеуказанных предосторожностей и после небольшой практики опыт удастся хорошо. Опыт безопасен, если цилиндры совершенно чистые, не больших размеров, чем указано, и если перемешивание газов производится не на прямом солнечном свете. Рассеянный свет опыту не вредит, но если в классе есть шторы, то их лучше опустить. При приготовлении смеси газов и демонстрации опыта обязательно надеть предохранительные очки, лучше темные или дымчатые (т. I, стр. 164). При вспышке магния образуется большое облако белого дыма (безвредное), поэтому опыт лучше показать в самом конце урока.

Взрыв смеси водорода с хлором можно произвести при освещении электрической (вольтовой) дугой.

Для опыта готовят две хорошо вымытые пробирки. В одну из них насыпают слоем 1 см чистую бертолетову соль и капельной пипеткой приливают столько соляной кислоты, чтобы при перевертывании пробирки смесь не выливалась (стр. 245). Пробирку наполняют хлором, «подкрашенным» примесью оксида хлора¹ (стр. 237). Закрывают пробирку неплотно чистой корковой пробкой, тотчас же заполняют вторую пробирку водородом, вынимают пробку из пробирки с хлором, соединяют обе пробирки отверстиями и перемешивают газы. Пробирку с оставшейся реакционной смесью опускают в раствор щелочи, а в пробирку с газовой смесью вставляют неплотно чистую корковую пробку (пробку не нажимать и не поворачивать) и помещают пробирку в держалку. Надевают синие предохранительные очки (или прикрывают глаза синим стеклом) от света дуги, зажигают дугу² и приближают к ней пробирку (в держалке). Происходит взрыв, пробка вылетает. Пробирка на ощупь остается холодной, следовательно, взрыв произошел от действия света, а не от нагревания. Испытывают образовавшийся хлороводород (стр. 245).

3) Сжигание меди. Медь может гореть в хлоре только в виде тонкой проволоки или свежевосстановленного порошка (стр. 80). Можно использовать тонкие жилки от электропроводов, хорошо

¹ Примесь оксида хлора ClO при взрыве играет, очевидно, инициирующую роль. С хлором, полученным при использовании в качестве окислителя перманганата калия, опыт в пробирке не удастся.

² Об устройстве простого приспособления для получения электрической дуги нужно получить консультацию у учителя физики. Реостаты для нее включают в сеть по схеме, изображенной на рисунке 98 (т. I, стр. 98).

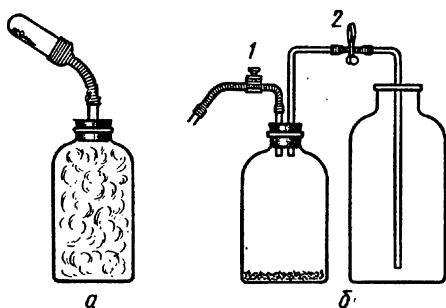


Рис. 184. Сжигание сурьмы в хлоре.

очищенных наждачной бумагой. Тонкие проволоки складывают пучком в виде метелки, привязывают к толстой железной проволоке, слегка нагревают в пламени лабораторной спиртовки и опускают в банку с хлором.

Горение меди в хлоре происходит не очень интенсивно, проволока только раскаляется. На дно банки капает расплавленный хлорид меди CuCl_2 . Во избежание растрескивания

банки в нее можно насыпать песок, однако это мешает последующей демонстрации растворения продукта реакции в воде; лучше положить заранее на дно банки тонкую керамическую пластинку, крышку от тигля и т. п. По окончании опыта в банку наливают воду и показывают учащимся голубой раствор хлорида меди.

Если для опыта используют порошок металлической меди, его помещают в ложечку для сжигания, слегка нагревают, опускают в банку с хлором и, когда медь начнет раскаливаться, встряхивают ложечку, чтобы высыпать из нее порошок. Мелкие частички меди раскаляются в хлоре и образуют хлорид меди CuCl_2 , который растворяют в воде.

4) Сжигание сурьмы. Для опыта наиболее пригоден свежерастертый порошок сурьмы (кусочек сурьмы раздробить и растереть в ступке). Долго хранившийся, почерневший порошок сурьмы загорается только после предварительного нагревания. При хорошей тяге порошок сурьмы (если нужно, подогретый) всыпают небольшими порциями в открытую банку с хлором. Раскаленные частицы падают вниз в виде «огненного дождя». Образующиеся в виде белого дыма вещества SbCl_3 и SbCl_5 ядовиты. По окончании демонстрации банку немедленно закрывают, не вынося из вытяжного шкафа.

Если тяга плохая, сурьму сжигают в закрытой банке (рис. 184, а), у которой можно устроить приспособление для отвода тяжелых ядовитых продуктов за окно (стр. 233) или в другой, больший по объему сосуд (рис. 184, б). В том и другом случае порошок насыпают в небольшую пробирочку (запаивную стеклянную трубку), соединенную с банкой коротким каучуком.

5) Сжигание железа. Для опыта берут железный порошок (железо, восстановленное водородом; с железными опилками опыт удается хуже), помещают его в ложечку для сжигания, нагревают довольно сильно, опускают в банку с хлором и встряхивают. Можно также всыпать нагретый порошок сверху, с железной пластинки. При достаточной концентрации хлора (лучше совсем без примеси

воздуха) получается целый фейерверк искр, и склянка наполняется бурым дымом FeCl_3 .

За неимением железного порошка или опилок можно воспользоваться тонкой проволокой. Проволоку свертывают спиралью, нагревают на конце докрасна и вносят в хлор.

6) Сжигание натрия. Приготавливают чашечку из мела, извести или асбеста, как при сжигании натрия в кислороде (стр. 23), и склянку на 2 л с хлором. Опыт проводят в тех же условиях, что и при сжигании натрия в кислороде, с соблюдением всех предосторожностей (стр. 89) и обязательно при хорошей тяге. Требуется довольно сильное предварительное накаливание натрия. Лучше всего опускать натрий в склянку после того, как он уже начнет тлеть на воздухе. При сгорании натрия (сильная вспышка желтого пламени) в банке образуется белый дым, состоящий из твердого хлорида натрия.

Для сгорания натрия можно также воспользоваться пробиркой (рис. 185). В пробирку помещают кусочек натрия величиной с половину горошины. Опускают в пробирку трубку, соединенную с прибором для получения хлора¹, пускают ток хлора и нагревают натрий, пока он не загорится. Спиртовки для этого бывает недостаточно². Если нет более сильной горелки, можно вдвигать в пламя спиртовки воздух через паяльную трубку. Натрий сгорает в пробирке с сильной вспышкой. Из отверстия пробирки вылетает белый дым, состоящий из хлорида натрия. Пробирка во время опыта часто растрескивается (подставить чашку с песком).

О сжигании натрия без тяги рассказывается на странице 253.

7) Сжигание фосфора. Для опытов следует пользоваться только сухим красным фосфором (стр. 339). Он, так же как и белый, загорается в хлоре без подогревания. Немного красного фосфора помещают в ложечку для сжигания, опускают в банку с хлором. Наблюдают горение и образование белого «дыма» (распыленные PCl_3 и PCl_5). Ложечку с горящим фосфором вынимают и погружают в раствор перманганата калия KMnO_4 . Можно высыпать фосфор в банку сверху, с железной пластинки; в этом случае возникают неяркие вспышки горящих крупинок фосфора. Образующийся хлорид фосфора ядовит.

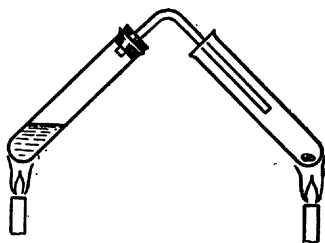


Рис. 185. Горение натрия в хлоре.

¹ На рисунке 185 изображен простой прибор, в котором можно использовать в качестве окислителя только MnO_2 или $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. Можно применить и другие приборы (стр. 255) или пускать несильно струю хлора из газометра (стр. 234).

² При недостаточном нагревании расплавленный натрий постепенно покрывается слоем хлорида натрия, который препятствует соприкосновению металла с хлором.



Рис. 186.
Горение свечи
в хлоре.

8) Горение свечи в хлоре. Для опыта нужна банка на 1,5—2 л или большой цилиндр с хлором. Зажигают помещенную на железную ложечку стеариновую или парафиновую¹ свечу и вносят в сосуд с хлором. Пламя свечи бледнеет, вытягивается и сильно коптит (рис. 186). Опыт удается хорошо; но требует небольшого навыка, так как вносить свечу в хлор нужно не слишком быстро и не слишком медленно, иначе она легко гаснет.

Можно зажечь свечу в хлоре при помощи красного фосфора. Немного сухого фосфора насыпают на растрепанный фитиль свечи и вносят ее в сосуд с хлором.

9) Сжигание скипидара. Для опыта нужна склянка на 1,5—2 л с хлором, не содержащим примеси воздуха и осушенным серной кислотой. Скипидаром смачивают ленту из фильтровальной бумаги. Лента должна свободно входить в горло склянки и не касаться ее дна. Ленту подвешивают на проволочном крючке, закрепленном в пробке, которая должна быть несколько большего диаметра, чем отверстие склянки. Опыт в таком оформлении можно показывать только при хорошей тяге.

Скипидар для опыта берут свежий, неосмоленный. Пригоден скипидар, применяемый как разбавитель для художественных красок. Осмоленный пожелтевший скипидар нужно перегнать. Скипидар наливают в чашечку и обмакивают в него ленту. Затем смоченную ленту помещают между двумя листами фильтровальной бумаги и снимают с нее избыток скипидара, не прижимая бумагу слишком сильно. Быстро опускают ленту в склянку с хлором, положив пробку, к которой лента подвешена, на края отверстия склянки. Через несколько секунд скипидар вспыхивает, причем пробку иногда сбрасывает со склянки. Из склянки подымается облако копоти.

Свежесть скипидара — очень важное условие успеха опыта. Для большей надежности опыта скипидар подогревают. С осмоленным пожелтевшим скипидаром вспышки не происходит, но бумага сильно обугливается, и у отверстия банки появляется серый дым (сажа и туман из капелек соляной кислоты).

Вместо бумажной ленты можно смочить скипидаром рыхлый комок стеклянной ваты, отжать и, держа щипцами, опустить в банку с хлором.

10) Горение бытового газа в хлоре. К газовому крану присоединяют на длинном каучуке стеклянную трубку с оттянутым концом. Приоткрывают кран, зажигают газ и, установив небольшое пламя, вносят трубку в банку с хлором. Пламя уменьшается, окрашивается в красноватый цвет, происходит интенсивное выделение сажи.

¹ С парафиновой свечой опыт удается несколько хуже.

Если подводки газа в помещении нет, можно воспользоваться малым баллоном со сжиженным пропаном (т. I, стр. 184).

11) Обесцвечивание окрашенной ткани (беление). а) Для опыта лучше воспользоваться светло-синей или голубой тканью¹. От куска ткани следует отрезать полоску таких размеров, чтобы ее легко можно было опустить в цилиндр с хлором высотой 25—30 см. Полоску ткани подвешивают на проволоочный крючок, вставленный в пробку или прикрепленный к стеклянной пластинке менделеевской замазкой. Нижнюю часть полоски ткани слегка смачивают водой. Открывают цилиндр с хлором и опускают в него ткань, затем закрывают цилиндр стеклом или пробкой, к которой ткань подвешена. Смоченная часть ткани быстро белеет. Затем постепенно белеет и остальная часть ткани.

Можно взять ткань и другого цвета, но не всякая ткань одинаково белится, поэтому ее предварительно необходимо испытать. Окрашенные в красный цвет ткани иногда от действия хлора чернеют.

б) В цилиндр с хлором вливают 20—25 мл концентрированной серной кислоты, закрывают и оставляют на некоторое время (для лучшей осушки газа). На широкую полоску ткани наносят водой знак, буквы и т. п. и опускают в хлор. Через некоторое время надпись «проявляется».

12) Обесцвечивание растворов красящих веществ. Приготавливают не очень концентрированные растворы лакмуса, индиго (т. I, стр. 289), фиолетовых чернил в стаканах и приливают к ним хлорную воду (стр. 242), происходит обесцвечивание.

13) Горение аммиака в хлоре. Оттянутую на конце стеклянную трубку, соединенную каучуком с прибором для получения аммиака, опускают в банку с хлором. Аммиак загорается у конца трубки. Ток аммиака не должен быть сильным (стр. 313).

14) Взаимодействие хлора с оксидами металлов. Цель опытов — показать, что хлор может окислять кислород, связанный в соединениях с металлами (см. также опыт взаимодействия хлора с водой).

В тугоплавкую стеклянную трубку помещают желтый оксид свинца и при достаточно сильном нагревании (газовая горелка) пропускают над ним слабый ток хлора, осушенного серной кислотой (воздух из трубки предварительно вытесняют сухим хлором). Через некоторое время оксид свинца превращается в хлорид свинца, который частично возгоняется в трубке. Выделяющийся кислород собирают в пробирку или небольшой цилиндр над концентрированным раствором тиосульфата натрия (для поглощения непрореагировавшего с оксидом свинца хлора, стр. 243). Кроме оксида свинца, можно взять оксид меди. Оксиды кальция, магния и др. также вступают в эту реакцию, но требуют более сильного нагревания.

¹ Хорошо удается опыт с тканью, окрашенной раствором индиго (т. I, стр. 289).

Опыты без тяги

1) В отсутствие тяги можно показать некоторые опыты с хлором даже в больших сосудах (банках), наполнение которых следует производить с поглощением или отводом избытка хлора за окно (стр. 233).

Для опытов можно воспользоваться одной большой или двумя банками с хлором. Для прикрывания приготовить стекло или пробку, которая была бы большего диаметра, чем горло банки. Открывать и закрывать банку следует, сдвигая и надвигая стекло или пробку.

Соблюдая определенную последовательность (чтобы продукты одной реакции не мешали последующему опыту), можно показать нижеследующие опыты. а) Открыв склянку, опустить в нее небольшую полоску голубой бумажной ткани (стр. 251). Как только смоченная водой ткань побелеет, вынуть ткань из склянки и прикрыть склянку пластинкой или пробкой.

б) Зажечь водород у конца изогнутой трубки (стр. 70). Пламя должно быть небольшое. Внести на короткое время пламя в верхнюю часть склянки с хлором, сейчас же вынуть и прикрыть склянку.

в) Внести на ложечке очень небольшое количество красного фосфора (стр. 249), также погружая ложечку лишь на такую глубину, чтобы фосфор горел в хлоре. Сейчас же вынуть ложечку и закрыть склянку. Хлор в нижней половине склянки после этих опытов еще остается прозрачным.

г) Внести в склянку нагретый пучок медной проволоки (стр. 248) и, как только она раскалится, вынуть.

д) Сейчас же, не закрывая склянки, всыпать немного нагретого (стр. 248) железа или сурьмы, лучше также подогретой (стр. 248).

е) После этого иногда еще удается показать горение в хлоре свечи. Можно соединить опыт горения свечи с опытом горения фосфора (стр. 249) и закончить сжиганием меди и сурьмы, которые дают много дыма.

ж) Для натрия (стр. 249) и скипидара (стр. 250), если желательно показать и эти опыты, лучше заготовить вторую склянку.

Для опытов должно быть все очень тщательно подготовлено и расположено удобно под руками, чтобы можно было произвести их без промедления. Во время опытов не следует близко наклоняться к склянке с хлором. После опыта, закрыв склянку, полезно помахнуть куском картона, чтобы разогнать хлор.

2) В нескольких небольших банках с хлором можно показать некоторые опыты, отводя продукты реакции за окно или используя поглотитель. К банке с хлором, закрытой притертой стеклянной пластинкой, заранее подбирают хорошую пробку, в которую вставляют ложечку для сжигания веществ или при-



Рис. 187.
Сжигание меди в хлоре.

крепляют окрашенную ткань и пр. В отверстие пробки вставляют поглотительную или газоотводную трубку, соединенную с каучуком для отвода газов. Для опытов с сурьмой и фосфором в поглотительной трубке, кроме угля, должен быть слой ваты, так как твердые пылевидные и туманообразные продукты углем не задерживаются. Перед опытом, например, сжигания меди пучок медных проволочек (стр. 247) привязывают к ложечке, нагревают и, сдвинув пластинку с горла банки, опускают медные проволочки в хлор и сразу же вставляют пробку с поглотителем или отводной трубкой (рис. 187, см. также стр. 248).

3) На рисунке 188 показан прибор, в котором можно продемонстрировать сжигание в хлоре сурьмы, фосфора, железа (Ф. Д. Смирнов). Наглядность и хорошая видимость обеспечивается длинной (около 40 см) и широкой стеклянной трубкой (можно взять обрезанную лампу дневного света). Наполняют трубку хлором из присоединенной к ней склянки, в которой осуществляется реакция (без нагревания). Порошок сжигаемого вещества (при необходимости подогретый) всыпается из присоединенной на каучуке пробирочки. На нижнюю пробку внутри трубки следует положить кружок асбеста. Поглощение избытка хлора осуществляется засасыванием раствора через трубку (к концу ее присоединена небольшая воронка) и углем с ватой в шариковой трубке. Если реакционная трубка тонкостенная и пробку в нее плотно вставить трудно, можно обернуть край трубки и выступающую часть пробки липкой изоляционной лентой или лейкопластырем. Если в верхнюю пробку вставить капельную пипетку с раствором аммиака, можно вливать его в трубку с хлором по каплям и наблюдать горение (стр. 251).

4) Сжигание натрия можно провести в шариковой трубке, к которой присоединяют вторую трубку с поглотителем. В трубку с натрием из прибора пропускают слабый ток хлора и нагревают натрий до воспламенения (рис. 189).

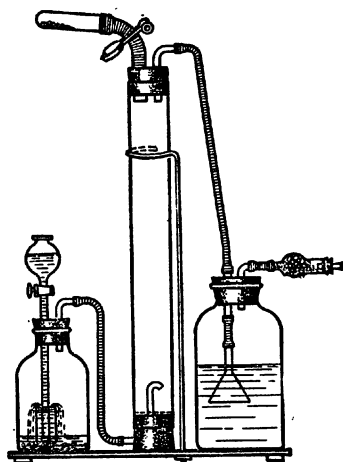


Рис. 188. Прибор для демонстрации сжигания фосфора и сурьмы в хлоре.

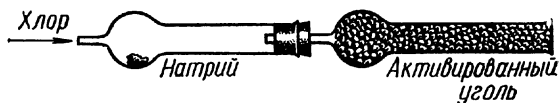


Рис. 189. Трубка с поглотителем для сжигания натрия в хлоре.

За неимением шариковой трубки можно сделать прибор из пробирки и тройника с поглощением хлора раствором щелочи или углем (рис. 190) или тем и другим вместе (рис. 188).

5) В некоторых случаях (например, в лабораторных опытах учащихся) пользуются приборами, в которых получают хлор и в них же производят опыт (рис. 191). Прибор состоит из большой пробирки с резиновой пробкой и вставленным в нее тройником. К боковому отростку тройника присоединяют поглотительную трубку, к верхнему на каучуке — маленькую пробирочку с веществом (фосфор, сурьма, железо). Чтобы пробирочка не перевернулась раньше времени, на каучуковую трубку надевают резиновое колечко (отрезать от резиновой трубки). Поместив сжигаемое вещество в пробирочку, присоединяют ее к прибору, вынимают пробку с тройником, всыпают в пробирку перманганат калия слоем около 1 см, вливают 3—4 мл соляной кислоты и сразу же вставляют пробку. Пробирка быстро наполняется хлором, который в помещение не выходит. Сняв колечко, переворачивают пробирку в вертикальное положение и всыпают сжигаемое вещество в пробирку с хлором (сурьму и железо перед этим соответственно подогревают). Пробирку помещают в зажим штатива.

6) На рисунке 192 показан усложненный прибор, позволяющий последовательно произвести ряд опытов по сжиганию веществ в хлоре. Он представляет собой несколько соединенных друг с другом приборов, по типу показанного на рисунке 191, но получение хлора в нем вынесено отдельно (М. А. Афанасьев). Вместо пробирок можно взять сосуды другой формы, например склянки, которые ставят на стол без крепления в штатив. В первом сосуде получают хлор одним из указанных выше способов. Вещества сжигают в сосудах 2, 3, 4 и 5. До сжигания они помещаются в маленьких пробирочках 6, 7, 8 и изолируются от хлора зажимами. Заканчивается прибор шариковой трубкой, заполненной активированным или обычным древесным углем для поглощения избытка хлора.

Для поглощения вредных дымов, не адсорбируемых углем, в трубку помещают слой ваты. Конец газоотводной трубки погружают неглубоко в раствор щелочи (во

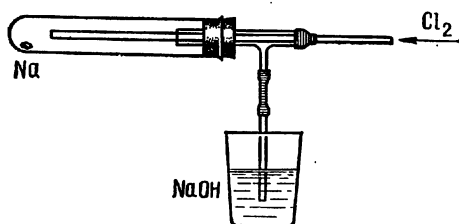


Рис. 190. Прибор из пробирки и тройника для сжигания натрия в хлоре.

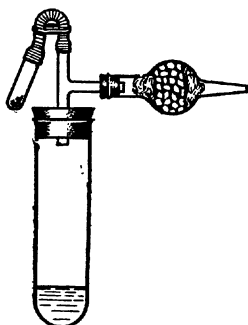


Рис. 191. Лабораторный прибор для опытов с хлором.

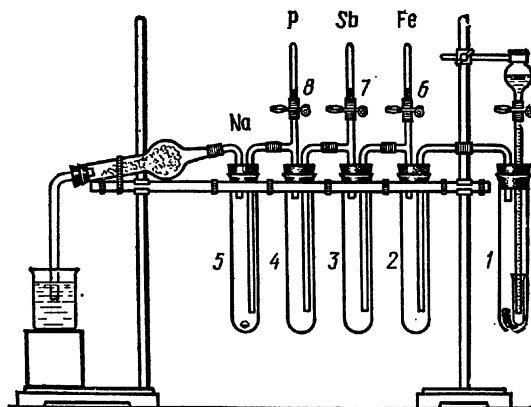


Рис. 192. Получение хлора и сжигание веществ в нем:

1 — сосуд для получения хлора; 2, 3, 4, 5 — сосуды для сжигания; 6, 7, 8 — пробирочки с веществами.

избежание засасывания). Перед демонстрацией собранный прибор испытывают на герметичность с помощью аспиратора (т. I, стр. 254).

7) Индикация хлора. Даже небольшие количества хлора в воздухе обнаруживаются по посинению индикаторной иодокрахмальной бумажки (т. I, стр. 288). При опытах с хлором индикаторную бумажку, смоченную водой, погружают в банку со следами хлора или держат над поверхностью хлорной воды или влажной хлорной извести. Бумажка синеет.

Кроме иодокрахмальной бумажки, можно использовать флуоресцеиновую, которая при действии хлора краснеет (образование эозина) ¹.

Лабораторные опыты с хлором

При наличии большого вытяжного шкафа учащиеся могут выполнить почти все перечисленные выше опыты с хлором, получая его в простых приборах и собирая в маленькие склянки (рис. 193, а), в которых сжигают вещества.

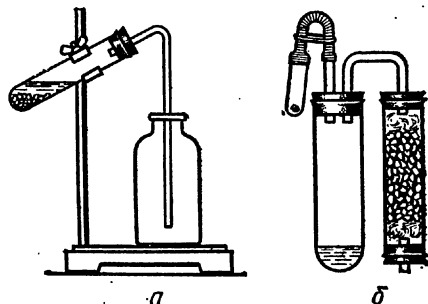


Рис. 193. Лабораторные приборы для опытов с хлором.

¹ Для приготовления индикаторной бумаги 0,1 г флуоресцеина растворяют в 2 мл 10-процентного раствора КОН. Полученный раствор смешивают со 100 мл 30-процентного раствора КВг. К смеси прибавляют 1 г K_2CO_3 и 5 мл глицерина. Этим раствором пропитывают полоски фильтровальной бумаги и высушивают их.

Без тяги лабораторные опыты с хлором очень ограничены. Выполнить некоторые из них следует без собирания хлора в приборах, по типу изображенного на рисунке 191. Вместо шариковой трубки для поглощения хлора можно взять простую широкую трубку, наполнить ее углем и присоединить на пробке к реакционной пробирке (рис. 193, б), а вместо тройника — обычные стеклянные трубки. Отдельные опыты учащиеся могут выполнить с хлорной водой (стр. 276 и 280).

Хлороводород

ПОЛУЧЕНИЕ ХЛОРОВОДОРОДА

Обычный способ получения хлороводорода — действие концентрированной серной кислоты на поваренную соль. Однако если взять кислоту плотностью 1,84, то реакция идет слишком энергично и кислота из-за большой вязкости сильно пенится, пена поднимается до верха сосуда, в котором происходит реакция, и попадает в газоотводную трубку. Чтобы избежать этого, лучше брать не концентрированную, а разбавленную серную кислоту: 3 объема концентрированной серной кислоты (плотность 1,84) на 2 объема воды. Такая кислота при обыкновенной температуре с поваренной солью почти не реагирует. Выделение хлороводорода начинается только при нагревании. Регулируя нагревание, можно регулировать и ток газа.

При разбавлении кислоты следует соблюдать необходимые предосторожности (стр. 308): приливать кислоту в воду, а не наоборот; лить кислоту тонкой струей и небольшими порциями, взбалтывая сосуд и охлаждая его водой (под краном и т. п.); разбавлять кислоту в колбе, а не в толстостенном сосуде, который от нагревания может треснуть. Поваренную соль можно взять столовую или очищенную.

Этой реакцией приходится пользоваться при получении хлороводорода на уроке. Устройство прибора для получения хлороводорода действием серной кислоты на поваренную соль может быть такое же, как для получения хлора (стр. 232, рис. 171, б). Колбу следует взять на 500—600 мл. На конец воронки надевают маленькую пробирочку (стр. 232), чтобы он не закупорился солью. Можно взять воронку с краном (рис. 194) или обойтись совсем без воронки, т. е. закрыть колбу пробкой с газоотводной трубкой. В последнем случае пробку вынимают и приливают сразу необходимое количество кислоты, а

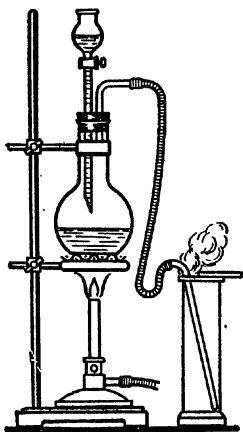


Рис. 194. Получение хлороводорода.

именно на 60—70 г соли (две полные столовые ложки) 80—100 мл серной кислоты указанной выше концентрации (стр. 256). Под плоскодонную колбу обязательно подкладывают сетку. Газоотводную трубку присоединяют на длинной резиновой трубке (рис. 194).

Если опыт производится без предохранительной трубки, то необходимо удостовериться, что каучук хорошо пропускает газ, и следить за тем, чтобы он не перегибался. Нагревают колбу осторожно, все время следя за током газа, и, если газ пойдет слишком бурно, нагревание на время прекращают.

Для сушения хлороводорода присоединяют к прибору склянку Тищенко или другую какую-нибудь промывную склянку (т. I, стр. 269) с концентрированной серной кислотой (плотность 1,84), но можно газ и не сушить.

Если хлороводород заготавливается для опыта заранее, до урока, то удобнее взять вместо поваренной соли хлорид аммония NH_4Cl (нашатырь), так как реакция между ним и концентрированной серной кислотой легко и спокойно идет при обыкновенной температуре без образования большой пены.

Пользуясь для получения хлороводорода поваренной солью, при сооружении прибора приходится брать колбу, пробирку или другие сосуды из тонкостенного стекла, чтобы можно было нагревать. Если же поваренную соль заменить нашатырем, то можно взять любой сосуд: и тонкостенный, и толстостенный (банка, двугорлая склянка и т. п.), так как реакция не требует нагревания и идет без заметного выделения тепла. Нашатырь насыпают слоем 3—4 см.

Для получения хлороводорода не на уроке можно пользоваться концентрированной соляной кислотой (плотность 1,19). Для этого кислоту нагревают или приливают к ней по каплям концентрированную серную кислоту (плотность 1,84).

В первом случае кислоту наливают в колбу, которую закрывают пробкой с газоотводной трубкой и нагревают на водяной бане (в чашке и т. п.). Колбу укрепляют на штативе. Опуская и поднимая колбу, регулируют ток газа. Газ можно пропускать через промывалку с концентрированной серной кислотой, чтобы его осушить и чтобы легче было следить за скоростью выделения газа.

Во втором случае кислоту также помещают в колбу. Колбу закрывают пробкой, в которую вставляют воронку с краном и газоотводную трубку. В воронке находится концентрированная серная кислота, которую приливают по каплям. Скорость выделения газа в последнем случае очень удобно регулировать. Газ, как и в первом случае, полезно пропускать через промывную склянку с концентрированной серной кислотой.

СВОЙСТВА ХЛОРОВОДОРОДА

Хлороводород не обладает таким ядовитым действием, как хлор, однако в высоких концентрациях он действует раздражающе на органы дыхания, а длительное вдыхание его может даже быть при-

чиной отечных явлений в легких. Поэтому опыты с большими объемами хлороводорода, наполнение им значительных по объему сосудов и т. п. надо выполнять под тягой.

Собирание хлороводорода и растворение его в воде. а) Для опыта приготовить цилиндр для собирания газов высотой 20—30 см. Цилиндр прикрыть притертой стеклянной пластинкой (лучше с вырезом, т. I, стр. 213) или куском толстого картона, проваренным в парафине или воске. Опустить в цилиндр газоотводную трубку от прибора для получения хлороводорода (рис. 194) и пустить ток газа. Следить, чтобы выделение газа не было слишком бурным.

После того как из цилиндра начнется обильное выделение белого «дыма» (рис. 194), выждать еще некоторое время, чтобы быть уверенным, что весь воздух из прибора и цилиндра вытеснен. Затем удалить из цилиндра газоотводную трубку и быстро прикрыть его притертой стеклянной пластинкой (смазывать ее не нужно). Газоотводную трубку можно из первого цилиндра перенести в другой цилиндр на случай, если с первым цилиндром опыт не удастся.

Наполненный цилиндр опустить отверстием вниз в ванну или чашку с подкрашенной фиолетовым или синим лакмусом водой и быстро сдвинуть прикрывающую отверстие цилиндра пластинку в сторону. В цилиндр сейчас же с силой врывается вода и заполняет цилиндр почти доверху. Лакмус краснеет. Если не сдвинуть прикрывающее цилиндр стекло до погружения его в воду, то благодаря случайному просочившимся в цилиндр нескольким каплям воды в цилиндре образуется разреженное пространство. Стекло при этом так сильно прижимается к цилиндру, что потом его лишь с большим трудом удастся сдвинуть.

Если газ не сушить, то у первого наполняемого хлороводородом цилиндра стенки иногда отпотевают вследствие влажности вытесняемого из колбы воздуха. Во втором цилиндре этого обычно не бывает. Вместо цилиндра для собирания хлороводорода можно воспользоваться склянкой, которую закрывают пробкой. Открывать пробку под водой следует очень быстро (см. выше).

б) Чтобы показать, что хлороводород «дымит» только во влажном воздухе, приготовить две склянки на 2—3 л. В одну из них налить немного концентрированной серной кислоты (плотность 1,84). Хорошо закрыв склянку, поворачивать ее таким образом, чтобы кислота смочила внутренние стенки склянки, закрыть и оставить до демонстрации опыта. В склянке будет находиться сухой воздух. В другую склянку налить немного воды и также закрыть.

При демонстрации опыта опустить газоотводную трубку прибора (рис. 194) в склянку, куда была налита концентрированная серная кислота, — внутри склянки никакого тумана не образуется. Перенести трубку в другую склянку, в которую была налита вода, — в склянке образуется обильный туман.

в) *Опыт с фонтаном.* В склянку объемом до 2 л вставить хорошую резиновую пробку с двумя трубками (рис. 195). За неимением свежей резиновой пробки можно взять корковую, но ее следует,

углубив в горлышко склянки, залить слоем менделеевской замазки или хотя бы парафином. Трубку 1 лучше взять пошире (диаметр 7—8 мм и больше). Внутренний конец должен быть оттянут, но оттянутый конец нужно обрезать так, чтобы отверстие было диаметром около 1 мм. Вторая трубка может быть узкая. На концы стеклянных трубок надевают резиновые трубки, а на них — зажимы винтовые, пружинные или деревянные (т. I, стр. 70).

Склянку заполняют газом хлороводородом заранее. Хлороводород впускают через трубку 1. Из склянки должен быть вытеснен по возможности весь воздух. Для этого сильную струю хлороводорода нужно пропускать возможно дольше. Для испытания чистоты газа можно присоединить к отводной трубке стеклянную трубку, которую опускают в стакан с водой. При быстром токе хлороводорода можно не опасаться, что воду втянет в склянку. Если выходящие из трубки пузырьки газа нацело поглощаются водой, значит, газ чистый. Тогда закрывают зажим на боковой трубке, затем зажим 2 и немедленно разъединяют склянку с прибором, иначе в приборе может слишком сильно подняться давление.

Если зажимы винтовые, то можно сначала закрутить их не совсем, а затем окончательно и сейчас же отделить газоотводную трубку прибора.

Перед демонстрацией фонтана переворачивают склянку вверх дном и опускают трубку 1 вместе с резиновой трубкой в большую банку с водой. Открывают под водой зажим и погружают склянку в воду почти до половины. Как только в склянку попадут первые капли воды, в ней образуется разреженное пространство, вода с силой врывается в сосуд и бьет из конца трубки фонтаном. Сосуд тогда можно вынуть из воды, оставив в воде только конец трубки (рис. 196). Если же пробка плохая, то лучше оставить ее под водой. Воду в банке можно предварительно подкрасить лакмусом, прибавив одну каплю слабого раствора щелочи.

Чтобы не опускать склянку в воду для введения первых капель воды, можно, приоткрыв зажим на боковой трубке, воспользоваться пипеткой. Затем закрыть зажим, перевернуть и встряхнуть склянку, чтобы две-три капли воды попали из боковой трубки внутрь. Как только это произойдет, опустить конец трубки 1 в воду и открыть зажим 2. Можно ввести первые капли воды в склянку при помощи приспособления, изображенного на рисунке 197.

Воду для фонтана готовят в большой склянке, закрытой пробкой с двумя трубками: одной, доходящей до дна склянки, другой, окан-

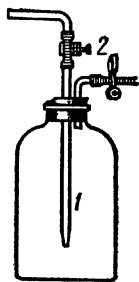


Рис. 195. Склянка для опытов с фонтаном:
1 — трубка; 2 — зажим.

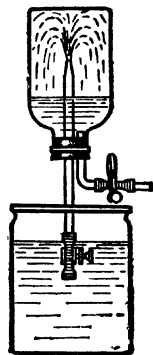


Рис. 196. Опыт с фонтаном.

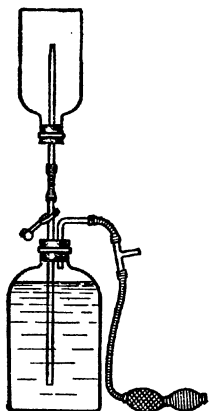


Рис. 197. Введение воды в склянку с хлороводородом.

чивающейся у самой пробки. Трубку, доходящую до дна, соединяют с трубкой 1 склянки, наполненной хлороводородом. К боковой газотводной трубке нижней склянки присоединяют каучук, через который, открыв зажим на прямой трубке верхнего сосуда, можно вдвухать воздух, пока вода поднимется до верхнего сосуда и начнет бить фонтаном. Вдвухать воздух можно ртом или резиновым баллоном (рис. 197). В последнем случае на каучук у баллона ставят тройник, боковой отросток которого на время вдвухания воздуха закрывают пальцем и открывают, как только появятся первые капли воды на конце оттянутой трубки 1 в верхней склянке (иначе в нижнюю склянку не будет доступа наружного воздуха).

В качестве сосуда для наполнения хлороводородом можно воспользоваться круглодонной колбой на 1000—1500 мл, но не больше,

так как вследствие сильного разрежения внутри большая колба может лопнуть от давления атмосферы. Плоскодонной колбой пользоваться не следует: она не выдержит такого давления. Наполненную колбу закрывают резиновой пробкой с вставленной в нее оттянутой на конце стеклянной трубкой (можно применить пипетку). На другой конец стеклянной трубки надевают резиновую трубку с зажимом (рис. 198). Снаряженную колбу можно хранить до демонстрации опыта в течение суток и более. Перед демонстрацией снимают зажим с резиновой трубки, опускают ее в воду и загибают конец трубки вверх, чтобы в нее попало немного воды. Затем, крепко зажав конец резиновой трубки пальцами, вынимают ее из воды, переворачивают колбу горлом вверх и встряхивают. При этом несколько капель воды попадает внутрь колбы. Тогда вновь опускают резиновую трубку в воду и разжимают пальцы. Вода немедленно устремляется внутрь колбы фонтаном.

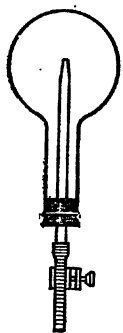


Рис. 198. Круглодонная колба для опытов с фонтаном.

Иногда рекомендуют вынуть из горла колбы пробку вместе с трубкой, опустить оттянутый конец трубки неглубоко в воду, быстро вставить пробку обратно, опустить конец резиновой трубки в сосуд с водой, подкрашенной лакмоидом, и открыть зажим. Попавшей в оттянутый конец трубки капли воды достаточно, чтобы начавшееся в ней растворение хлороводорода создало в колбе необходимое разрежение. При применении данного приема в колбу попадает немного воздуха.

г) При плохой тяге или отсутствии ее получать большие количества хлороводорода и на-

полнять им сосуды следует очень осторожно, чтобы не выпускать его в помещение. Можно воспользоваться упомянутым на странице 233 приспособлением для отвода избытка газа за окно, но так как хлороводород хорошо растворим в воде, то избыток его легко отвести из прибора в воду. Чтобы исключить засасывание воды в реакционную колбу, пользуются резиновым клапаном (клапан Бунзена).

Для изготовления клапана кусок резиновой трубки длиной около 5 см надевают на деревянную палочку и острым ножом или бритвой делают на трубке продольный разрез длиной около 2 см. Один конец трубки надевают на отводную трубку прибора, другой закрывают куском стеклянной палочки. Конец отводной трубки погружают в банку с водой (рис. 199). Как только сосуд (банка, цилиндр и т. п.) наполнится из прибора¹ по трубке 1 хлороводородом, перекрывают зажим и избыток газа направляют через клапан в воду. В разрез клапана газ входит и растворяется в воде, вода же через клапан в трубку попасть не может, так как разрез на резиновой трубке сжимается. Клапаном можно пользоваться при растворении в воде значительных количеств хлороводорода при демонстрации получения соляной кислоты (стр. 263), его применяют и при наполнении сосуда для опыта с фонтаном. Таким сосудом может служить кожух холодильника Либиха (стр. 34) с перекрытыми боковыми отростками и даже достаточно широкая толстостенная стеклянная трубка с хорошо подобранными резиновыми пробками. Хлороводород подается в такой сосуд сверху через тройник по трубке 2, соединенной с прибором (рис. 200). Избыток газа отводится по трубке с клапаном в воду (рис. 199). В нижнее отверстие сосуда вставляют пробку с оттянутой на конце стеклянной трубкой и вторым клапаном. При открытых зажимах на трубках 2 и 3 хлороводород поступает из прибора в сосуд, избыток его выходит через клапан в воду. Как только сосуд будет наполнен хлороводородом (газ, выходящий через клапан, полностью растворяется, пузырьки воздуха незаметно), перекрывают зажимы на трубках 2 и 3 и открывают зажим на трубке 1, направляя избы-

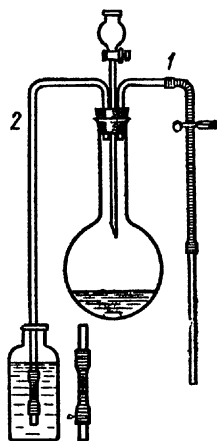


Рис. 199. Применение клапана при растворении хлороводорода в воде.

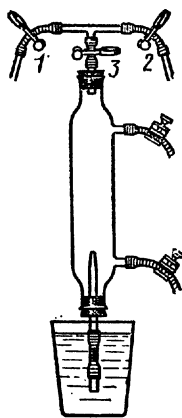


Рис. 200. Применение клапана при наполнении сосуда для опыта с фонтаном.

¹ Воронка с краном у прибора не обязательна, если применяется серная кислота, разбавленная в отношении 3 : 2 по объему (стр. 256).

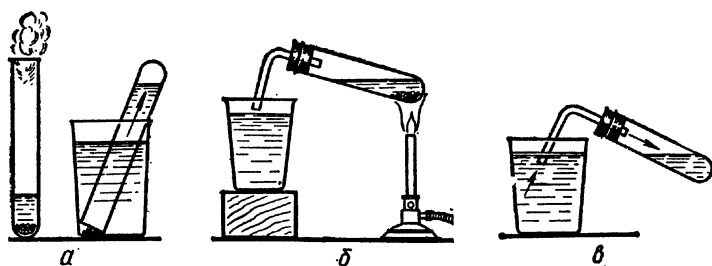


Рис. 201. Получение хлороводорода и растворение его в воде (лабораторные опыты).

ток газа в банку с водой через клапан (рис. 199). Из клапана у нижней части сосуда вынимают стеклянную палочку (в крайнем случае отрезают клапан); внутри сосуда образуется фонтан.

д) Для лабораторных опытов следует пользоваться приборчиками из пробирок как для получения, так и для собирания хлороводорода. Серную кислоту выдают учащимся соответственно разбавленную и охлажденную. В небольших количествах получать и собирать хлороводород в пробирки можно без тяги, однако не следует допускать работу одновременно с большим количеством приборов.

На рисунках 201 и 202 показаны простые приборы, в которых учащиеся могут получить хлороводород и выполнить некоторые опыты. Получение газа осуществляется в пробирке с газоотводной трубкой, выделяющийся газ собирают также в пробирку.

В простейшем случае помещают в открытую пробирку немного поваренной соли, наливают из пробирки или капельной пипеткой столько разбавленной (3 : 2 по объему) серной кислоты, чтобы соль была хорошо ею смочена, помещают пробирку в держалку (или удерживают ее бумажной держалкой, т. I, стр. 74) и нагревают, держа вертикально. Когда из отверстия пробирки начнет выходить «дым» (туман), поворачивают пробирку над стаканом с водой и погружают отверстием в воду (рис. 201, а).

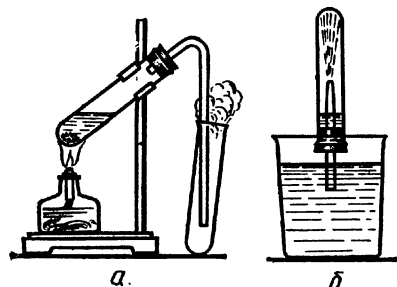


Рис. 202. Получение хлороводорода и растворение его в воде (лабораторные опыты).

При использовании газоотводной трубки (без собирания газа) пробирку с реакционной смесью укрепляют в зажиме штатива, устанавливая конец газоотводной трубки у поверхности воды в стакане и нагревают смесь. Общий объем реакционной смеси в пробирке должен составлять не более $\frac{1}{4}$ ее объема. Выделяющийся хлороводород поглощается поверхностью воды.

К дну стакана опускаются хорошо заметные струйки более тяжелой, чем вода, соляной кислоты. К воде можно прилить заранее раствор лакмуса, который во время опыта принимает красную окраску. Через некоторое время прекращают нагревание и опускают конец газоотводной трубки в воду. Вода поднимается по трубке и вырывается в пробирку (рис. 201, б и в).

При собирании хлороводорода газоотводную трубку погружают до дна пробирки. Когда пробирка наполнится газом, ее медленно снимают с газоотводной трубки (или приподнимают зажим вместе с реакционной пробиркой) и погружают отверстием в воду или вставляют в пробирку пробку с оттянутой прямой стеклянной трубкой, конец которой опускают в стакан с водой, подкрашенной лакмусом, и несколько раз погружают пробирку и поднимают ее кверху (не вынимая трубку из воды). Как только к оттянутому кончику трубки поднимется вода, в пробирке начинает бить фонтан (рис. 202, а и б). Эти лабораторные опыты можно выполнять без тяги.

Соляная кислота

ПОЛУЧЕНИЕ СОЛЯНОЙ КИСЛОТЫ

В лабораторных условиях не только можно показать опыты получения соляной кислоты растворением хлороводорода в воде, но и приготовить небольшое количество достаточно концентрированной кислоты (до 20%) для опытов по изучению ее свойств.

1) Один из простых приборов для этих целей изображен на рисунке 203, а. Хлороводород получают указанным выше способом (стр. 256). Колбу лучше взять круглодонную и нагревать спир-

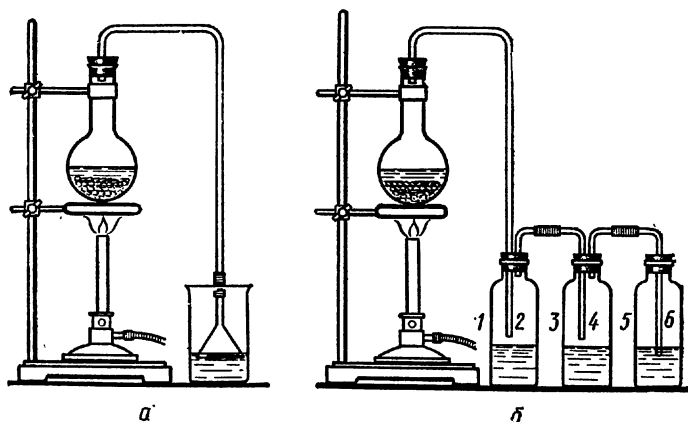


Рис. 203. Получение соляной кислоты:

1, 3, 5 — склянки для поглощения хлороводорода; 2, 4, 6 — газоотводные трубки.

товкой на голом огне (т. I, стр. 124). Газ отводят по изогнутой стеклянной трубке в стакан с водой. На конец трубки насаживают на каучуке воронку, соответствующую по размерам диаметру стакана, и погружают ее в воду на 2—3 мм. Это увеличивает поверхность поглощения и исключает засасывание жидкости в колбу. При получении неконцентрированной соляной кислоты воду подкрашивают лакмусом или слегка подщелачивают и приливают фенолфталеин, окраска которого при образовании кислоты обесцвечивается.

2) Для получения соляной кислоты можно воспользоваться также прибором, изображенным на рисунке 203, б. Размеры прибора зависят от количества кислоты, которое желательно получить.

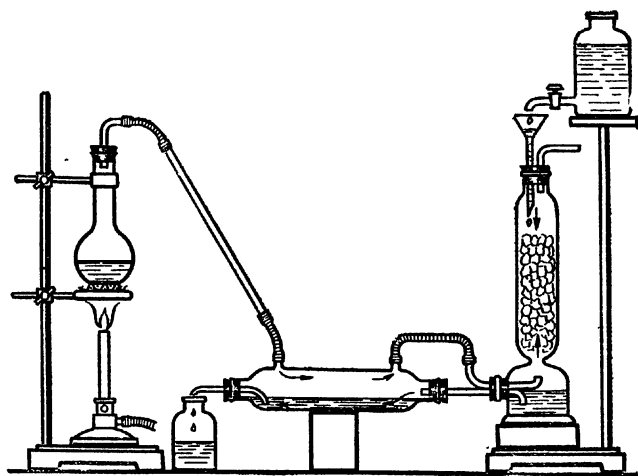
В склянки 1, 3 и 5 наливают воду в таких количествах, как показано на рисунке. Трубки 2 и 4 не доходят до воды примерно на 1 см. Трубку 6 погружают в воду меньше чем на 1 см. При таком погружении засасывание и переброска воды из последней склянки исключены, в крайнем случае немного жидкости может перейти (при ослаблении тока газа) только в склянку. Хлороводород поглощается главным образом в склянке -1. Видны струйки бегущего вниз раствора. В склянке 3 поглощение газа идет также только поверхностью раствора, но слабее. В склянке 5 поглощается весь оставшийся хлороводород. Опыт можно вести без тяги.

Вместо изображенных на рисунке 203, б склянок удобно применить промывные склянки Тищенко (но не склянки Дрекслея, т. I, стр. 270). Для лабораторных опытов можно собрать приборы из маленьких скляночек или из пробирок и хлороводород получать также в пробирке (стр. 262).

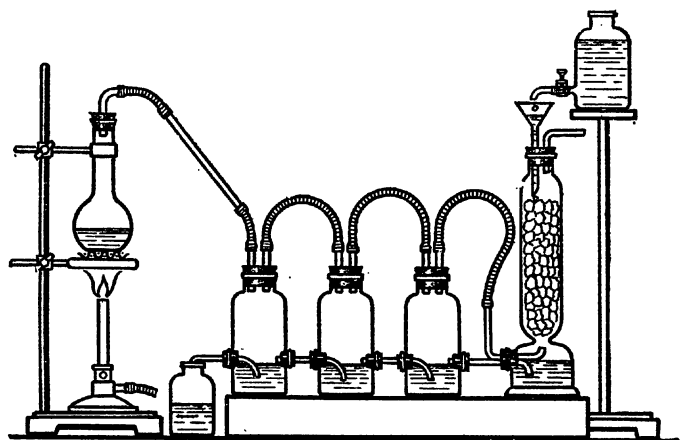
3) Модели действующих установок, доступные для изготовления в школе, приведены на рисунке 204. Они позволяют показать в действии принцип противотока, осуществляемый при получении соляной кислоты в технике. Для поглотительного сосуда (рис. 204, а) удобно использовать кожух холодильника Либиха; можно взять также широкую стеклянную трубку (например, обрезанную лампу дневного света, т. I, стр. 214) с хорошими резиновыми пробками, в каждой из которых должны быть просверлены два отверстия для стеклянных трубок (т. I, стр. 139), по которым будут подаваться и выходить вода и хлороводород. Из реакционной колбы газ по длинной трубке, служащей и для его охлаждения, поступает в поглотительный сосуд и растворяется в движущейся навстречу воде, в которой растворено некоторое количество газа при прохождении его остатков через поглотительную колонку. Колонку наполняют кусками пемзы или отрезками стеклянных трубок. Вода поступает в нее сверху из тубулированной склянки с краном.

На рисунке 204, б изображена такая же установка, но она имеет несколько последовательно соединенных сосудов, сделанных из склянок с просверленными боковыми отверстиями. Раствор соляной кислоты стекает в подставленную склянку.

4) Для демонстрации получения хлороводорода и соляной кислоты синтетическим способом можно использовать прибор, изобра-



а



б

Рис. 204. Модели действующих установок для получения соляной кислоты.

женный на рисунке 205. Водород получают в аппарате Киппа. Хлор лучше брать из газометра (стр. 234), так как это обеспечивает его равномерный ток и дает возможность регулировать его. Так как при такой конструкции создать достаточное давление газа нельзя ¹, необходимо просасывать газ (вместе с поступающим воздухом) через всю систему с помощью аспиратора (т. I, стр. 254). В качестве аспиратора может быть использован обычный газометр, для этого

¹ В целях безопасности не следует плотно вставлять пробку с горелкой в трубку, лучше закрепить горелку в зажиме штатива и ввести в трубку (камеру) только верхнюю часть до пробки.

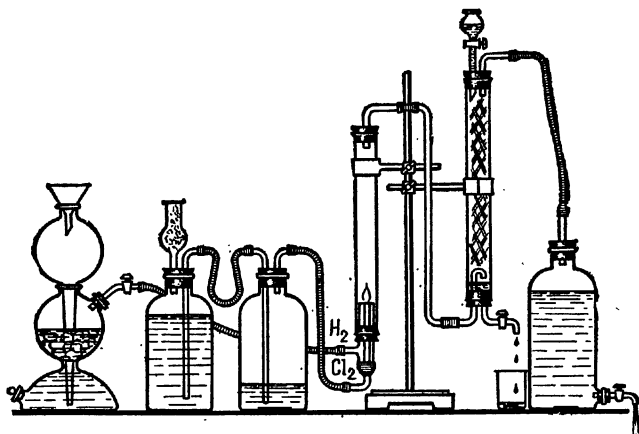


Рис. 205. Упрощенная действующая модель производства соляной кислоты синтетическим способом.

достаточно в пробку нижнего тубулуса вставить кран. Прибор, в котором нужно создать тягу или который требуется проверить на герметичность, присоединяют к крану верхнего тубулуса газометра. Кран воронки газометра при использовании его в качестве аспиратора должен быть закрыт.

Горелку (стр. 244), закрепленную в зажиме штатива, перед опытом вынимают из камеры для сжигания хлора и устанавливают рядом с ней. Сначала подают водород, проверяют его чистоту (*правило*, стр. 68), зажигают и устанавливают пламя высотой около 2 см. Затем из газометра пускают сначала слабый, потом более сильный ток хлора. Внимание учащихся обращают на изменение цвета пламени, а затем с помощью влажной синей лакмусовой бумажки (держат над пламенем) показывают образование хлороводорода. После этого открывают кран аспиратора, поворачивают горелку (не вынимая из зажима) и подводят ее под трубку — камеру для сжигания. Сразу же пускают струйкой или каплями воду в поглотительную колонку.

Чтобы вода не заливала трубку, по которой поступает в колонку хлороводород, конец ее выводят немного выше уровня пробки и загибают отверстием вниз. Конец отводной трубки внутри колонки должен быть на уровне пробки, чтобы обеспечить полное стекание полученной соляной кислоты.

При прекращении опыта нужно сначала выключить ток хлора, а затем уже ток водорода, чтобы не загрязнить кислоту хлором. Из этих соображений и в производстве соляной кислоты подается избыток водорода. Далее закрывают кран аспиратора и прекращают подачу воды в поглотительную колонку. Раствор кислоты сливают из колонки через кран и испытывают лакмусом и нитратом серебра. Концентрация кислоты весьма невелика, но достаточна для качественных реакций.

СВОЙСТВА СОЛЯНОЙ КИСЛОТЫ И ЕЕ СОЛЕЙ

1) **Взаимодействие с металлами.** К помещенным в стаканы или пробирки небольшим количествам магния, гранулированного цинка и железа (гвозди, опилки) прилить соляной кислоты плотностью 1,12 или более слабой. Происходит энергичное выделение водорода.

2) **Образование осадка с нитратом серебра.** В два стакана налить понемногу слабого (2—3%) раствора нитрата серебра и прибавить в один стакан разбавленной соляной кислоты, в другой — раствор поваренной соли.

Осадок от соляной кислоты отфильтровать и оставить на свету до следующего урока. Осадок темнеет (вначале становится лиловым) вследствие разложения соли с выделением серебра. Промыть осадок два раза водой, вынуть его вместе с фильтром и, разложив фильтр на листе бумаги, осадок разровнять. На середину слоя положить какой-нибудь непрозрачный предмет, например монету, и выставить на свет. На следующий день осадок только под монетой остается светлым.

К осадку от поваренной соли, не фильтруя его, прибавить раствор какого-нибудь фотографического проявителя. Осадок чернеет.

3) **Реактив на соляную кислоту и ее соли.** а) Налить в пробирки понемногу разбавленных растворов кислот: соляной HCl , азотной HNO_3 , серной H_2SO_4 (кислота должна быть достаточно разбавлена, так как сульфат серебра малорастворим; необходимо предварительно проверить приготовленный раствор), уксусной $\text{H}(\text{H}_3\text{C}_2\text{O}_2)$. Во все пробирки прибавить раствор нитрата серебра. Осадок образуется только в пробирке с соляной кислотой.

б) Налить в пробирки понемногу растворов различных солей, например: NaCl , Na_2SO_4 , BaCl_2 , Na_2CO_3 , Na_3PO_4 , CuSO_4 , FeCl_3 . Во все пробирки добавить раствор нитрата серебра. Отметить, в каких случаях образовались осадки. Написать уравнения реакций, подчеркнуть формулы веществ, образовавших осадки (AgCl , Ag_2CO_3 , Ag_3PO_4 , а при достаточной концентрации также и Ag_2SO_4).

Слить с образовавшихся осадков часть раствора и прибавить к ним раствор азотной кислоты. Отметить, какие осадки образовали с азотной кислотой растворимые соединения, а какие нет (растворяются все осадки, кроме AgCl). Написать уравнения реакций. Нитрат серебра является реактивом на соляную кислоту и ее соли (см. также опыты на стр. 145).

Кислородные соединения хлора

ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА КИСЛОРОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ХЛОРА

Взаимодействие хлора с водой под действием света. В наиболее доступном оформлении опыт выполняется в круглодонной колбе объемом 0,5 л с узким горлом или склянке из бесцветного стекла.

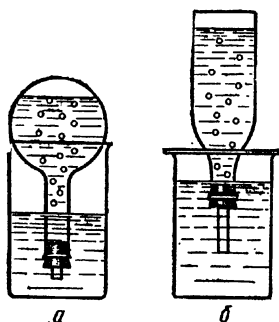


Рис. 206. Взаимодействие хлора с водой.

Колбу (склянку) наполняют хлорной водой¹ доверху, вставляют пробку с широкой стеклянной трубкой (длина трубки над пробкой снаружи 5—6 см, внутри же конец трубки не должен выходить из пробки). При вставленной пробке трубка должна быть полностью наполнена хлорной водой (если это не получается, при вставлении пробки в колбу нужно долить хлорную воду в трубку пипеткой). Внутри колбы не должно быть пузырьков воздуха. Наружный конец трубки закрывают бумажкой, опрокидывают колбу в высокий стакан с насыщенным раствором поваренной соли (рис. 206, а и б). Для замедления испарения

жидкости из стакана на поверхность ее (после опускания колбы) наливают тонкий слой растительного масла.

Весь прибор ставят на окно или ближе к окну, где он будет возможно лучше и продолжительнее освещен и, кроме того, хорошо виден учащимся. Чем ярче освещение, тем быстрее выделяется кислород. Всего лучше, конечно, идет реакция непосредственно под лучами солнца. Зимой на рассеянном свете опыт продолжается 1—3 недели. При таких условиях выгоднее взять склянку побольше. Когда у дна колбы (склянки) накопится достаточный объем кислорода², ее вынимают из стакана, закрыв отверстие трубки пальцем, и переворачивают трубкой вверх; кислород при этом переходит в трубку, где его можно испытать тонкой тлеющей лучинкой. Если кислорода выделилось много, можно вынуть пробку с трубкой и испытать газ непосредственно у отверстия колбы (склянки). Оставшуюся в колбе хлорную воду можно использовать для лабораторных опытов (стр. 256), предварительно испытав ее.

Получение и свойства белильных солей

1) Для опыта нужен раствор едкого натра NaOH или едкого кали КОН (1 : 10) и прибор для получения хлора (стр. 233). Опыт производится под тягой или с использованием поглотителей³, отводом избытка газа в окно и т. п. (стр. 233). 50 мл раствора щелочи наливают в стакан или колбу, ставят в холодную воду и пропускают

¹ Если хлорная вода приготовлена заранее (стр. 242), то хранить ее нужно в темноте или в бутылке, обернутой черной бумагой.

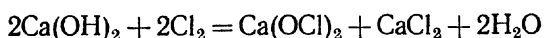
² Механизм реакции здесь не рассматривается, но данный опыт может быть использован для ознакомления учащихся со свойствами непрочной хлорноватистой кислоты HOCl, которая образуется при взаимодействии хлора с водой и разлагается с выделением кислорода.

³ Образующиеся при поглощении белильные соли — гипохлориты — можно использовать для опытов, если раствор не содержит значительного избытка щелочи.

через него ток хлора в течение 5 мин. К части полученного раствора гипохлорита приливают раствор (1 : 5) серной кислоты, происходит бурное выделение хлора¹. Отдельные порции раствора гипохлорита приливают к подкисленному раствору индиго (обесцвечивание), чернил (предварительно испытать, так как обесцвечиваются не все чернила), раствору иодата калия (выделение иода), погружают в него окрашенную ткань (беление).

2) Получение хлорной (белильной) извести и опыты с ней.

а) Наполнить хлором склянку объемом 2—3 л с притертой стеклянной или хорошо подогнанной корковой пробкой. Всыпать ложку порошкообразной гашеной извести (гидроксид кальция), закрыть склянку пробкой и периодически встряхивать в ней известь в течение 25—30 мин. Цвет хлора постепенно пропадает, а известь делается влажной и начинает прилипать к стенкам склянки, так как при реакции выделяется вода:



(одно из возможных уравнений реакций с образованием гипохлорита кальция Ca(OCI)_2). Полученную слегка влажную белильную известь пересыпать в отдельную баночку и использовать для опытов.

б) *Окисляющее действие хлорной извести.* Цель опытов — показать, что раствор хлорной (белильной) извести белил только в присутствии какой-нибудь кислоты, даже угольной. При действии кислот на хлорную известь выделяется свободная хлорноватистая кислота, которая разлагается с выделением хлора и кислорода и проявляет окисляющее действие².

В стакан с теплой водой всыпают столовую ложку белильной извести, взбалтывают стеклянной палочкой и фильтруют (лучше через слоеный фильтр, т. I, стр. 245) в другой стакан или колбу. К отфильтрованной жидкости прибавляют немного синего раствора лакмуса и жидкость разливают в два стакана поровну. Раствор остается синим. Затем в один стакан прибавляют немного серной кислоты (1 : 5). Лакмус сейчас же обесцвечивается, выпадает осадок сульфата кальция. В другой стакан через стеклянную трубку пропускают углекислый газ (можно вдвухать выдыхаемый воздух). Жидкость мутнеет от образующегося карбоната кальция, причем индикатор сначала краснеет вследствие выделения хлорноватистой кислоты, а затем обесцвечивается в результате окисления.

Хранить белильную известь следует хорошо закрытой и в темноте.

в) *Каталитическое разложение хлорной извести.* Около 50 г хлорной извести смешивают в небольшой колбе с 100 мл воды.

¹ Механизм реакций не приводится, нужные уравнения можно найти в учебных руководствах.

² Механизм реакций не приводится, нужные уравнения можно найти в учебных руководствах.

Закрывают колбу пробкой с капельной воронкой и газоотводной трубкой и нагревают на водяной бане при 80 °С до прекращения выделения пузырьков воздуха. После этого вливают из капельной воронки в колбу небольшими порциями концентрированный раствор хлорида кобальта CoCl_2 (катализатор). Сразу же начинается энергичное выделение кислорода, который можно собрать в цилиндр над водой ¹.

Получение бертолетовой соли и опыты с ней

Опытом получения бертолетовой соли можно показать различие во взаимодействии хлора с раствором едкого кали при обычной температуре (стр. 268) и при нагревании ².

1) **Получение бертолетовой соли при пропускании хлора в раствор едкого кали.** В колбу на 100 мл с резиновой пробкой и двумя трубками, как показано на рисунке 207, вливают 50 мл 30-процентного раствора едкого кали и нагревают почти до кипения. В горячий раствор пропускают достаточно быстрый (но не слишком сильный) ток хлора, отводя избыток последнего в тягу или за окно (стр. 233). Кристаллы бертолетовой соли начинают выпадать уже из горячего раствора:



Насадка из широкой трубки внутри колбы необходима, чтобы узкую трубку не закупорило кристаллами. При охлаждении количество кристаллов увеличивается, но выпадает одновременно и значительное количество хлорида калия. Выпавший осадок отделяют на фильтре, промывают холодной (ледяной) водой, так как растворимость бертолетовой соли в холодной воде относительно невелика, и высушивают на воздухе. С полученной солью, содержащей примесь хлорида калия, можно показать некоторые опыты (каталитическое разложение, взаимодействие с соляной кислотой, стр. 16 и 237).

2) **Получение бертолетовой соли электролизом.** Познавательное значение имеет химическая сторона процесса. Для практических целей в школьных условиях этим способом бертолетову соль получить невозможно.

Для опыта следует приготовить насыщенный раствор хлорида калия и отвесить 5 г едкого кали. В стакан емкостью 100—150 мл налить 60 мл насыщенного раствора хлорида калия и щипцами перенести в раствор 5 г едкого кали. Стакан поместить на сетку

¹ Механизм реакций сложный. Очевидно, при действии на CoCl_2 гидроксида кальция, который содержится в хлорной извести, образуется гидроксид кобальта (II), который окисляется хлорной известью до $\text{Co}(\text{OH})_3$, последний распадается с образованием $\text{Co}(\text{OH})_2$ и выделением кислорода и т. д.

² Опыт имеет в основном учебное значение; получить в школьных условиях значительные количества KClO_3 и очистить ее от KCl слишком сложно. Для опытов с KClO_3 нужно использовать готовую соль.

на кольцо штатива. Нагреть раствор до 75°C и опустить в него угольные электроды, как в электролизере, изображенном на рисунке 29. Присоединить электроды к источнику постоянного тока, дающего напряжение до 25 в (селеновый выпрямитель, т. I, стр. 104). Температуру контролировать термометром. При электролизе раствора хлорида калия на катоде образуется едкое кали, а на аноде выделяется хлор, которые, реагируя между собой, образуют бертолетову соль.

Через 8—10 мин выпадают кристаллы бертолетовой соли.

3) Разложение бертолетовой соли нагреванием (стр. 16).

4) Взрыв смеси бертолетовой соли с красным фосфором. Для опыта можно брать только небольшие количества бертолетовой соли. (на кончике ложечки) и вдвое меньше совершенно сухого (стр. 339) красного фосфора. Оба вещества поместить на гладкую пластмассовую пластинку (класть каждое отдельной ложечкой) и осторожно перемешать мягким птичьим пером. Затем с помощью того же птичьего пера смесь осторожно перенести в маленький конусообразный пакетик («фунтик») из тонкой алюминиевой фольги. Край пакетика с широкого конца осторожно загнуть, но не нажимать на смесь, так как при этом она может взорваться в руках. Поместить пакетик со смесью на наковальню (перевернутый утюг и т. п., т. I, стр. 75) и ударить молотком. Происходит оглушительный взрыв.

Брать для опыта большие количества веществ опасно. Хранить приготовленную смесь нельзя. Если почему-либо осталась неиспользованная смесь, ее нужно немедленно высыпать в воду; пластинку, на которой готовили смесь, сразу же вымыть водой. *Выполнение опыта учащимся не разрешать!*

5) Взрыв смеси бертолетовой соли с серой (т. I, стр. 321).

6) Испытание раствора бертолетовой соли нитратом серебра для доказательства отсутствия ионов хлора (стр. 203).

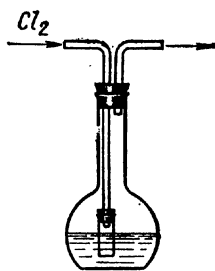
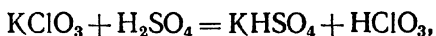


Рис. 207. Получение бертолетовой соли.

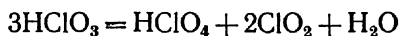
Получение оксида хлора ClO_2

В чистый небольшого размера фарфоровый тигель насыпают 1—1,5 г очищенной перекристаллизацией бертолетовой соли. Тигель с солью помещают в толстостенный стакан емкостью 2—3 л и закрывают его картонной крышкой с небольшим отверстием в центре. В длинную пипетку набирают 1 мл 96-процентной серной кислоты и, придерживая крышку, вводят пипетку через отверстие внутрь стакана почти до самой поверхности бертолетовой соли в тигле. Медленно, слегка и постепенно отнимая палец от верхнего конца пипетки, вливают серную кислоту. Вливать кислоту следует только

этим приемом, не допуская падения каплеь ее с большей высоты. При взаимодействии взятых веществ вначале образуется хлорноватая кислота:



которая тут же разлагается (реакция расхождения, т. е. диспропорционирования):



Стакан заполняется тяжелым желтым газом — оксидом хлора ClO_2 (стр. 238). Нагревают стеклянную палочку и через отверстие в крышке вводят ее внутрь стакана. Происходит легкий безопасный хлопок, желтый газ обесцвечивается. Иногда легкие взрывы, сопровождающиеся треском и довольно значительным разбрызгиванием, происходят уже во время вливания кислоты. Опасности это не представляет, следует только придерживать крышку на стакане, чтобы кислота из него не брызнула. Желтый газ и в этом случае достаточно хорошо виден. По окончании опыта, не вынимая тигель из стакана, наливают в него воду, стакан также заполняют водой. Опыт можно выполнять без тяги, но тогда следует ставить его только в конце урока.

Цветные (бенгальские) огни

Горючей основой бенгальских огней являются уголь, сера, чаще смесь того и другого с бертолетовой солью или солями азотной кислоты. При сгорании таких смесей даже в отсутствие кислорода воздуха развивается высокая температура, что позволяет при прибавлении различных солей некоторых металлов получать окрашенное пламя (стр. 363). В пиротехнике известно много разнообразных составов огней, но большая часть их для школы малодоступна и приготовление с использованием значительных количеств бертолетовой соли небезопасно. Сжигание смесей, содержащих серу, в помещении без сильной тяги невозможно.

Для школьных условий можно пользоваться простыми рецептами, дающими достаточный внешний и познавательный эффект. Нужные смеси готовят на основе бертолетовой соли, сахарной пудры (получают ее тщательным растиранием сахара в ступке) и солей различных металлов в следующих соотношениях:

Желтый огонь:

1,5 мас. ч. бертолетовой соли KClO_3 , 2 мас. ч. сахарной пудры, 0,5 мас. ч. безводной прокаленной соды Na_2CO_3 .

Зеленый огонь:

а) 1,5 мас. ч. бертолетовой соли KClO_3 , 2 мас. ч. сахарной пудры, 0,5 мас. ч. борной кислоты H_3BO_3 ;

б) 1 мас. ч. бертолетовой соли KClO_3 , 2 мас. ч. сахарной пудры, 1 мас. ч. нитрата бария $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$;

в) 1,5 мас. ч. бертолетовой соли KClO_3 , 1 мас. ч. сахарной пудры, 0,5 мас. ч. основного карбоната меди $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$.

Фиолетовый огонь:

2 мас. ч. бертолетовой соли KClO_3 , 2,5 мас. ч. сахарной пудры, 0,5 мас. ч. сухого карбоната калия K_2CO_3 и 0,3 мас. ч. алюмокалиевых квасцов $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$.

Красный огонь:

а) 1,5 мас. ч. бертолетовой соли KClO_3 , 3 мас. ч. сахарной пудры, 1 мас. ч. нитрата стронция $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$;

б) 2 мас. ч. бертолетовой соли KClO_3 , 1 мас. ч. сахарной пудры, 0,5 мас. ч. карбоната кальция CaCO_3 .

Белый огонь:

1,5 мас. ч. бертолетовой соли KClO_3 , 2 мас. ч. сахарной пудры.

В больших количествах готовить смеси и хранить их не следует. Каждую составную часть смеси готовят отдельно в виде мелкого порошка. Берут не более 3—5 г бертолетовой соли, рассчитывая количество остальных компонентов по указанным выше соотношениям. Можно не отвешивать тщательно порошки веществ, а последовательно насыпать их в пробирку, не уплотняя, и судить о соотношении по толщине слоя. Насыпав нужные количества веществ, перенести их из пробирки в сухую колбочку на 100 мл и перемешать легким встряхиванием. Растирать смесь в ступке нельзя (*опасно!*). Готовую смесь высыпать на керамическую или металлическую пластинку (под последнюю подложить асбест). Любая из указанных смесей загорается от одной капли концентрированной серной кислоты: достаточно стеклянную палочку опустить на 1 см в склянку с серной кислотой и прикоснуться смоченным концом к смеси. Можно поджигать смесь также длинной лучинкой.

При горении этих смесей получается мало дыма, не бывает запаха (кроме легкого запаха жженого сахара), сжигать их можно в помещении (лучше в затемненном), однако следует иметь в виду, что соли бария, стронция, меди ядовиты, и сжигать смеси, содержащие эти вещества, нужно под тягой или на открытом воздухе.

Бром

Обращение с бромом требует большой осторожности (*правила*, т. I, стр. 165). Действие паров брома на слизистые оболочки сходно с действием хлора, но раздражение носоглотки бывает значительно более сильное. Поэтому все опыты с бромом желательно производить под тягой или пользоваться поглотителями. Противоядия после вдыхания паров брома используют те же, которые указаны при

описании опытов с хлором (стр. 231). Жидкий бром причиняет сильные ожоги. Если на кожу случайно попало немного брома или даже бромной воды, пораженное место следует быстро вымыть водой, затем промыть раствором аммиака или соды, а еще лучше раствором тиосульфата натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ и наложить (после попадания жидкого брома) повязку, смоченную этим раствором. После ожогов бромом кожа буреет, твердеет и трескается. Поэтому обожженное место следует смазывать вазелином или ланолином.

Для хранения брома лучше всего пользоваться склянкой с притертой пробкой и колпаком (т. I, стр. 120). В школьных наборах реактивов жидкий бром обычно содержится в запаянных ампулах. Для вскрытия ампулы на оттянутом конце ее делают напильником надрез, затем, держа ампулу слегка наклонно и обернув руку полотенцем, обламывают кончик по месту надреза. Еще лучше приложить к месту надреза раскаленную сплюснутую на конце стеклянную палочку (т. I, стр. 215), тогда на оттянутой части появляется круговая трещина, и кончик легко отделяется. Бром из вскрытой ампулы следует под тягой перелить в склянку с притертой пробкой и колпаком или в обыкновенную склянку с притертой пробкой.

ПОЛУЧЕНИЕ ПАРОВ БРОМА И БРОМНОЙ ВОДЫ

Предупреждение: на случай ожога бромом приготовить концентрированный раствор тиосульфата натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ и иметь наготове противоядие от паров брома.

Поместить в пробирку около 1 г бромида калия и примерно двойной объем порошка оксида марганца MnO_2 . Перемешав порошок встряхиванием, прилить около 1 мл серной кислоты (3 : 2) и закрыть пробирку пробкой с газоотводной трубкой. Трубку опустить в банку или колбу с узким горлом, в которую примерно на $\frac{1}{4}$ объема налито воды (рис. 208). Конец трубки в воду не погружать. Проследить, чтобы смесь была полностью смочена кислотой и жидкость дошла до дна пробирки. Если это не произошло (при очень мелком порошке оксида марганца образуется плотная пробка), осторожно перемешать смесь лучинкой и конец лучинки опустить в стакан с водой. При несоблюдении этого правила несмоченная часть



Рис. 208. Получение паров брома.

стекла при нагревании может дать трещину и горячая смесь выльется и попадет на руку.

Осторожно нагревать смесь, следя за наполнением банки (колбы) парами брома. Если во время нагревания в пробирке образуется пробка (обычно это бывает при больших количествах исходных веществ), которая начинает подниматься вверх, немедленно прекратить нагревание и продолжить его, как только пробка опустится. Не перегревать смесь, иначе она вспенивается и может быть переброшена в склянку.

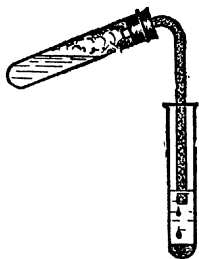


Рис. 209. Получение жидкого брома.

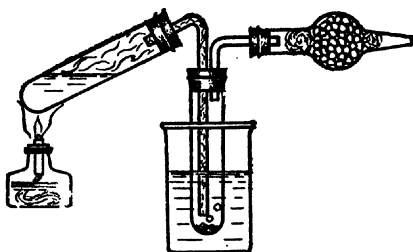


Рис. 210. Получение жидкого брома с использованием поглотителя.

Постепенно склянка (колба) наполняется парами брома (поставить белый фон), иногда по трубке стекает несколько капель жидкого брома. Как только в реакционной пробирке цвет паров брома начнет ослабевать (реакция закончена), вынуть газоотводную трубку из банки (колбы), опустить конец трубки в склянку с раствором тиосульфата натрия (только не в тот раствор, который приготовлен для промывания кожи), закрыть колбу (склянку) с парами брома пробкой и хорошо взболтать в ней жидкость. Бром растворяется в воде, образуя бромную воду, которой будет достаточно для обычных лабораторных опытов. Опыт можно выполнять без тяги.

ПОЛУЧЕНИЕ ЖИДКОГО БРОМА ¹

1) При наличии тяги небольшое количество жидкого брома можно получить и собрать под водой в простом приборе (рис. 209). В пробирку на $\frac{1}{4}$ ее объема насыпают заранее приготовленную (или непосредственно готовят в этой же пробирке) смесь одной части бромиды калия с двумя частями оксида марганца MnO_2 , наливают серную кислоту (3 : 2), при необходимости перемешивают (стр. 274). Общий объем реакционной смеси должен быть не более $\frac{1}{3}$ объема пробирки. Пробирку со смесью укрепляют в штативе и осторожно нагревают (*предосторожность*, стр. 274). Жидкий бром по газоотводной трубке поступает в пробирку-приемник и собирается под слоем воды. По окончании опыта бром с водой выливают в общую склянку. Реакционную пробирку моют под тягой.

2) В приборе, изображенном на рисунке 210, можно получить и собрать жидкий бром и выполнить с ним некоторые опыты без тяги. Из реакционной пробирки бром поступает в широкую пробирку-приемник, погруженную в стакан с холодной водой. К пробирке-приемнику присоединена поглотительная трубка с углем. Когда в приемнике соберется некоторое количество брома (при

¹ Бром, как и хлор, разрушает резиновые пробки, однако они могут использоваться длительное время, если избегать попадания на них жидкого брома.

указанных выше количествах исходных веществ — около 0,5 мл), прекращают нагревание смеси, приподнимают на штативе весь прибор так, чтобы пробирка-приемник оказалась над поверхностью воды (стакан с водой не убирают: если пробирка даст трещину во время опыта, остатки брома упадут в воду, а не на стол). Осторожно вынимают пробку (не снимая поглотительной трубки), бросают в пробирку с бромом немного алюминиевых опилок (можно напилить напильником) и несколько штук тонких свежих алюминиевых стружек (настругать ножом) и сразу же вставляют пробку обратно. Через некоторое время начинается реакция брома с алюминием: в пробирке появляются яркие вспышки и искры. По окончании опыта в пробирку-приемник наливают на $\frac{3}{4}$ объема воды (на открытом воздухе). Оставшийся бром растворяется в образовавшемся бромной воды, которую можно использовать для опытов; примесь получившегося при опыте бромида алюминия обычным опытам не мешает. Если опыт с алюминием не проводится, можно слить жидкий бром в склянку для хранения. Получение значительных количеств жидкого брома описано в специальных руководствах по неорганическому синтезу¹. В средней школе в этом нет необходимости.

СВОЙСТВА БРОМА

1) **Вытеснение брома хлором.** К раствору бромида калия (1 : 10) прилить хлорной воды. Выделяющийся бром окрашивает жидкость в бурый цвет. Пропуская через раствор (*под тягой!*) струю хлора (стр. 242), можно получить каплю брома.

2) **Растворение брома в воде и в других растворителях.** а) В пробирку с водой прилить одну-две капли брома и размешивать стеклянной палочкой (в пробирке достаточно взбалтывать), пока весь бром не растворится.

б) В пробирку с органическим растворителем (бензолом, хлороформом, четыреххлористым углеродом, бензином², дихлорэтаном, но не ацетоном³) ввести на стеклянной палочке каплю брома,

¹ Обычно берут для этого смесь дихромата калия с бромидом калия, спекают ее в железной чашке, разбивают на гранулы, помещают в колбу Вюрца, через капельную воронку приливают концентрированную серную кислоту и при нагревании отгоняют бром, охлаждая его в холодильнике Либиха.

² Прежде чем показывать опыт с бензином, необходимо испытать его на содержание непредельных углеводородов: крекинг-бензин содержит значительное количество их, и при прибавлении к нему брома или бромной воды может произойти обесцвечивание (бром присоединяется к молекулам углеводорода по месту разрыва двойных связей). Объяснить это явление учащимся на данном этапе обучения трудно. До демонстрации опыта нужно к взятой порции бензина в пробирке приливать бромную воду до тех пор, пока бром перестанет обесцвечиваться. После этого испытания к предназначенному для опытов бензину приливают рассчитанное количество бромной воды, отделяют бензин от воды с помощью делительной воронки и используют его для опытов.

³ Ацетон взаимодействует с бромом, образуя бромацетон, обладающий сильным слезоточивым действием.

сравнить растворимость брома в воде (насыщенный водный раствор содержит около 3% брома) и в других растворителях.

в) К бромной воде в пробирке прилить 2—3 мл одного из перечисленных выше органических растворителей, осторожно взболтать и дать отстояться. Наблюдать переход большей части брома из водного раствора в органический растворитель в соответствии с законом распределения (экстрагирование).

г) К водному раствору бромида калия (натрия) прилить хлорную воду и какой-либо органический растворитель (кроме спирта и ацетона). Наблюдать вытеснение и извлечение брома.

3) Соединение брома с алюминием (т. I, стр. 323, а также т. II, стр. 276).

4) Соединение брома с магнием (цинком). Налить в пробирку до половины бромной воды (см. выше). Всыпать немного порошка магния (цинковой пыли) и взбалтывать некоторое время, пока исчезнет бурый цвет брома. Прилить к бесцветному раствору образовавшегося бромида хлорную воду. Окраска вновь появляется.

Вместо магния и цинка можно взять для опыта мелкие железные опилки, но полное обесцвечивание в этом случае не наступает (бромид железа FeBr_2 в растворе слегка окрашен).

5) Соединение брома с фосфором. В стеклянную банку на 1—2 л налить немного жидкого брома; при его испарении банка наполняется бурыми парами. На железной ложечке для сжигания веществ внести в банку немного сухого красного фосфора; фосфор загорается в бrome. Ложечку с горящим фосфором вынуть и опустить в стакан с водой. Опыт можно показывать только при наличии тяги.

ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА БРОМОВОДОРОДА

Концентрированная серная кислота окисляет ионы брома до свободного брома, поэтому для получения бромоводорода приливают разбавленную (3 : 2) кислоту¹. Небольшая примесь брома может быть и в этом случае, но ее легко удалить, пропуская газ через стеклянную трубку (рис. 211) со слегка влажным красным фосфором² и стеклянной или асбестовой ватой (т. I, стр. 78). Наполнив трубку, необходимо продуть через нее ртом воздух, чтобы убедиться, что она легко пропускает газ.

К трубке с фосфором на достаточно длинном каучуке присоединяют резиновую трубку, опущенную в цилиндр для собирания газов, цилиндр прикрывают притертой стеклянной пластинкой или куском картона с вырезом, как и в опытах с хлороводородом (стр. 256). Прежде чем производить опыт, необходимо испытать, держит ли прибор (т. I, стр. 253) и хорошо ли пропускает газ газотводная трубка.

¹ К 2 объемам воды приливают 3 объема концентрированной 96-процентной серной кислоты и охлаждают до комнатной температуры.

² Фосфор связывает бром, образуя бромид PBr_3 ; последний гидролизуетсся с образованием фосфористой кислоты и HBr .

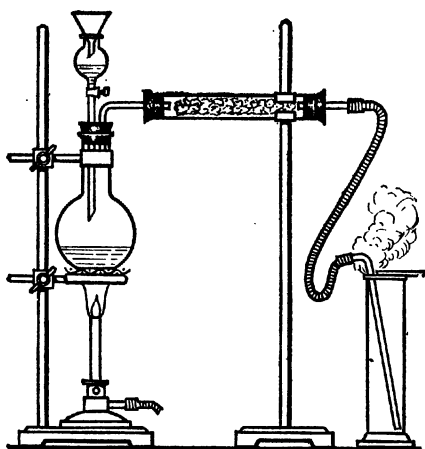


Рис. 211. Получение бромоводорода.

В колбу с бромидом калия приливают через капельную воронку разбавленную серную кислоту и осторожно нагревают. О наполнении цилиндра бромоводородом можно судить по тому, что горящая лучинка при внесении в цилиндр гаснет, а также по выделению белого «дыма» из отверстия цилиндра.

Когда цилиндр наполнится бромоводородом, медленно вынуть из него трубку, сейчас же закрыть цилиндр притертой пластинкой и, погрузив отверстием вниз в чашку с подкрашенной лакмусом водой, быстро сдвинуть стеклышко, как в опыте с хлороводородом (стр. 258).

Вода с силой врывается в цилиндр. Лакмус краснеет. На второй цилиндр с газообразным бромоводородом поставить цилиндр с аммиаком и вынуть стекла. Образуется густой дым бромида аммония. При плохой тяге для наполнения сосуда бромоводородом можно воспользоваться теми же предосторожностями, какие указаны при опытах с хлороводородом.

Чтобы получить раствор бромистоводородной кислоты, можно пропускать некоторое время бромоводород через склянку Тищенко с водой. К полученному раствору прилить раствор нитрата серебра, образуется желтоватый осадок бромида серебра, нерастворимый в кислотах, темнеющий на свету (стр. 267). При сливании растворов бромистоводородной кислоты или ее солей с раствором нитрата (или ацетата) свинца образуется белый осадок бромида свинца. В горячей воде бромид свинца хорошо растворим, из подкисленных уксусной кислотой горячих растворов он кристаллизуется в виде красивых белых игл.

Получать бромоводород взаимодействием жидкого брома с красным фосфором и водой в средней школе нет необходимости. Способ этот рассматривается в специальных руководствах.

Иод

СВОЙСТВА ИОДА

1) Пары иода. а) Несколько кристалликов иода поместить в колбу на 2—4 л, отверстие ее закрыть комком ваты. Колбу с иодом осторожно нагревать над пламенем горелки. Колба наполняется густыми фиолетовыми парами. При охлаждении пары оседают на

стенках колбы в виде блестящих кристалликов (т. I, стр. 300, возгонка иода).

б) Поместить в пробирку один кристаллик иода и очень осторожно нагревать, держа высоко над пламенем. Происходит испарение иода без плавления (встряхивать пробирку). Под конец нагреть сильнее, пока иод возгонится полностью. Прекратить нагревание — иод осаждается из паров. Пробирку с иодом сохранить для следующих опытов, закрыв ее пробкой.

2) Растворение иода. а) В несколько стаканов (колб) налить воды, спирта, эфира, четыреххлористого углерода CCl_4 или хлороформа CHCl_3 , бензола C_6H_6 , бензина и раствора (1 : 10) иодида калия. Во все стаканы всыпать по очень небольшому количеству иода, лучше предварительно истертого в ступке в мелкий порошок (растирать нужно под тягой), только в стакан с водой взять 0,5—1 г. Размешать хорошо стеклянными палочками. В воде иод малорастворим, раствор окрашивается в светло-желтый цвет. В спирте и эфире получается бурый раствор, в растворе иодида калия также получается бурый раствор (образование иодидов KI_n , где n от 3 до 9), в четыреххлористом углероде, хлороформе — фиолетовый, в бензоле — красный, в бензине — фиолетово-красный. Различие цветов зависит от образования соответствующих сольватов с растворителем.

Эфир, бензол и бензин огнеопасны, и во время опытов поблизости не должно быть огня.

б) Прибавить немного бензина или бензола к водному раствору иода и сильно взболтать. Дать отстояться. Иод почти полностью извлекается из воды органическим растворителем.

3) Вытеснение иода хлором и бромом. а) Немного мелких кристаллов иодида калия (или натрия) поместить в трубку с шариком посередине (рис. 212). К трубке присоединить небольшой прибор для получения хлора (стр. 232). Прибор установить под тягой.

Пропускать через трубку в течение 3—5 мин хлор, осушенный серной кислотой (стр. 235). Соль при действии хлора сейчас же чернеет от выделяющегося иода. Отделить промывную склянку от шариковой трубки и, присоединив резиновый баллон (т. I, стр. 177), продуть через трубку воздух, чтобы удалить по возможности весь хлор. После этого нагреть шарик сначала осторожно, потом сильнее. Шарик наполняется фиолетовыми парами выделившегося иода. Пары иода по охлаждению трубки садятся на ее стенках в виде кристаллов. Если до нагревания шарика не удалить из трубки хлор, в шарике образуются бурые пары, а на холодных частях трубки —

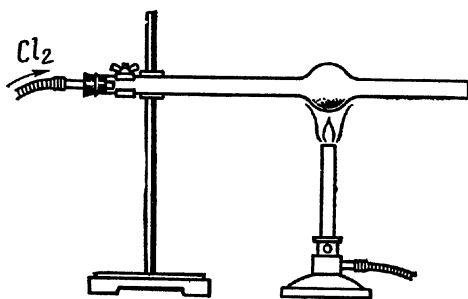


Рис. 212. Вытеснение иода хлором.

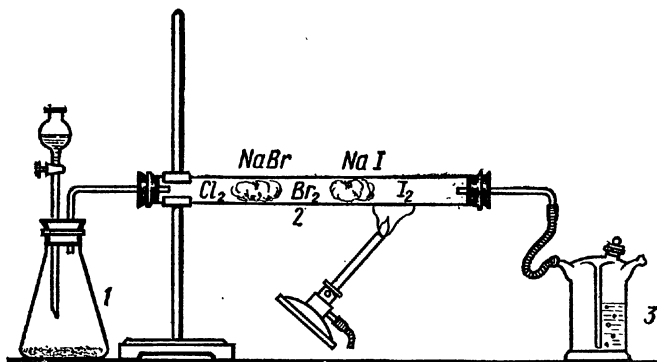


Рис. 213. Последовательное вытеснение галогенов:

1 — колба; 2 — трубка; 3 — склянка Тищенко.

желтый налет хлорида иода. Вместо шариковой трубки можно взять небольшую колбу, опустив в нее трубку, подводящую хлор. При плохой тяге следует принять меры к тому, чтобы избыток хлора не выходил в помещение (стр. 233).

б) В стакане с 5—10-процентным раствором иодида калия (или натрия) прилить немного хлорной воды, в другой стакан с таким же раствором — бромной воды (не допускать избытка последней, чтобы цвет выделившегося иода не маскировался бромом). Прилить в каждый стакан по несколько миллилитров бензола или хлороформа. Выделившийся иод почти полностью переходит в растворитель, окрашивая его в характерный цвет (стр. 279).

в) Последовательное вытеснение галогенов можно наглядно показать в приборе, изображенном на рисунке 213. Стеклообразную трубку диаметром 2—3 см и длиной около 40 см делят на три равные части и наносят метки карандашом для стекла. Против первой метки помещают комочек гигроскопической ваты, пропитанный концентрированным раствором бромид натрия или бромид калия и слегка высушенный (вата должна быть обязательно немного влажной). Против второй метки помещают такой же комочек ваты с иодидом натрия (или калия). Необходимо испытать, хорошо ли пропускают газы ватные тампоны, продувая воздух ртом.

В колбе 1 получается хлор действием концентрированной соляной кислоты на перманганат калия KMnO_4 (стр. 236). В склянке Тищенко 3 содержится концентрированный раствор едкой щелочи для поглощения избытка галогенов (можно поставить стакан со щелочью, в который опустить отводную трубку). Прибор выставляют на стол в собранном виде на белом фоне.

Перед демонстрацией опыта следует отделить прибор 1 от трубки 2 и под тягой прилить в колбу через воронку с краном немного соляной кислоты, чтобы колба наполнилась хлором. Когда выделение хлора прекратится, снова присоединить прибор к труб-

ке 2. При пропускании медленного тока хлора в трубке 2 появляется сначала желтый цвет (хлор), затем за первой ватной пробкой — бурый цвет (пары брома) и, наконец, за второй ватной пробкой после легкого прогрева трубки — фиолетовый цвет (пары иода). Чем больше диаметр трубки, тем отчетливее виден цвет хлора. Если не добиваться того, чтобы цвет хлора был виден, за неимением достаточно широкой трубки можно проделать опыт и с трубкой диаметром около 1 см.

4) Действие иода на крахмал. а) Для опытов нужно приготовить раствор крахмала (т. I, стр. 289). В большой сосуд с водой или стакан на 200—500 мл прилить несколько миллилитров приготовленного раствора крахмала и хорошо размешать. Прибавить затем 1—2 капли очень слабого, чуть желтоватого раствора иода в воде и снова взболтать. Раствор окрашивается. Если цвет получается очень темный, почти черный, то взято слишком много иода. Опыт следует повторить.

б) Прodelать тот же опыт, прилив вместо раствора иода несколько капель 10-процентного раствора иодида калия KI. Окрашивания не происходит, оно вызывается только свободным иодом. Для проверки прилить несколько капель хлорной или бромной воды — раствор окрашивается.

Иодид калия для опыта должен быть свежеприготовленный, так как при хранении он постепенно разлагается с выделением свободного иода и желтеет. Если имеется уже пожелтевший раствор, то можно прибавить к нему несколько капель раствора сернистой кислоты (стр. 296) и взболтать. Раствор обесцвечивается и вполне годится для опытов.

в) В пробирку или небольшой стакан со слабым раствором иода прилить немного крахмала. Образовавшийся синий раствор нагреть: синяя окраска исчезает, а при охлаждении вновь появляется.

5) Соединение иода с алюминием. Смешать равные объемы (по $\frac{1}{2}$ чайной ложки) порошков иода и алюминия, встряхивая их в сухой колбе. Высыпать смесь на кусок асбестового картона или жести. При помощи стеклянной трубочки или пипетки капнуть на смесь водой. Происходит бурная реакция с воспламенением. Образующийся иодид алюминия при высокой температуре разлагается с обильным выделением фиолетовых паров иода. На пластинке остается белый нелетучий оксид алюминия. Опыт следует проводить в вытяжном шкафу.

При плохой тяге или отсутствии ее опыт можно провести с небольшим количеством смеси в закрытых бутылках (Н. Г. Трибунский) или под колпаком (Ф. Д. Смирнов). В первом случае берут две широкогорлые литровые бутылки 1 и 7 (рис. 214) с резиновыми пробками и проходящими до дна стеклянными трубками, соединенными каучуком с зажимом 5. В пробку бутылки 7 вставлена толстая медная или алюминиевая проволока с приклеенной на конце железной чашечкой 8. В пробке бутылки 1, кроме длинной трубки 2, вставлена короткая стеклянная трубочка 3 для входа и выхода

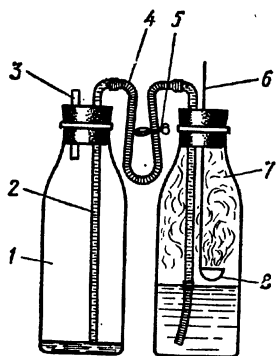


Рис. 214. Прибор для демонстрации взаимодействия воды с алюминием:

1 и 7 — бутылки; 2 — сифонная трубка; 3 — трубка для входа воздуха; 4 — резиновая трубка; 5 — зажим; 6 — проволока; 8 — железная чашечка.

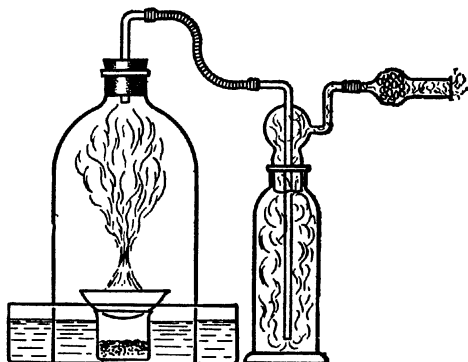


Рис. 215. Прибор для демонстрации взаимодействия воды с алюминием.

воздуха. В бутылку 7 наливают на $\frac{1}{3}$ объема воду. Вынув пробку с проволокой и чашечкой, насыпают в чашечку смесь иода с алюминием, наносят на смесь одну каплю воды и сразу же вставляют пробку обратно. При реакции вода вытесняется из бутылки 7 в бутылку 1, а по окончании реакции через некоторое время поднимается по трубке 2 обратно; зажим 5 на резиновой трубке должен быть открыт. Для лучшего поглощения иода в бутылку 7 вместо воды наливают раствор тиосульфата натрия.¹

Для проведения опыта под колпаком можно для устройства прибора взять обрезанную склянку (т. I, стр. 218) по возможности большого объема (рис. 215). Колпак ставят в большую чашку с раствором тиосульфата натрия и соединяют резиновой трубкой с поглощательной склянкой, в которую также налит раствор тиосульфата натрия. Для улавливания проскочивших паров к склянке дополнительно присоединяют шариковую трубку с углем. Смесь алюминия с иодом насыпают в небольшую фарфоровую чашку, которую ставят на стакан с песком, помещенный под колпаком.

ПОЛУЧЕНИЕ ИОДОВОДОРОДА. РЕАКТИВ НА ИОН I^-

1) В пробирку всыпать несколько кристалликов иодида калия KI или иодида натрия NaI . Прилить концентрированной серной кислоты H_2SO_4 . В первый момент выделяется бесцветный газ.

¹ Прибор можно использовать также для демонстрации взаимодействия брома с алюминием. Для этого к проволоке над чашечкой прикрепляют проволоочным колпачком небольшую пробирку 5, в которую наливают бром и бросают несколько кусочков алюминиевых стружек. Раствор тиосульфата натрия в этом случае не следует применять, а налить в бутылку воду. Испаряющийся при реакции бром растворяется и образует бромную воду, которую можно использовать для опытов.

Подуть в отверстие сосуда — образуется характерный для всех соединений галогенов с водородом белый «дым» из капелек кислоты. Но вскоре содержимое сосуда темнеет вследствие выделения фиолетовых паров свободного иода.

2) Соединение иода с водородом в присутствии катализатора можно демонстрировать при помощи прибора, изображенного на рисунке 216. В качестве катализатора берут уголь в виде мелких крупинок (можно взять таблетки карболена). Уголь помещают в небольшую U-образную трубку. Реакция идет хорошо при температуре немного выше 200°C . Нагревание производится при помощи глицириновой бани (стакан с глицирином, как на рисунке 216).

Грубо измельченный иод (около 1 г) помещают в трубку 1 диаметром 7—8 мм, длиной около 15 см. Над слоем иода должен оставаться свободный проход для газа. Для этого постукивают по трубке пальцами, чтобы разровнять иод.

К трубке 1 присоединяют прибор для получения водорода. Водород пропускают сначала через промывную склянку с небольшим количеством воды, а затем осушают хлоридом кальция CaCl_2 (склянка Тищенко или U-образная трубка, т. I, стр. 270).

Отводную трубку 2 вставляют в пробку склянки 3 на 100 мл. Сбоку пробки делают небольшой вырез для выхода газов. В склянку наливают немного воды, подкрашенной синим лакмусом. Конiec трубки 2 должен быть у самой поверхности воды, но не погружаться в нее.

Через прибор пропускают слабый ток водорода и нагревают глицин, следя за температурой по термометру. Затем слегка нагревают трубку с иодом.

Как только баня прогреется до 200°C или немного выше, жидкость в склянке 3 краснеет вследствие образования иодоводорода и окисления его в воде.

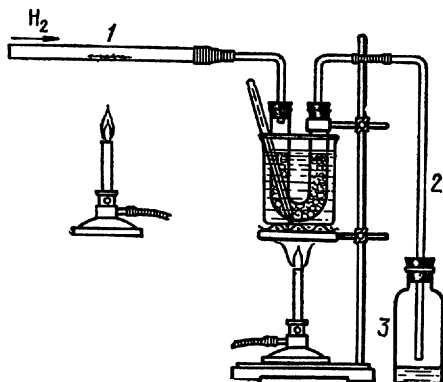


Рис. 216. Получение иодоводорода контактным способом:

1 — трубка с иодом; 2 — отводная трубка;
3 — склянка.

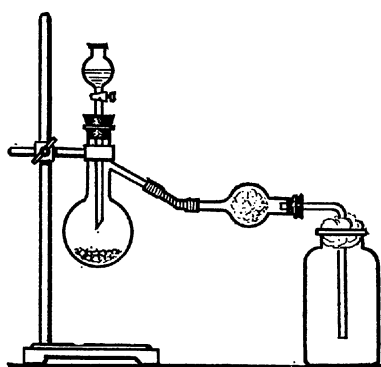


Рис. 217. Прибор для получения иодоводорода.

3) Проще получить иодоводород гидролизом иодида фосфора в приборе, изображенном на рисунке 217. В колбу Вюрца помещают около 4 г иода, растертого в тонкий порошок, и равное по объему количество порошка сухого красного фосфора, закрывают колбу и встряхиванием перемешивают вещества. Из капельной воронки добавляют по каплям воду. Для ускорения реакции колбу можно слегка подогреть. Чтобы задержать пары иода, к газоотводной трубке колбы присоединяют трубку с сухим красным фосфором. Заполнение можно считать законченным, когда из горла склянки появится туман иодистоводородной кислоты.

4) К раствору иодида калия KI приливают немного раствора нитрата серебра AgNO_3 . С осадком проделать те же опыты, что и с хлоридом и бромидом серебра (стр. 267 и 278). Все три опыта лучше проделать параллельно.

Фтор

СВОЙСТВА ФТОРОВОДОРОДА И ПЛАВИКОВОЙ КИСЛОТЫ

1) Действие паров фтороводорода на стекло. Для опыта можно взять свинцовую чашку, применяемую для анализа силикатов, или приготовить свинцовый кювет из листового свинца. Для этого вырезают из листа свинца кусок 20×20 см или 15×15 см и, загнув у него борта высотой около 5 см, прижимают углы к бортам, чтобы получилась коробка. В коробку помещают фторид кальция CaF_2 в порошке и приливают концентрированную серную кислоту H_2SO_4 (плотность 1,84).

На коробку кладут соответствующих размеров кусок стекла, покрытый слоем парафина или воска, на котором острым предметом нанесен какой-нибудь рисунок или надпись.

Парафин на стекло можно нанести кистью, но лучше погрузить стекло в расплавленный парафин. Для этого нужно приготовить из куска жести подходящих размеров неглубокую коробку. Расплавив в коробке парафин или воск, погрузить в него стекло. Затем, приподняв его из парафина проволочным крючком, взять за края и вынуть из ванны. Когда стечет избыток парафина, прислонить к чему-нибудь стекло и дать парафину застыть. Стекло с обеих сторон оказывается покрытым очень равномерным слоем парафина. С одной стороны парафин можно сейчас же соскоблить ножом, положив стекло на фильтровальную бумагу. Окончательно удалить парафин можно тряпкой, смоченной бензином (*осторожно! Дальше от огня!*).

Стекло не следует непосредственно класть на края свинцовой коробки, а лучше сделать прокладку из картона в виде рамочки, иначе при нагревании свинцовой ванны расплавится парафин. Пары плавиковой кислоты ядовиты. Поэтому опыт следует произ-

водить под тягой (!). Свинцовую ванну поместить на кольце штатива повыше, чтобы дно ее находилось на расстоянии около 10 см от конца небольшого пламени горелки. В ванну насыпать 2—3 чайные ложки фторида кальция, прилить столько концентрированной серной кислоты, чтобы при размешивании палочкой, проволокой и т. п. получилась кашицеобразная масса. На края ванны положить картонную рамочку, а на нее стекло с рисунком или надписью парафином вниз и зажечь небольшое пламя горелки. Не следует слишком сильно нагревать ванну, чтобы не расплавить парафин на стекле. Реакция хорошо идет и при очень слабом нагревании. Через 5—10 мин погасить горелку, снять стекло, а в ванну налить холодной воды, чтобы прекратилась реакция. Соскоблить большую часть парафина ножом, а остатки удалить тряпкой или ватой, смоченной бензином (*дальше от огня!*). Для удаления парафина можно погрузить стекло в горячую воду. Показать учащимся получившийся на стекле матовый рисунок или надпись.

За неимением свинцовой ванны для опыта можно воспользоваться фарфоровой или стеклянной чашкой, блюдечком и т. п., покрытыми изнутри слоем парафина или воска. Для этого в чашку вливают расплавленный парафин, а затем постепенно выливают при поворачивании чашки. В остывшую чашку насыпают порошок фторида кальция CaF_2 , приливают столько концентрированной серной кислоты, чтобы при размешивании получилась жидкая кашица, затем на чашку помещают покрытое парафином стекло с нанесенной надписью (*тяга!*).

Опыт идет без подогревания и требует больше времени. Но через полчаса обычно получается достаточно отчетливая надпись.

Глава XII

СЕРА И ЕЕ СОЕДИНЕНИЯ

Сера

1) **Получение призматических кристаллов серы.** а) Получение призматических кристаллов серы было описано на странице 210. На уроке, посвященном свойствам серы, можно опыт повторить, чтобы обратить внимание учащихся на форму призматических кристаллов и на их цвет. Полученные кристаллы оставляют в классе на несколько дней, чтобы учащиеся могли наблюдать постепенное изменение кристаллов при переходе серы из призматической в ромбическую.

Призматические кристаллы можно приготовить перед уроком. На уроке же только показать их. Кроме того, следует показать уже пожелтевшие кристаллы, полученные раньше.

б) Чтобы показать, что призматические кристаллы образуются и при выделении из раствора при условии, если кристаллизация идет выше $95,6^{\circ}\text{C}$ (точка перехода,) можно воспользоваться толуолом, в котором при обыкновенной температуре растворимость серы невелика, при температуре же кипения (111°C) значительно больше.

Толуол горюч, и поэтому сосуд, в котором производят опыт (пробирка или колбочка на 50—100 мл), должен быть закрыт пробкой, в которую вставлена трубка длиной около 25—30 см. Она служит обратным холодильником (рис. 218).

В пробирку или колбочку наливают около $\frac{1}{3}$ объема толуола, прибавляют несколько граммов серы, лучше измельченной черенковой, закрывают пробкой с трубкой, нагревают до кипения при взбалтывании, пока сера перестанет растворяться. При медленном охлаждении сера выделяется из раствора в виде иглообразных призм, которые вырастают иногда до нескольких сантиметров в длину. Кристаллы, образо-

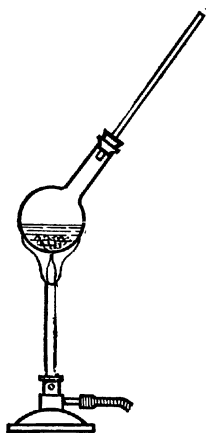


Рис. 218. Растворение серы в толуоле.

вавшие выше точки перехода в виде призм, продолжают расти в той же форме и ниже 95,5 °С.

Вместо толуола можно воспользоваться анилином, который кипит при 184 °С. Следует иметь в виду, что пары анилина ядовиты. Поэтому лучше производить опыт с толуолом. Толуол можно применять вместо анилина (т. I, стр. 128) и для мытья посуды после опытов с серой.

2) Получение ромбических кристаллов серы. Наилучшим растворителем для серы является сероуглерод CS_2 , но вследствие сильной ядовитости и огнеопасности он в школе не применяется. Поэтому кристаллы ромбической серы получают также из раствора ее в толуоле.

Раствор серы в толуоле готовят в колбочке также при нагревании. После того как раствор совершенно остынет и выделятся призматические кристаллы, нужно осторожно слить раствор на часовое стекло или в плоский сосуд так, чтобы не попали призматические кристаллики, прикрыть бумагой и оставить на сутки. После испарения толуола выпавшие мелкие кристаллы серы рассматривают с помощью лупы.

3) Получение пластической серы. В большую пробирку или колбочку поместить несколько кусков (до $\frac{1}{3}$ пробирки) чистой черенковой серы. Порошкообразная сера (серный цвет) менее пригодна, так как содержит примеси, и застывшая сера получается темного цвета. Захватить пробирку держалкой (т. I, стр. 73) или зажимом, снятым со штатива, и очень осторожно нагревать над пламенем горелки, пока сера расплавится и превратится в прозрачную желтую легкоподвижную жидкость. При нагревании вначале слышится слабый треск. Это растрескиваются кусочки серы, которая плохо проводит тепло. Держать пробирку следует не в самом пламени, а над пламенем, все время взбалтывая, и, если у стенок сера начнет несколько густеть, отклонять пробирку от горелки.

Обратить внимание на цвет расплавленной серы и на ее подвижность при встряхивании пробирки, а затем начать нагревать более сильно, и, когда сера вся загустеет, перевернуть пробирку вверх дном. Сера не выливается.

Затем нагреть еще сильнее и, когда сера начнет кипеть, вылить около половины ее тонкой струей в большой стакан с холодной водой. Делать при этом рукой круговые движения, чтобы нити серы ложились правильными кругами (рис. 219, а).

Если при выливании сера вспыхнет, можно продолжать выливание, а затем прикрыть отверстие пробирки крышкой от тигля, куском картона и т. п.

Чтобы удобнее было вынимать полученную пластическую серу из воды и чтобы нити не слипались между собой, можно поместить в стакан большую воронку, на которую и «наматывать» нити пластической серы, образующиеся при выливании расплавленной серы в воду (рис. 219, б).

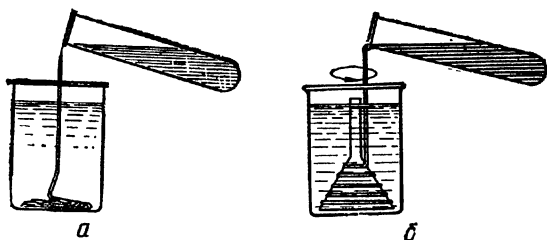


Рис. 219. Получение пластической серы.

Укрепив пробирку с оставшейся серой в штативе, чтобы сера могла медленно остывать, слить воду из стакана, достать полученную пластическую серу и раздать часть ее по кусочкам учащимся. Остальную часть пластической серы оставить до следующего урока, чтобы потом показать твердую аморфную серу.

Обратить внимание учащихся, что остывающая в пробирке сера постепенно претерпевает те же изменения, что и при нагревании, но в обратном порядке: сначала загустевает, затем делается жидкой легкоподвижной и прозрачной и, наконец, затвердевает в призматическую серу.

Когда сера делается жидкой, можно часть ее вылить в стакан с водой. При быстром охлаждении сера, не нагретая до кипения, не делается пластической, а затвердевает.

На лабораторных занятиях учащиеся могут проделать опыт так же, как указано выше, но взяв вместо большой пробирки обыкновенную.

4) Соединение серы с водородом. Опыты можно производить в пробирке средней величины. В пробирку поместить несколько кусочков серы и вставить пробку с двумя трубками диаметром 5—6 мм (рис. 220). Одну трубку соединить с прибором для получения водорода, другую погрузить в стакан с водой. Испытать, чистый

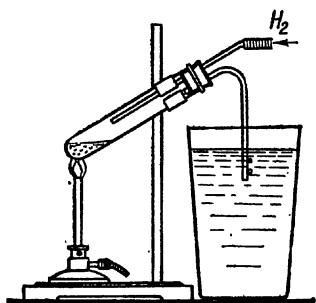


Рис. 220.
Синтез сероводорода.

ли водород идет из прибора. Присоединить каучук от водородного прибора к трубке, вставленной в пробирку с серой. Пустить через прибор сильный ток водорода и, когда можно будет предположить, что весь воздух вытеснен, уменьшить ток газа так, чтобы можно было считать пузырьки, проходящие через воду в стакане. Затем нагреть серу (сначала осторожно!) до слабого кипения и поддерживать ее в таком состоянии некоторое время, стараясь, чтобы она не очень сильно возгоралась вверх по пробирке. Вода довольно скоро приобретает запах сероводорода.

Вместо воды можно взять раствор какой-нибудь свинцовой соли, тогда в стакане появится черный осадок. Вместо пробирки для опыта можно воспользоваться трубкой с шариком посередине (рис. 189).

Сероводород

ПОЛУЧЕНИЕ СЕРОВОДОРОДА

1) Обычный способ получения сероводорода — действие кислоты на сульфид железа. Кислоту можно взять серную (1 : 5) или соляную (1 объем кислоты плотностью 1,12 на 2 объема воды). Прибором для получения сероводорода может служить любой прибор, годный для получения водорода, но удобнее всего приборы, изображенные в томе I (стр. 256, рис. 267, 1, 2 и 6; стр. 261, рис. 277).

Сероводород ядовит, имеет неприятный запах, который чувствуется даже при ничтожном содержании этого газа в воздухе. Получение сероводорода и опыты с ним следует проводить под тягой. Учащиеся опыты с газообразным сероводородом не проводят: достаточно выполнить некоторые опыты с сероводородной водой.

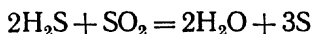
2) За неимением сульфида железа для получения сероводорода можно воспользоваться сульфидом натрия Na_2S . Можно также получить сероводород нагреванием серы с парафином или с канифолью. Вещества берут примерно в равных по объему количествах: сера — в порошке, парафин — мелкими стружками, канифоль — кусочками. Нагревают вещества в пробирке или в небольшой колбочке с газоотводной трубкой. Регулируя нагрев, получают ровный ток сероводорода. Реакция идет с образованием угля. Уголь получается рыхлый, его легко удалить из сосуда по окончании опыта. Этот способ получения сероводорода может быть применен в школьной практике при ознакомлении с его свойствами.

СВОЙСТВА СЕРОВОДОРОДА

1) **Горение сероводорода.** К прибору для получения сероводорода присоединить изогнутую и слегка оттянутую трубку, конец которой направлен вверх. Пустить из прибора ток газа, но, прежде чем зажигать его, выждать, пока весь воздух из прибора будет вытеснен (*испытание!*). Смесь сероводорода, как и всякого горючего газа, с воздухом при зажигании взрывает. Зажечь выходящий из трубки сероводород. Над пламенем поддержать холодную сухую колбу (или стакан): она покроется росой от выделяющейся воды. Поднести к пламени смоченную водой лакмусовую бумажку: она окрасится выделяющимся оксидом серы SO_2 в красный цвет. Ввести в пламя дно холодной фарфоровой чашки или блюдечка. На фарфоре появится желтое пятно серы, выделяющейся при неполном (вследствие охлаждения) сгорании сероводорода.

При плохой тяге, вытесняя из прибора воздух, пропускать избыток газа непосредственно за окно или в промывную склянку с концентрированным раствором едкого натра (1 : 5), а затем производить опыты, как указано выше.

2) **Взаимодействие сероводорода с оксидом серы SO₂.** Опыты иллюстрируют один из случаев образования свободной серы в природе. Реакция между газами идет только в присутствии паров воды как катализатора. Поэтому опыт можно ставить либо с влажными газами, либо брать сухие газы и затем вводить воду. В реакции на две молекулы сероводорода приходится одна молекула оксида серы (IV):



Поэтому сероводорода нужно вводить в сосуд примерно в два раза больше, чем оксида серы SO₂.

Опыт с влажными газами можно демонстрировать, смешивая газы, собранные в цилиндрах. Цилиндры до урока заполняют газами (*под тягой!*) по способу вытеснения воздуха и выставляют на демонстрационный стол закрытые стеклами. Способы получения сероводорода и оксида серы SO₂ указаны на страницах 289 и 292.

Цилиндр с сероводородом следует взять если и не в два раза, то во всяком случае больше, чем цилиндр с оксидом серы (IV). За неимением цилиндров можно взять банки или бутылки с широким горлом. Внутреннюю поверхность сосудов полезно предварительно слегка смочить водой (влажным комком ваты или бумаги).

Поставить сосуд с сероводородом отверстием на сосуд с оксидом серы, вынуть стекла и, прижав отверстие одного сосуда к отверстию другого, несколько раз перевернуть их.

В сосудах (иногда не сразу) появляется дым из мельчайших частичек серы, которая садится на стенки.

По окончании опыта сейчас же наполнить сосуды водой, так как иначе осевшую на стенки серу потом будет очень трудно удалить. Вымыть сосуды щеткой сразу же после урока.

Опыт можно упростить, если оксид серы SO₂ получать в том же сосуде (склянке или колбе), в котором будет демонстрироваться опыт (рис. 221).

В колбу или склянку на 2—3 л налить около 50 мл насыщенного раствора сульфита натрия Na₂SO₃. Затем под тягой прилить около 50 мл серной кислоты и, закрыв сосуд стеклом, выждать, пока он наполнится больше чем на половину оксидом серы SO₂ (можно испытать горячей лучинкой). После этого опустить почти до дна сосуда газоотводную трубку от аппарата для получения сероводорода (стр. 289) и некоторое время пропускать сильный ток сероводорода. В склянке появляется дым из мельчайших частичек серы, которая садится на стенки.

Если нет хорошей тяги, то в горло сосуда следует вставить пробку с двумя отверстиями. В одно отверстие вставляют трубку, соединяющую сосуд с аппаратом для получения сероводорода, в другое отверстие — трубку, соединяющую сосуд с промывной

склянкой Тищенко (рис. 221). В склянку наливают концентрированный раствор едкого натра для поглощения избытка газов.

Если желательно показать роль воды как катализатора при этой реакции, в сосуд сначала собирают сухие газы, а затем вливают воду. Сероводород осушают, пропуская его через склянку Тищенко для сухих веществ (т. I, стр. 273) или осушительную колонку (т. I, стр. 272), наполненную хлоридом кальция. Оксид серы SO_2 получают по способу, указанному на странице 295, и осушают, пропуская его через концентрированную серную кислоту. Осушенные газы направляют в большую колбу или бутылку. При смешивании их реакция не наступает, но при вливании в сосуд нескольких капель воды на стенках появляется желтый налет серы.

В простейшем оформлении опыт можно показать в двух пробирках.

3) Получение сероводородной воды и сульфидов металлов.

К сероводородному прибору присоединить стеклянную трубку, погрузить ее до дна в склянку с 100—150 мл холодной воды и пропускать (*под тягой!*) в течение 5—10 мин сильный ток сероводорода.

Влить понемногу полученной сероводородной воды в небольшие стаканчики, в которых находятся нейтральный (фиолетовый) раствор лакмуса (лакмоида) — индикатор краснеет; магний в порошке — получается водород, а также растворы солей: медного купороса $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ — получается черный осадок; ацетата свинца $\text{Pb}(\text{H}_3\text{C}_2\text{O}_2)_2$ — черный осадок; нитрата кадмия $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ — желтый осадок; хлорида сурьмы SbCl_3 (при растворении ее в воде прибавить столько концентрированной соляной кислоты, чтобы получился прозрачный раствор); железного купороса $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (раствор должен быть свежеприготовленный и подкисленный 1—2 каплями серной кислоты 1 : 5) — осадка не образуется; сульфата цинка ZnSO_4 (раствор подкислить, как и раствор железного купороса) — осадка также не образуется; сульфата марганца MnSO_4 (подкислить, как и предыдущий) — осадка не образуется.

Если растворы железного купороса, сульфата цинка и сульфата марганца не подкислить, могут образоваться осадки.

За неимением указанных солей можно, конечно, взять и другие соли металлов, дающих характерные осадки.

В стаканы с растворами солей, в которых не получилось осадка от сероводорода, следует затем прилить раствор сульфида натрия Na_2S , который можно получить (до урока или на уроке), пропуская сероводород в раствор едкого натра NaOH (1 : 10) или приливая

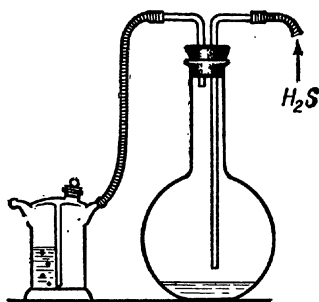


Рис. 221. Выделение серы при реакции между сероводородом и оксидом серы SO_2 .

небольшое количество раствора едкого натра к сероводородной воде. Сульфид натрия дает с солями железа черный, с солями цинка белый, с солями марганца розоватый осадок. Для опытов следует иметь запас сероводородной воды. Для растворения газа удобно пользоваться прибором, изображенным на странице 242 (рис. 180, б).

Оксид серы SO_2

ПОЛУЧЕНИЕ ОКСИДА СЕРЫ SO_2 И СЕРНИСТОЙ КИСЛОТЫ

Опыт растворения оксида серы SO_2 в воде можно произвести таким же образом, как растворение хлороводорода (стр. 258): газ собирают по способу вытеснения воздуха в цилиндр, который затем открывают под водой. Опыт требует сравнительно мало времени, и его вполне возможно соединить с опытом сжижения оксида серы (IV), воспользовавшись одним и тем же прибором для его получения.

1) Получение оксида серы SO_2 действием серной кислоты на медь и опыты с ним. В колбу на 250—500 мл поместить около 30 г медных стружек. Колбу укрепить в штативе (рис. 222), подложив хорошую сетку. В подобранную к колбе пробку вставить длинную воронку и газоотводную трубку, к которой присоединить склянку Тищенко или другую промывную склянку (т. I, стр. 270) с концентрированной серной кислотой. К склянке присоединить на длинной резиновой трубке стеклянную трубку, которую погрузить, как при собирании хлороводорода (стр. 258), в цилиндр для собирания газов. Цилиндр прикрыть стеклянной пластинкой. Опыт проводить в вытяжном шкафу.

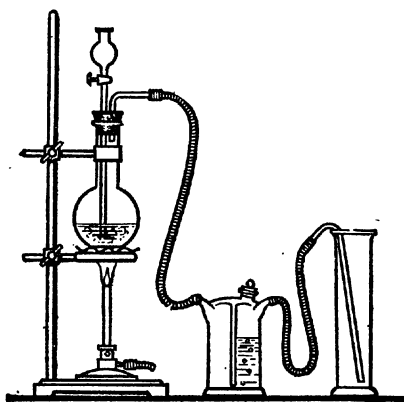


Рис. 222. Получение оксида серы SO_2 .

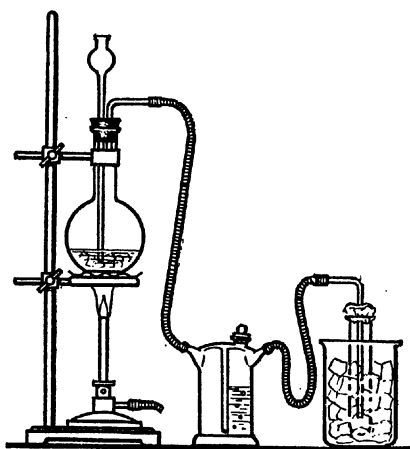


Рис. 223. Сжижение оксида серы SO_2 .

Для сжижения оксида серы SO_2 его можно пропускать в пробирку, охлаждаемую смесью снега с солью (рис. 223). Пробирку лучше взять поуже и подлиннее (например, диаметром 1,25 см и длиной 15 см).

Для смеси снега с солью удобнее всего взять соответствующих размеров батарейный стакан (т. I, стр. 116) или банку. Смесь готовят на уроке, снег же или измельченный лед следует приготовить перед самым уроком, удобнее всего в деревянной чашке (т. I, стр. 74), которую прикрывают дощечкой. Для измельчения льда завернуть куски его в мешок или в грубый холст и разбивать деревянным молотком. Для отделения кусков от большой глыбы льда можно воспользоваться гвоздем или шилом, по которому ударяют молотком. Таким способом лед раскалывается легче, чем топором или ножом. Чем мельче растолочь лед, тем лучше. Соль для смеси можно взять техническую. Для смешивания удобно воспользоваться большой деревянной ложкой или деревянной лопаткой.

Влить в колбу концентрированную серную кислоту (плотность 1,84; на 30 г меди взять 70 мл кислоты).

Начать осторожно нагревать колбу на небольшом пламени, постепенно усиливая нагревание (иначе колба может дать трещину). Выделение газа начнется не сразу, а только после того, как кислота достаточно прогреется. При неосторожном нагревании реакция может пойти очень бурно. Кислота сильно пенится, а пена поднимается до газоотводной трубки. При этом может выбросить трубку и даже разорвать колбу. Поэтому во время опыта необходимо внимательно следить за током газа, уменьшая пламя или отставляя горелку в том случае, если реакция начинает идти слишком энергично, и подогревая, когда реакция ослабевает. При соблюдении всех вышеуказанных предосторожностей опыт совершенно безопасен¹.

Через некоторое время, после того как начнется выделение газа, испытать, наполнился ли цилиндр (чистый оксид серы SO_2 не дымит на воздухе, тогда как газ, получающийся при горении серы, дымит вследствие образования одновременно некоторого количества оксида серы SO_3). Для этого опустить в отверстие цилиндра зажженную лучинку. Если она гаснет у самого отверстия цилиндра, значит, он наполнился. Отставив горелку, перенести газоотводную трубку во второй (запасной) цилиндр, а первый быстро закрыть притертой стеклянной пластинкой и погрузить отверстием вниз в большую чашку с водой, подкрашенной фиолетовым или синим лакмусом. Отняв стекло под водой, покачивать цилиндр из стороны в сторону. Цилиндр постепенно заполняется почти доверху, но медленнее, чем в опыте с хлороводородом. Если опыт не удался, повторить его со вторым цилиндром.

¹ Если взята круглодонная колба, ее можно нагревать на спиртовке без сетки, однако следует соблюдать еще большую осторожность: не касаться фитилем дна колбы, не держать спиртовку в руке.

Окончив опыт растворения оксида серы (IV), быстро приготовить смесь льда и соли, для чего всыпать в стакан или банку по очереди две ложки снега или толченого льда и одну ложку соли, каждый раз хорошо перемешивая. Наполнив сосуд доверху, сделать в середине смеси отверстие, вставить в смесь приготовленную пробирку и опустить в нее газоотводную трубку. Трубку обернуть клочком ваты, которым закрыть пробирку (рис. 223). Конец трубки должен на 3—4 см не доходить до дна пробирки. Смесь вокруг пробирки следует обмять палкой.

Поставив под колбу горелку, осторожно возобновить нагревание колбы. Через 10 мин в пробирке собирается уже несколько миллилитров жидкого оксида серы SO_2 . Вынутая из охлаждающей смеси жидкость вскоре начинает кипеть.

Пробирку с жидким оксидом серы (IV) можно закрыть пробкой с газоотводной трубкой, которую соединить с промывной склянкой, содержащей раствор едкого натра NaOH (1 : 5), или с хлоркальциевой трубкой, наполненной натронной известью (рис. 224). В таком виде пробирку с кипящей жидкостью показать учащимся. Если поставить пробирку на ладонь, то кипение усиливается.

При хорошей тяге оставшуюся в пробирке жидкость можно затем влить в стаканчик с 2—3 мл воды. Вода сейчас же замерзает в снегообразную массу.

Собирать оксид серы SO_2 в цилиндр можно и без промывной склянки с серной кислотой. Но для опыта сжижения этого оксида пропускать его через серную кислоту необходимо, так как иначе увлекаемые током газа из колбы мелкие брызги кислоты собираются в пробирке вместе с сжижаемым газом. Кроме того, по пузырькам в промывной склянке легче наблюдать выделение газа.

По окончании опыта необходимо следить, чтобы жидкость из промывной склянки не перебросило в колбу (если не взята склянка Тищенко); как только прекратится выделение газа, пробку из колбы нужно сразу же вынуть.

Колбу берут таких размеров, чтобы серная кислота наполняла колбу немного меньше, чем до половины (можно соответственно увеличить количество меди и кислоты), так как при небольшом количестве жидкости стенки выше уровня последней сильно нагреваются и от брызг жидкости колба может лопнуть. Если нагревание ведется на спиртовке, то в этом случае от горячей кислоты может лопнуть и спиртовка. Чтобы горящий спирт не мог разлиться, спиртовку следует поставить на тарелку, фарфоровый поддонник и т. п.

Для сжижения оксида серы SO_2 при плохой тяге можно воспользоваться U-образной трубкой, которую присоединяют к поглотительному сосуду (см. выше). U-образную трубку можно взять готовую, употребляемую для сушения газов. Вместо медных стружек можно применить латунные или кусочки листовой меди, которую нарезают ножницами. Ни в каком случае не следует брать медные опилки, с которыми реакция идет слишком бурно.

При плохой тяге для собирания газа следует воспользоваться сосудом, закрытым пробкой, с двумя газоотводными трубками: одной — длинной, приводящей, другой — короткой, соединенной с трубкой, выведенной за окно, или с поглотительным прибором (например, склянка Тищенко с едким натром или промывные склянки, т. I, стр. 270).

Из колбы, в которой шла реакция получения оксида серы SO_2 , нужно по охлаждению до комнатной температуры слить всю жидкость и прилить в колбу воды. Когда отстоится муть, в колбе оказывается синий раствор образовавшегося при реакции сульфата меди.

В небольших количествах оксид серы SO_2 можно получить в пробирке с длинной предохранительной трубкой (рис. 225).

Собирают газ в пробирку, небольшие склянки или тут же растворяют его в воде. Однако и при работе с такими количествами необходимо вести опыты под тягой или пользоваться поглотителями, отводом избытка газа за окно и т. д.

Чтобы учащиеся запомнили, что при реакции между медью и кислотами водород не выделяется, можно до вышеописанного опыта поставить опыт исследовательского характера: нагреть несколько стружек меди с несколькими каплями концентрированной серной кислоты. Опыт с горящей лучинкой убеждает учащихся, что не только не происходит вспышки, как при выделении водорода, но лучинка гаснет от выделяющегося оксида серы SO_2 , который они вскоре обнаруживают по запаху. Когда пробирка, в которой шла реакция, совершенно остынет, выливают содержимое в фарфоровую чашку с водой. Пробирку сейчас же вымыть под краном.

Нагревают чашку с раствором до кипения, помешивая жидкость стеклянной палочкой: жидкость синее, так как образовавшийся безводный сульфат меди присоединяет воду. Отфильтровывают полученный раствор и, сгустив его, выкристаллизовывают из него соль $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

2) Получение оксида серы SO_2 действием серной кислоты на сульфит натрия или тиосульфат натрия. Получение сернистой кислоты. Получение оксида серы (IV) с помощью меди и серной кислоты приходится показывать вследствие важности для курса самой реакции; в лабораторной же практике, например, для приготовления раствора сернистой кислоты, а также и для последую-



Рис. 224.
Прибор для
жидкого ок-
сида серы
 SO_2 .

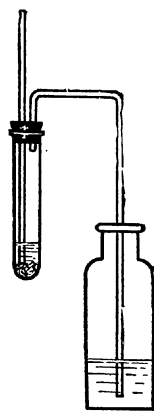


Рис. 225. Полу-
чение оксида се-
ры SO_2 в про-
бирке и раство-
рение его в воде.

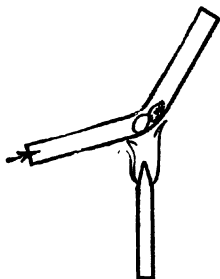
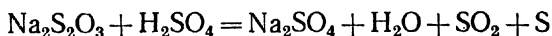


Рис. 226. Обжиг пирита.

ших опытов с оксидом серы SO_2 пользуются реакцией между концентрированной серной кислотой и сульфитом натрия Na_2SO_3 в порошке (или гидросульфитом натрия NaHSO_3). Реакция идет очень спокойно при обыкновенной температуре и не требует никаких особых предосторожностей. Выделение тепла очень небольшое, так что опыт можно вести в любом, даже в толсто-стенном, сосуде. Для приливания кислоты удобна капельная воронка с краном.

Порошок соли насыпают в сосуд слоем в несколько сантиметров и ток газа регулируют приливанием кислоты. Вместо сухой соли можно брать ее насыщенный раствор.

Вместо сульфита натрия можно взять тиосульфат натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Реакция идет с выделением свободной серы:



Для получения раствора сернистой кислоты газ пропускают в склянку с водой через опущенную до дна склянки трубку.

При плохой тяге необходимо закрыть сосуд пробкой с двумя вставленными в нее трубками (одна — доходящая до дна сосуда, другая — для отвода избытка газа за окно, в поглотительный сосуд и т. п.).

3) Получение оксида серы SO_2 окислением серы. Оксид серы (IV) получается также при сильном нагревании серы, смешанной с оксидом марганца MnO_2 . На 12 г оксида марганца в порошке берется 9 г порошкообразной серы. Сильно нагревают немного смеси в пробирке. Образующийся оксид серы SO_2 обнаруживается по запаху, по покраснению бумажки, смоченной раствором фуксина.

Этот способ можно применять для получения оксида серы (IV) при изучении его свойств.

4) Обжиг пирита. Широкую стеклянную трубку (диаметр 8—10 мм) согнуть, как на рисунке 226, и поместить в изгиб несколько кусочков железного колчедана FeS_2 (пирит). Накаливать пирит на горелке, держа трубку в таком положении, как на рисунке 226. Воздух поступает в трубку снизу, а сверху выходит образующийся оксид серы SO_2 . К концу трубки поднести влажную синюю лакмусовую бумажку, которая сейчас же краснеет. Над кусочками пирита, если трубку отклонить от горелки, видно небольшое голубоватое пламя горящей серы. Можно трубку и не изгибать, а укрепить наклонно.

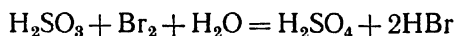
СВОЙСТВА ОКСИДА СЕРЫ SO_2 И СЕРНИСТОЙ КИСЛОТЫ

Для опытов можно воспользоваться полученным в предыдущих опытах раствором оксида серы SO_2 в воде.

1) Кислотные свойства раствора оксида серы SO_2 в воде. Налить в стакан или в пробирку раствор лакмуса, в другой стакан (про-

бирку) всыпать немного порошка (или стружки) магния. Прилить в оба сосуда раствор сернистой кислоты: лакмус краснеет, магний реагирует с кислотой с выделением водорода.

2) **Окисление сернистой кислоты в серную (восстановительное действие сернистой кислоты).** Налить в стакан (пробирку) немного не очень концентрированного раствора брома в воде. Прилить сернистой кислоты. Происходит обесцвечивание:



К раствору сернистой кислоты в отдельной пробирке прилить сначала раствор хлорида или нитрата бария: нерастворимый осадок не образуется. После приливания бромной воды к бесцветному раствору вновь прилить раствор бариевой соли: выпадает осадок сульфата бария, нерастворимый в соляной и азотной кислотах.

Вместо бромной воды можно взять раствор иода в растворе иодида калия KI. Раствор также обесцвечивается.

3) **Реакция между сернистой кислотой и сероводородом (окислительное действие сернистой кислоты).** Налить в пробирку немного сероводородной воды и прибавить раствор сернистой кислоты. Выделяется свободная сера (см. также стр. 290).

4) **Белящее действие оксида серы SO_2 и сернистой кислоты.** а) К не очень концентрированному раствору красного фуксина (т. I, стр. 290) в пробирке или стакане прилить раствор сернистой кислоты или пропустить через раствор оксид серы SO_2 . Через некоторое время окраска фуксина обесцвечивается (образование бесцветной фуксиносернистой кислоты).

Если бесцветный раствор нагреть до кипения, то окраска вновь появляется. Это доказывает, что краска не была разрушена, как при белении хлором, а образовала с оксидом серы SO_2 бесцветное соединение.

Кроме фуксина, можно показать обесцвечивающее действие оксида серы (IV) на экстракте из синей капусты. Экстрактом, полученным слабым нагреванием измельченной капусты с водой, пропитывают бумажку. Влажную бумажку держать над горящей серой.

б) **Обесцвечивание цветов.** Для опыта берут фиалки, незабудки, пион, синий ирис, примулу и некоторые другие цветы. Но далеко не всякий цветок хорошо обесцвечивается оксидом серы SO_2 . Так, например, красные гвоздики, герани для опыта малопригодны. Поэтому имеющиеся цветы необходимо предварительно испытать.

Смочить цветок водой и вставить черенком в трубку, укрепленную вертикально в большой пробке, или в небольшую мензурку и т. п. Рядом поместить тигелек или крышку от тигля с зажженной серой (подержать щипцами в пламени горелки) и все прикрыть колоколом или склянкой с обрезанным дном (рис. 227, а). Через некоторое время цветок обесцвечивается.

За неимением колокола можно просто держать цветок над горящей серой. Можно опустить цветок на нитке в колбу с концентри-

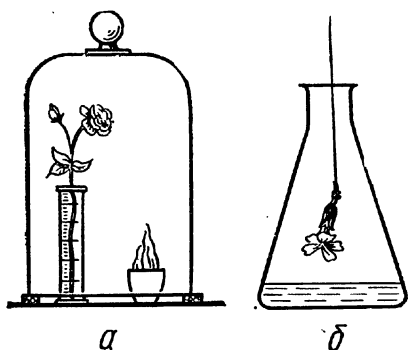


Рис. 227. Беление цветов оксидом серы SO_2 .

рованным раствором сернистой кислоты (рис. 227, б).

Действию оксида серы SO_2 на цветы мешает покрывающий лепестки слой воска. Поэтому рекомендуется погрузить предварительно цветок на короткое время в эфир, который растворяет воск. Цветок после этого белится быстро и ровно.

К цветку вновь возвращается цвет, если его погрузить в банку с хлором. Затем окраска опять постепенно пропадает вследствие окисления.

в) *Беление шелка.* Несколько ниток желтого шелка-сырца связать в небольшой рыхлый пучок и привязать к длинной нитке. Большую склянку на 3—4 л наполнить оксидом серы SO_2 (полученным, например, действием серной кислоты на сульфит натрия, стр. 295). Смочить шелк водой и, опустив в склянку с газом, закупорить склянку таким образом, чтобы пробка прижала нитку, к которой привязан пучок шелка. Последний должен висеть приблизительно в середине склянки. Оставить склянку в классе, чтобы учащиеся могли следить за ходом беления. Через несколько дней некоторые нитки уже начинают белеть. Весь пучок обесцвечивается не раньше как через неделю.

Вместо шелка можно произвести беление соломы (например, ржаной), но процесс в этом случае идет еще медленнее.

Оксид серы SO_3

ПОЛУЧЕНИЕ ОКСИДА СЕРЫ SO_3 КОНТАКТНЫМ СПОСОБОМ.

СВОЙСТВА ОКСИДА СЕРЫ SO_3

В школьных условиях для контактного окисления оксида серы SO_2 пользуются доступными катализаторами: оксидом железа Fe_2O_3 , оксидом хрома Cr_2O_3 , а при наличии ванадата аммония — оксидом ванадия V_2O_5 . В простейшем случае, особенно при отсутствии тяги, показывают только образование тумана из капелек серной кислоты с использованием в качестве катализатора железной проволоки.

Спираль из проволоки накаливают в пламени горелки и быстро вносят в банку с раствором сернистой кислоты. Вокруг спирали после нескольких накаливаний в банке появляется облачко белого дыма (рис. 228, а). Проволока не должна быть слишком тонкая,

так как она быстро остывает, а толстую трудно прогреть. Лучше всего, если есть проволока толщиной около 0,5 мм.

Опыт дает значительно лучший результат, если железную проволоку накаливать электрическим током. Для опыта берется банка на 1—2 л. В пробку, закрывающую банку, вставляют две толстые проволоки (медные или из другого металла), как показано на рисунке 228, б.

К концам проволок, находящимся внутри банки, присоединяют спираль из железной или из стальной проволоки (удобна балалаечная струна). Наружные концы присоединяют через реостат со скользящим контактом (на 40—60 ом) к осветительной сети. Реостат сначала ставят на полное сопротивление, а затем во время опыта сопротивление постепенно уменьшают, пока железная спираль не накалится докрасна (при более сильном накаливании она легко перегорает).

Банку наполняют смесью оксида серы SO_2 с воздухом указанным выше способом (взбалтывание раствора сернистой кислоты) или оксид серы SO_2 получают действием серной кислоты на сульфит натрия (стр. 295) и наполняют им банку с таким расчетом, чтобы он вытеснил из банки около половины объема воздуха. Пробку с проводами вставляют в банку неплотно, после чего железная спираль накаливается и вокруг нее вскоре появляется густой белый дым капелек серной кислоты. Вместо железной спирали можно взять константановую (60% Cu и 40% Ni) или спираль из сплава, не обладающего хорошими контактными свойствами, например из нихрома (спираль для электрических плиток), и вложить в нее асбестовую вату, смешанную с каким-либо катализатором (оксид железа Fe_2O_3 ¹, оксид хрома Cr_2O_3 , оксид ванадия V_2O_5 и др.). Наполнив банку оксидом серы SO_2 , сначала следует накаливать нихромовую спираль без катализатора и показать, что оксид серы SO_3 не получается, а затем вложить в спираль катализатор и снова накаливать. Образуется густой белый дым.

Наибольший интерес представляет ванадиевый катализатор, применяемый в промышленности на заводах контактной серной кислоты. Его получают следующим образом. Приготавливают насыщенный при 70 °С раствор ванадата аммония NH_4VO_3 , для чего

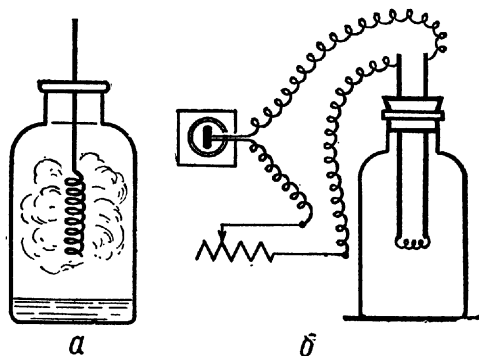


Рис. 228. Контактное окисление оксида серы SO_2 на железном катализаторе.

¹ Достаточное количество оксида железа Fe_2O_3 содержится в обожженном красном кирпиче, кусочки которого можно вложить внутрь нихромовой спирали.

берут 6,3 г соли на 100 мл воды. В полученный раствор погружают асбестовую вату, которую затем отжимают, высушивают и прокаливают в пламени горелки. NH_4VO_3 разлагается, и асбест покрывается слоем оксида ванадия V_2O_5 коричневого цвета.

Таким же способом можно приготовить и другие катализаторы. Так, для приготовления катализатора на основе оксида железа Fe_2O_3 пропитывают чистую асбестовую вату раствором хлорида железа FeCl_3 , затем обливают раствором аммиака, высушивают и прокаливают. Образовавшийся на вате гидроксид железа разлагается с образованием Fe_2O_3 , а хлорид аммония улетучивается. Вместо хлорида железа FeCl_3 можно пропитать асбестовую вату раствором железного купороса и затем прокалить до полного разложения соли (без обливания раствором аммиака).

Хромовый катализатор на основе оксида хрома Cr_2O_3 готовят пропитыванием асбестовой ваты концентрированным раствором дихромата аммония, затем пропитанную вату высушивают и прокаливают. Вместо ваты можно пропитать указанными растворами глиняные или неглазурованные фаянсовые или фарфоровые черепки, высушить их и прокалить.

Можно ограничиться простым, но тщательным перемешиванием (при длительном встряхивании в банке) асбестовой ваты с порошками Fe_2O_3 или Cr_2O_3 . Можно, наконец, в качестве катализатора использовать кусочки битого кирпича.

1) При наличии тяги опыт получения оксида серы SO_3 с собиранием его в пробирку проводят в приборе, изображенном на рисунке 229. Катализатор помещают в трубку 4 диаметром 1,5—2 см длиной около 25 см (можно нетугоплавкую). У трубки 4, для того чтобы катализатор в ней не передвигался током газа, следует сделать перетяжку. Если бы оттягивание трубки оказалось затруднительным, то можно внутрь трубки вложить соответствующей длины кусочек трубки меньшего диаметра, который с одной стороны касался бы пробки, закрывающей наружную трубку, а другим концом удерживал асбест.

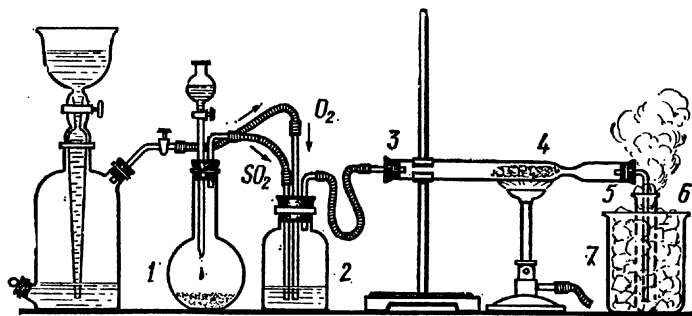


Рис. 229. Получение оксида серы SO_3 :

1 — колба с солью; 2 — промывалка; 3 — прямая трубка; 4 — трубка с катализатором; 5 — изогнутая трубка; 6 — пробирка-приемник; 7 — стакан с охлаждающей смесью.

Катализатор предварительно должен быть хорошо прокален для удаления из него гигроскопической воды. Прокаливать можно в железном тигле, чашке или непосредственно в пламени горелки. Катализатор помещают в трубку 4 слоем 7—10 см. Не следует туго набивать им трубку, лучше всего проталкивать его в виде отдельных рыхлых комочков какой-нибудь палочкой. После наполнения необходимо испытать, достаточно ли легко пропускает трубка газ. Для этого проще всего просасывать через трубку воздух ртом (не продувать, чтобы в трубку не попала влага). Воздух должен проходить без особого затруднения. Трубку 4 закрывают с обоих концов хорошо подогнанными пробками, в которые вставлены прямая трубка 3 и изогнутая трубка 5. Нижнее колено трубки 5 не доходит на 3—4 см до дна пробирки 6, погруженной в стакан 7.

Оксид серы SO_3 разрушает корковую пробку, но хорошая пробка свободно выдерживает один и даже два опыта. Чтобы продукты действия оксида серы SO_3 на пробку не могли попасть в газоотводную трубку 5, последняя должна немного входить внутрь трубки 4. Кроме того, пробки полезно защищать надетыми на трубки кружочками асбестового картона или хотя бы комочками асбестовой ваты. На резиновую пробку оксид серы SO_3 действует несколько менее сильно, чем на корковую, и потому пробку, в которую вставлена трубка 5, можно взять резиновую, но она также портится.

Для получения оксида серы SO_2 удобнее всего воспользоваться действием серной кислоты на сульфит натрия (стр. 295). Соль можно поместить в колбу 1 (рис. 229) или в какой-нибудь другой сосуд. Кислород берется из газометра.

Для осушения и смешивания оба газа пропускают через промывалку 2 с концентрированной серной кислотой. Для этого в пробку банки 2 вставлены три трубки. Трубка, отводящая газ, соединяется непосредственно с трубкой 4 (рис. 229) или между ними еще вставляется колонка с пемзой или бусами, смоченными концентрированной серной кислотой (т. I, стр. 272).

Резиновая трубка, соединяющая трубку 3 с осушительным аппаратом, должна быть достаточно длинной. Нужно, чтобы трубку 4 можно было свободно поднять вместе со штативом для вынимания пробирки 6 из стакана 7.

В стакан 7 (или банку) помещают охлаждающую смесь. Стакан лучше всего взять толстостенный (т. I, стр. 116). Можно воспользоваться также банкой. Пробирка 6, служащая для собирания оксида серы SO_3 , должна быть средней величины (например, $15 \times 1,5$ см). Следует иметь также 2—3 запасные пробирки. К пробиркам до урока нужно подобрать хорошие корковые пробки.

Горелку полезно снабдить насадкой для плоского пламени (т. I, стр. 182). Если нагревание ведется на спиртовке, то следует взять спиртовку с плоским фитилем или расправить фитиль в виде веера (т. I, стр. 175).

Когда прибор собран, пропустить через него в течение некоторого времени из газометра воздух, нагревая при этом катализатор

возможно сильнее, чтобы удалить из прибора всю влагу. После этого дать трубке 4 остыть, не прекращая тока воздуха.

Перед демонстрацией опыта вначале готовят охлаждающую смесь (стр. 86) и опускают в нее пробирку-приемник. Отставив пока стакан со смесью в сторону, приоткрыть кран воронки прибора для получения оксида серы SO_2 настолько, чтобы серная кислота капала не слишком частыми каплями и из прибора выделялся равномерный ток газа. Открыть кран газометра и урегулировать ток кислорода таким образом, чтобы он был примерно вдвое слабее, чем ток оксида серы (IV), так как с двумя объемами SO_2 реагирует один объем O_2 . Обратить внимание учащихся на то, что при обыкновенной температуре никакой реакции между оксидом серы SO_2 и кислородом не замечается.

Начать осторожно нагревать трубку 4, держа горелку в руке. Когда трубка прогреется, подставить горелку и урегулировать пламя или высоту горелки таким образом, чтобы конец пламени едва касался трубки 4, не обхватывая ее. Наилучшая температура для реакции около 400°C , но при опыте точного измерения температуры не требуется. Нужно только следить, чтобы катализатор не накаливался докрасна.

Когда трубка 4 прогреется и из трубки 5 начнется выделение белого дыма, отрегулировать ток газов таким образом, чтобы было обильное выделение дыма, и, подняв трубку 4 вместе со штативом, погрузить трубку 5 в пробирку 6, находящуюся в охлаждающей смеси. В пробирке через 5 мин уже собирается достаточное количество оксида серы SO_3 . Вынув пробирку, поместить на ее место другую.

Первую пробирку сейчас же закрыть плотным комком асбестовой ваты, а затем, вдвинув вату поглубже, — приготовленной пробкой. Если не положить асбестовой ваты, то от действия паров оксида серы SO_3 на пробку на стенках пробирки образуются темные потеки, которые быстро загрязняют оксид серы (VI). Асбестовая вата мало защищает от действия этого оксида, но, во всяком случае, пробка свободно выдерживает до конца опыта.

Оксид серы SO_3 получается или в твердом виде, или отчасти в виде жидкости. При этом, если прибор был совершенно сухой и газы достаточно осушались, получается почти исключительно неустойчивая α -модификация оксида серы SO_3 , плавящаяся при 18°C . В противном случае получается смесь α -модификации с устойчивой β -модификацией, которая при обыкновенной температуре образует шелковистые кристаллы и при 50°C возгоняется не плавясь.

Если желательно показать обе модификации оксида серы SO_3 , то необходимо осушать газы при помощи колонки и т. п. (см. выше). Более или менее чистая α -модификация получается обыкновенно во второй и третьей пробирках.

Через 5—8 мин вынуть вторую пробирку и закрыть ее точно так же, как первую. Таким же образом поступить и с третьей пробиркой.

После этого можно показать, что пары оксида серы SO_3 не поглощаются водой, но поглощаются концентрированной серной кислотой. Для этого газоотводную трубку прибора погружают в стакан с водой. Из воды поднимается обильный белый дым. Затем, вытерев конец трубки фильтровальной бумагой, переносят ее в стакан с концентрированной серной кислотой, чтобы показать поглощение оксида серы SO_3 кислотой. При небыстром токе газов значительная часть оксида успевает поглотиться и над поверхностью кислоты наблюдается лишь небольшое облачко дыма.

С собранным в пробирках оксидом серы SO_3 можно выполнить следующие опыты.

а) Открыв пробирку, вынуть из нее пинцетом или щипцами асбестовую вату (бросить ее в стакан с водой), взять немного кристаллов стеклянной трубочкой и т. п. и опустить в стакан с водой. Происходит энергичная реакция с сильным шипением.

б) К оставшемуся в пробирке веществу прилить концентрированную серную кислоту. При взбалтывании весь оксид серы SO_3 в ней растворяется.

в) В другую пробирку бросить несколько кусочков серы. Происходит темно-синее окрашивание, образуется S_2O_3 .

Для удаления из пробирок оставшегося оксида серы SO_3 следует растворить его в концентрированной серной кислоте и затем вылить раствор в воду. Ни в коем случае нельзя приливать воду прямо в пробирки с этим оксидом, так как при этом жидкость с силой выбрасывает из пробирки и может произойти взрыв.

Если нет возможности собрать оксид серы SO_3 , то можно ограничиться демонстрацией образования дыма у отверстия трубки 4 при нагревании катализатора. Вместо кислорода в таком случае можно воспользоваться воздухом. После опыта катализатор следует промыть водой, поместив на фильтре в воронку. Промывание можно считать оконченным, если в промывной воде хлорид бария не будет давать осадка. Промытый катализатор высушить и сохранять его в хорошо закрытой банке.

2) При плохой тяге или при отсутствии ее следует пользоваться приспособлениями, указанными для опытов с хлором и оксидом серы SO_2 (стр. 233 и 294), отводя избыток газов за окно или применяя поглотители. Так как туман, образуемый оксидом серы SO_3 , и мельчайшие капельки серной кислоты углем не задерживаются и даже щелочными растворами поглощаются плохо, применяют рыхлую асбестовую вату, помещенную в склянку Тищенко для

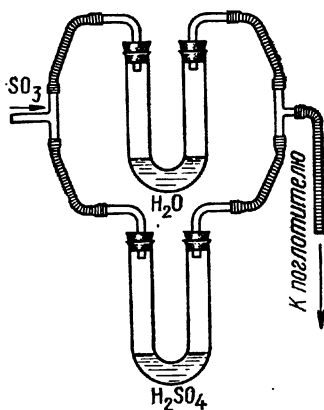


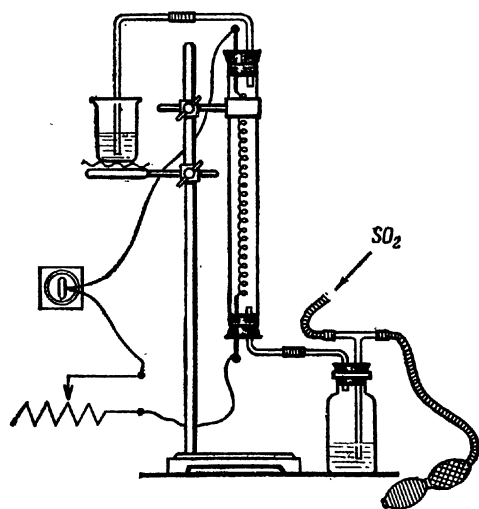
Рис. 230. U-образные трубки для пропускания оксида серы SO_3 через воду и серную кислоту.

сухих веществ или в U-образную трубку достаточного объема. При отсутствии тяги нередко приходится отказываться от собирания оксида серы SO_3 и ограничиваться демонстрацией образования тумана и поглощения оксида концентрированной серной кислотой. Для этого к выходному концу реакционной трубки с катализатором (рис. 230) присоединяют на тройнике две U-образные трубки с водой и концентрированной серной кислотой. Образующийся в контактной трубке оксид серы SO_3 проходит одновременно через обе жидкости. В правом колене трубки с водой появляется густой белый туман, в трубке с серной кислотой туман не появляется. Избыток непрореагировавшего оксида серы SO_2 и непоглощенный оксид серы SO_3 вместе с туманом из капелек серной кислоты направляются через второй тройник в поглотительную систему: сначала проходят через склянку (трубку) с асбестовой ватой, затем через трубку с углем, а остаток оксида серы SO_2 поглощается раствором щелочи. Можно вывести трубку от второго тройника за окно (стр. 233).

Если ток газа из контактной трубки слабый и одновременно через жидкости в U-образных трубках не пробулькивает, по очереди перекрывают резиновые трубки у концов первого тройника, зажимая их пальцами.

При отсутствии U-образных трубок можно взять вместо них большие пробирки с двумя трубками: подводящей (опущенной до дна) и отводной; нужно только следить за тем, чтобы жидкость из пробирок не перебрало в реакционную трубку.

3) Каталитическое окисление оксида серы SO_2 с применением электронагрева хорошо протекает в приборе, предложенном В. П. Гаркуновым. Для изготовления прибора (рис. 231) используют



стеклянную трубку длиной 35—40 см и диаметром 1,5—2 мм. Концы трубки закрывают резиновыми пробками, в которые вставлены газоотводные трубки и короткие (8—10 см) электроды из толстой (2—2,5 мм) медной проволоки. На концах этих электродов внутри трубки закрепляют спираль от электроплитки. Чтобы расположить спираль по оси трубки, внутрь ее на время загрузки катализатора вставляют стальную проволоку, длина которой несколько больше длины трубки.

Рис. 231. Прибор для окисления оксида серы SO_2 в оксид серы SO_3 .

Пространство между стенками трубки и спи-

рально заполняют кусочками неглазурованного фарфора или мелко наколотыми черепками от цветочного горшка с нанесенным на них катализатором. Для приготовления катализатора черепки погружают в сосуд с насыщенным раствором дихромата аммония, кипятят, охлаждают и оставшийся раствор сливают. Черепки, пропитанные раствором дихромата аммония, помещают в железную или фарфоровую чашку и прокаливают. Получающийся оксид хрома Cr_2O_3 покрывает ровным слоем черепки.

По мере заполнения трубки электрическую спираль осторожно подтягивают с помощью проволочного крючка. Когда трубка окажется заполненной, проволоку вынимают, спираль прикрепляют к электроду верхней пробки и трубку закрывают.

Трубку с катализатором устанавливают вертикально, закрепляют в лапке штатива и через реостат включают в электросеть. Потом через промывную склянку с концентрированной серной кислотой в нижнюю газоотводную трубку пускают ток оксида серы SO_2 и при помощи резиновой груши продувают воздух. Получающийся оксид серы SO_3 пропускают поочередно через верхнюю газоотводную трубку в стакан с водой, затем в стакан с разбавленной серной кислотой и, наконец, в стакан с концентрированной серной кислотой.

Серная кислота

ПОЛУЧЕНИЕ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ КОНТАКТНЫМ СПОСОБОМ

При ознакомлении учащихся с производством серной кислоты контактным способом можно использовать действующие модели, на которых разъясняют работу контактного узла и поглотительной системы. Одна из таких моделей изображена на рисунке 232 (Н. И. Кучеренко). Необходимый для работы модели оксид серы SO_2 в смеси с кислородом можно получить в установке, представленной на рисунке 222, или каким-либо другим способом.

Полученная смесь оксида серы SO_2 с чистым кислородом или с кислородом воздуха направляется в теплообменник 1, проходит между его трубками и попадает в контактный аппарат, в котором некоторая часть оксида серы SO_2 окисляется в оксид серы SO_3 . Разогревшаяся смесь оксида серы SO_3 с оксидом серы SO_2 и другими газообразными примесями снова направляется в теплообменник, проходит по его трубкам и при этом отдает тепло газовой смеси, поступающей в контактный аппарат 2. Пройдя теплообменник, оксид серы SO_3 с другими газами попадает в воздушный или водяной холодильник 3, а из него в адсорбер 4, орошаемый концентрированной серной кислотой, которая растворяет оксид серы SO_3 и стекает в приемник (стакан) под адсорбером. Отходящие газы, содержащие некоторое количество оксида серы SO_3 , направляются в поглотительную склянку 5, в которой находится немного концент-

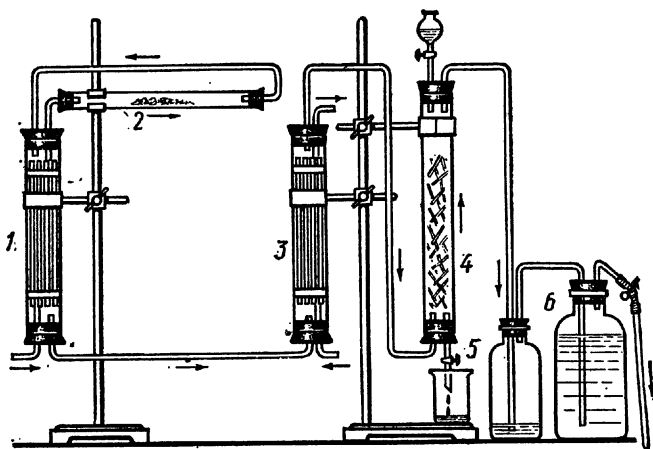


Рис. 232. Схема контактного узла:

1 — теплообменник; 2 — контактный аппарат; 3 — холодильник;
4 — адсорбер; 5 — поглотительная склянка; 6 — аспиратор.

рированной серной кислоты. Поглотительная склянка соединена с аспиратором.

Наиболее трудными для изготовления частями модели являются теплообменник и холодильник, сходные между собой по устройству, способу изготовления и применению. Для монтажа теплообменника (или холодильника) берут отрезок стеклянной трубки диаметром около 3 см и длиной около 20—21 см. Подбирают резиновую пробку, легко и плотно входящую в трубку. Вырезают из этой пробки два кружка высотой около 0,5 см, просверливают в них по 4—6 отверстий (рис. 233, а), вставляют в отверстия заранее подобранные стеклянные трубки и полученную деталь (рис. 233, б) вводят в общую стеклянную трубку (диаметр около 3 см), которая будет кожухом теплообменника. Концы трубки, представляющей кожух

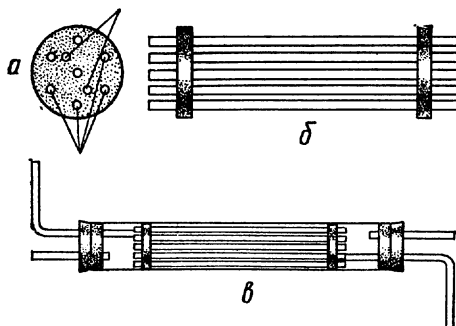


Рис. 233. Детали для изготовления модели теплообменника.

теплообменника, закрывают резиновыми пробками с подводящими и отводящими трубками (рис. 233, в).

Адсорбер 4 представляет собой стеклянную трубку диаметром около 3 см, длиной около 25 см и с обоих концов закрытую резиновыми пробками. На $\frac{3}{4}$ адсорбер заполняют битым стеклом (обрезками стеклянных трубок). В делительной воронке на адсорбере находится концен-

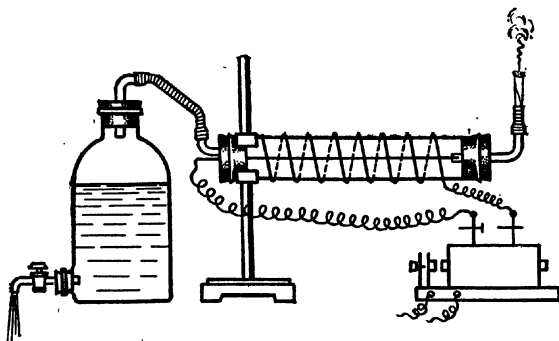


Рис. 234. Модель электрофилтра.

трированная серная кислота для орошения насадки, которая выливается каплями.

В качестве контактного аппарата можно воспользоваться стеклянной трубкой, заполненной катализатором (стр. 304), и трубкой с электронагревом и оксидом хрома Cr_2O_3 на керамической основе в качестве катализатора (стр. 305).

Чтобы показать применение электрофилтра для очистки оксида серы SO_2 от пыли, содержащей вредные для катализатора (особенно платины) вещества, а также для улавливания дымовых отходов, сажи и т. п., создают модель из озонатора (стр. 32), через который с помощью аспиратора (т. I, стр. 254) просасывается воздух, содержащий дымовые твердые частицы. Озонатор присоединяют к индукционной катушке, как и при получении озона (стр. 32). Источником дыма может служить свернутая из тонкой бумаги трубочка, наполненная сухой ватой (наподобие сигареты), которую плотно вставляют концом в трубку озонатора (можно обернуть концы трубок липкой лентой). Другую трубку озонатора присоединяют к аспиратору (рис. 234).

Вначале приводят в действие аспиратор, затем зажигают трубочку с ватой. При просасывании воздуха вата и бумага будут гореть и трубка озонатора наполнится дымом. Тогда включают индуктор, и дым в трубке немедленно исчезает. При выключенном индукторе в трубке вновь появляется дым. Опыт повторяют несколько раз. Склеившиеся дымовые частицы оседают в виде налета на внутренних стенках трубки озонатора.

СВОЙСТВА СЕРНОЙ КИСЛОТЫ

1) Определение плотности концентрированной серной кислоты. В два стакана на 150 мл влить по 50 мл (отмерить мензуркой) концентрированной серной кислоты и воды и поместить на чашки технических весов. Приливая в стакан с водой дополнительное количество воды из цилиндра, довести весы до равновесия. Сравнить

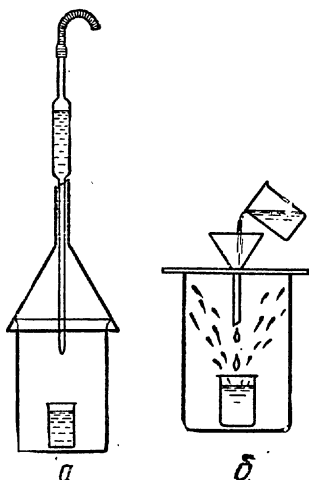


Рис. 235. Вливание воды в концентрированную серную кислоту.

массы и объемы серной кислоты и воды. Вычислить плотность серной кислоты.

2) Выделение тепла при смешивании серной кислоты с водой.

а) В стакан, наполненный на $\frac{1}{3}$ водой, вливать тонкой струей концентрированную серную кислоту, наблюдать опускание струек кислоты вниз, частичное самопроизвольное перемешивание и сильное разогревание. На взятый объем воды следует брать не более $\frac{1}{5}$ объема кислоты.

б) Поместить в большой стакан или банку стаканчик на 100—150 мл с концентрированной серной кислотой (плотность 1,84). Прикрыть стакан большой воронкой и, введя в воронку пипетку с водой, вливать воду в кислоту (рис. 235, а) с такой скоростью, чтобы произошло разбрызгивание кислоты. Для успеха опыта нужно предварительно

проделать его несколько раз и подобрать необходимую скорость и количество вливаемой воды. Воду лучше брать теплую.

За неимением большой воронки можно прикрыть стакан куском картона или фанеры с отверстием посередине, в которое ввести конец пипетки. Можно вливать воду через воронку, как на рисунке 235, б. Брызги кислоты попадают на картонную крышку и обугливают ее. Опыты напоминают правило разбавления серной кислоты (т. I, стр. 166).

в) Одним из указанных на рисунке 235 приспособлений можно воспользоваться и для демонстрации бурной реакции, происходящей при вливании концентрированной серной кислоты в горячую воду и в раствор едкого натра или аммиака. Опыт предупреждает об опасности нарушения правила: вливать концентрированную серную кислоту в горячую воду, растворы щелочей и аммиака нельзя.

3) Гигроскопичность серной кислоты.

а) Налить немного концентрированной серной кислоты (плотность 1,84) в кристаллизационную чашку и тарировать на весах. Уже через несколько минут заметно, что чашка с кислотой начинает опускаться вследствие поглощения влаги из воздуха.

б) Налить концентрированную серную кислоту на часовое стекло или в плоский сосуд почти до краев, поместить сосуд в большую кристаллизационную чашку и оставить на несколько дней в классе в недоступном для учащихся месте, но не в закрытом шкафу. Через несколько дней сосуд с кислотой переполнится и кислота начнет переливаться через край. Чем влажнее воздух в помещении, тем быстрее это произойдет.

4) Малая летучесть серной кислоты. Несколько капель раствора серной кислоты (1:5 или более разбавленного) нагревают в тигле или на крышке тигля (держат щипцами). Вначале выделяются только пары воды, и, лишь после того как вся вода улетучится, начинает кипеть серная кислота (при 340 °C), образуя облако белого дыма.

5) Действие серной кислоты на органические вещества.

а) В стакан на 100—200 мл или в большую пробирку налить до половины концентрированной серной кислоты (плотность 1,84) и погрузить в кислоту лучинку или дощечку, чтобы почернение было хорошо видно издали.

б) Погруженные в концентрированную серную кислоту кусочки бумаги, птичьи перья, материал и т. п. постепенно разрушаются и растворяются.

в) Смочить конец лучинки разбавленной серной кислотой (1:5 или более разбавленной) и держать высоко над пламенем горелки. Сначала вода испаряется, конец лучинки высыхает, а затем оставшаяся концентрированная кислота обугливает лучинку. Этот опыт используется для обнаружения серной кислоты.

г) Отвесить в стаканчике на 100—150 мл 30 г сахара в порошке (сахарная пудра или истертый в ступке сахарный песок). Приготовить в другом стаканчике, мензурке и т. п. 26 мл концентрированной серной кислоты (плотность 1,84). Прилить кислоту к сахару и размешать стеклянной палочкой. Палочку можно вынуть из стакана и опустить в воду, а можно оставить в стакане, держа вертикально и постепенно приподнимая, как только начнется обугливание сахара. Сахар при действии серной кислоты постепенно обугливается. Затем начинается энергичная реакция между выделившимся углем и серной кислотой:



Образующиеся газы вспучивают обугленную массу, которая поднимается и вылезает из стакана. Если палочку вынуть, стакан иногда опрокидывается. По палочке, оставленной в стакане, масса пористого угля поднимается вертикально, и ее можно даже вынуть, потянув за палочку.

Если не добиваться того, чтобы уголь высоко поднялся из стакана, можно обойтись и без взвешивания сахара и отмеривания кислоты. Кислоту вливают в таком количестве, чтобы получилась с сахаром кашица густоты сметаны. Опыт происходит быстрее и эффективнее, если сахар предварительно смочить водой. Хотя кислота при этом несколько разбавляется водой, но зато температура поднимается выше и реакция с сахаром происходит энергичнее. Если прибавлять воду, то вместо сахарной пудры можно взять обычный сахарный песок.

Проделанные опыты показывают, что с концентрированной серной кислотой следует обращаться с большой осторожностью. Необходимо указать учащимся, что делать в случае, если все-таки кон-

центрированная серная кислота попадет на кожу: кислоту не следует стирать полотенцем, а нужно немедленно смыть сильной струей воды, только потом промыть кожу раствором соды или аммиака и снова водой. Если попытаться нейтрализовать кислоту на руке, то к действию кислоты присоединяется ожог от выделяющегося при реакции тепла, а если для нейтрализации взять концентрированную щелочь, то и разъедающее действие щелочи.

Концентрированная серная кислота как окислитель

1) Действие концентрированной серной кислоты на металлы.

а) В стаканы или пробирки поместить вычищенные кусочки меди и железа, прилить концентрированную серную кислоту и показать, что она при обычной температуре на эти металлы не действует (применение железной тары для хранения и перевозки концентрированной кислоты).

б) Нагреть несколько медных стружек в пробирке с 1 мл концентрированной серной кислоты. Обнаружить выделяющийся оксид серы SO_2 по запаху и влажной синей лакмусовой бумажкой. По охлаждению вылить содержимое из пробирки в стакан с водой, дать отстояться; виден синий раствор сульфата меди.

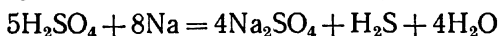
в) Выполнить тот же опыт, взяв вместо меди железные стружки. Показать, что при нагревании концентрированная серная кислота реагирует с железом с выделением оксида серы SO_2 .

г) Нагреть в пробирке с 0,5 мл концентрированной серной кислоты 2—3 гранулы цинка; выделяется оксид серы SO_2^1 . Сравнить реакцию взаимодействия цинка с разбавленной кислотой.

д) В маленький стаканчик налить около 5 мл концентрированной серной кислоты и поставить в большой толстостенный стакан или в банку с приготовленной для него картонной или жестяной крышкой. По стенке стакана (банки) опустить почти до дна ленту фильтровальной бумаги, смоченную раствором нитрата или ацетата свинца. Нарезать несколько маленьких, величиной чуть больше спичечной головки, кусочков металлического натрия (отрезать от куска натрия, очищенного от корки и осушенного от керосина, стр. 89 и 140). Подняв крышку, взять пинцетом (не сжимать) кусочек натрия и опустить в стаканчик с кислотой (прикоснуться к краю стаканчика, разжав пинцет, чтобы натрий упал в кислоту) и тотчас же закрыть большой стакан крышкой (край крышки во время реакции придерживать рукой, чтобы она не съехала). Через 2—3 сек начинается энергичная реакция, сопровождающаяся яркой желтой вспышкой, может произойти разбрызгивание. Часть натрия сгорает, стакан наполняется белым дымом пероксида натрия, основная же часть реагирует

¹ Взаимодействие концентрированной серной кислоты с цинком может протекать с образованием сероводорода, но последний в этих условиях окисляется до свободной серы, затем до SO_2 .

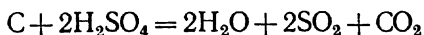
с серной кислотой с образованием сульфата натрия (кристаллы образуются на дне стаканчика) и сероводорода, от которого темнеет смоченная раствором соли свинца бумага; чувствуется характерный запах сероводорода:.



Нужно последовательно опустить в стаканчик с кислотой 3—4 кусочка натрия, каждый раз после полного окончания реакции. Следует иметь в виду, что при внесении последующих кусочков реакция начинается раньше, чем после первого, так как кислота заметно разогревается.

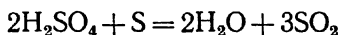
2) Действие концентрированной серной кислоты на неметаллы.

а) Всыпать в пробирку угольного порошка слоем около 0,5 см, прилить 1—2 мл концентрированной серной кислоты, вставить пробку с изогнутой газоотводной трубкой и нагреть (*под тягой!*). Происходит окисление угля до оксида углерода CO_2 и восстановление серы до оксида серы SO_2 :



Для обнаружения оксида серы (IV) погрузить конец трубки в пробирку со слабым раствором иода в растворе иодида калия — происходит обесцвечивание, для обнаружения оксида углерода (IV) погрузить трубку в пробирку с известковой водой — помутнение.

б) Поместить в пробирку кусочек серы с горошину или соответствующее количество порошка серы, прилить 1—2 мл концентрированной серной кислоты и нагреть до кипения. Сера плавится под слоем кислоты и реагирует с выделением оксида серы SO_2 :



Выделение оксида серы (IV) идет гораздо медленнее, чем при опытах с медью и углем. Газ обнаруживается по действию на раствор иода в растворе иодида калия и по запаху.

3) Действие серной кислоты на сероводород. Через промывную склянку (Тищенко и т. п.) с концентрированной серной кислотой пропустить слабый ток сероводорода, появляется взвесь: серная кислота при обычной температуре окисляет сероводород до свободной серы (для осушки сероводорода нельзя применять серную кислоту).

Глава XIII

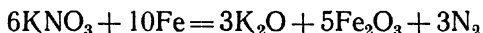
АЗОТ И ЕГО СОЕДИНЕНИЯ

Азот

СОДЕРЖАНИЕ АЗОТА В ВОЗДУХЕ. СОСТАВ ВОЗДУХА ¹

ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА АЗОТА

1) Получение азота при взаимодействии нитрата калия и железа. Железные опилки (с мелким порошком железа реакция идет слишком бурно) и мелко растертый нитрат калия смешивают в весовом отношении 20 : 1, смесь насыпают в пробирку с газоотводной трубкой (не более половины объема) и нагревают, постепенно передвигая пламя горелки от дна пробирки к границе смеси. При этом происходит восстановление азота и окисление железа ²:



При указанных соотношениях исходных веществ реакция протекает спокойно. Выделяющийся азот собирают над водой в несколько пробирок. Если взять от 0,5 до 1 г нитрата калия, можно с учетом необходимости вытеснения воздуха наполнить азотом 3—4 большие пробирки. В первой из них испытать азот горящей лучинкой; она гаснет, как от воды, не оставляя даже раскаленного уголька. Во вторую пробирку наливают известковую воду; в отличие от углекислого газа известковая вода от азота не мутнеет ³. Третью пробирку повернуть отверстием вверх и оставить на некоторое время открытой; опущенная в нее с небольшим пламенем лучинка будет гореть. Четвертую пробирку повернуть отверстием вниз; лучинка в ней будет гаснуть (доказательство, что азот легче воздуха).

Опыт можно произвести и с большим количеством смеси, нагревая ее в круглодонной колбе или реторте и собирая азот в небольшие цилиндры. Нельзя только для этих целей увеличивать количество селитры по отношению к железу, так как реакция может пойти слишком бурно с сильным раскаливанием ⁴.

¹ Материал изложен на странице 3.

² Уравнение реакции приведено в упрощенном виде.

³ Испытание лучинкой и известковой водой в одной и той же пробирке производить нельзя, в пробирку при погружении в нее лучинки может попасть углекислый газ, и известковая вода помутнеет.

⁴ При этом образуются соединения шестизарядного железа (K_2FeO_4), которые в этих условиях быстро разлагаются.

Чтобы доказать образование при реакции веществ щелочного характера (K_2O), часть смеси после охлаждения высыпает в воду, дают отстояться и раствор испытывают индикатором.

2) **Получение азота при взаимодействии хлорида аммония и нитрита натрия.** Проще всего было бы воспользоваться для получения азота нитритом аммония NH_4NO_2 , но эта соль очень неустойчива, и хранить ее в школьных условиях нельзя. Поэтому обычно берут насыщенные растворы нитрита натрия и хлорида аммония, например: 25 г $NaNO_2$ (KNO_2) в 35 мл и 20 г NH_4Cl в 55 мл воды. Растворы сливают в колбу на 250 мл с газоотводной трубкой и нагревают на водяной бане или осторожно горелкой через сетку, следя при этом внимательно за скоростью выделения газа. Даже небольшой перегрев может вызвать очень бурное взаимодействие веществ, вплоть до мгновенного разложения, что может повести даже к разрыву колбы. Но удобнее приливать концентрированный раствор нитрита натрия (или нитрита калия) к горячему раствору хлорида аммония (в колбе Вюрца) из капельной воронки. Скорость реакции регулируется в этом случае приливанием раствора, и реакция протекает совершенно спокойно.

Выделяющийся азот собирают в цилиндры и выполняют указанные выше опыты.

Аммиак

ПОЛУЧЕНИЕ АММИАКА

1) Для получения аммиака берут приблизительно равные объемы (одинаковое число ложек) мелкокристаллического или истертого в порошок хлорида аммония NH_4Cl и гашеной извести $Ca(OH)_2$. Лучше, если известь слегка влажная, к сухой можно прибавить немного воды. Оба порошка перемешивают в фарфоровой ступке.

Смесь помещают в колбу на 500 мл с пробкой и газоотводной трубкой и нагревают (рис. 236), собирая выделяющийся газ в цилиндр, закрепленный вверх дном в штативе. Следует взять побольше смеси, чтобы она занимала около половины колбы, иначе капли выделяющейся при реакции воды будут стекать на более нагретые стенки нижней половины колбы, и колба может дать трещины. Лучше взять круглодонную колбу, но при осторожном нагревании можно брать и плоскодонную. Под колбу необходимо подложить асбестированную сетку.

2) Для получения небольших количеств аммиака при лабораторных опытах и т. п. тщательно перемешанные исходные вещества (запах аммиака ощущается уже в процессе смешивания, на что обращают внимание учащиеся) насыпают в пробирку (от $\frac{1}{4}$ до $\frac{1}{2}$ ее объема) с газоотводной трубкой и укрепляют пробирку в штативе наклонно в сторону пробки, чтобы выделяющаяся вода не стекала

на нагретые части пробирки. Нагревают смесь и собирают аммиак в пробирку (как показано на рис. 237).

3) Для получения значительных количеств аммиака можно воспользоваться также нагреванием его концентрированного раствора (25-процентного, $d = 0,9$) в приборе, аналогичном изображенному на рисунке 236. Раствор аммиака наливают в круглодонную колбу на 200—250 мл до $\frac{1}{3}$ ее объема, но не более $\frac{1}{2}$ и осторожно нагревают спиртовкой на голом огне. Во избежание лишнего перегрева при кипении в жидкость опускают запаянные с одного конца стеклянные капилляры (т. I, стр. 224 и т. II, стр. 83), фарфоровые черепки или несколько кусков толстой суровой нитки. Для ускорения выделения газа в раствор кладут кусочки едкого натра, но особой необходимости в этом нет.

Аммиак, полученный этим способом, содержит больше влаги, чем получаемый из хлорида аммония. Стенки сосудов, которые наполняют аммиаком, заметно отпотевают, но для обычных опытов (растворение, образование фонтана) это не является препятствием.

Для осушки аммиака нельзя воспользоваться серной кислотой. Хлорид кальция также не годится, так как он поглощает аммиак и реагирует с ним. Аммиак можно сушить негашеной известью CaO , твердыми едкими щелочами или натронной известью (стр. 59). Палочки едкого натра или едкого кали следует разбить на кусочки в фарфоровой ступке. Известь разбивают молотком. Натронную известь, если куски ее не очень крупные, измельчать не надо. Взятое для осушения аммиака вещество помещают в склянку Тищенко для сухих веществ (рис. 236 и т. I, стр. 273), в колонку (т. I, стр. 272), большую U-образную трубку или в склянку с двумя трубками: одной — для подвода газа (опускается через пробку почти до дна склянки), другой — короткой, отводящей осушенный газ (т. I, стр. 273).

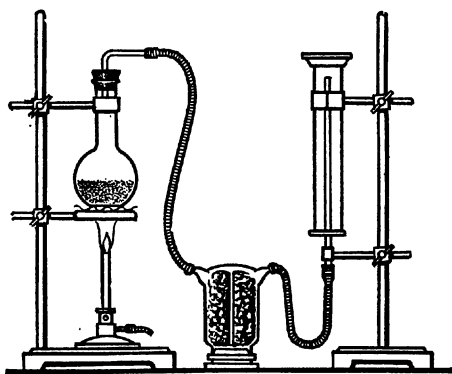


Рис. 236. Получение и соби́рание аммиака.

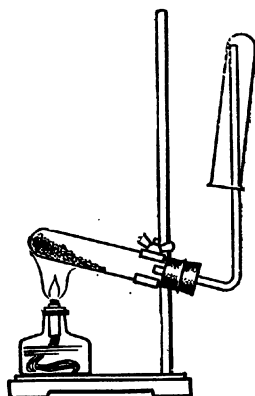


Рис. 237. Получение и соби́рание аммиака в пробирку.

Хорошей осушки аммиака можно добиться, пропуская его через промывалку (лучше склянку Тищенко во избежание перебрасывания жидкости) с 50-процентным раствором едкого натра. При осушке больших количеств газа полезно ставить такую промывалку перед осушительным прибором с твердым веществом (натронной известью и т. п.), чтобы оно не напITYвалось влагой слишком быстро.

Получение, собиpание относительно небольших количеств аммиака (с наполнением им даже литровой колбы) и обычные опыты с ним можно выполнять без тяги, однако выпускать значительное количество газа в воздух не следует, поэтому при перерывах в заполнении сосудов газом прекращают нагревание смеси или исходного раствора. Нюхать аммиак у отверстия наполняемого сосуда нужно осторожно, соблюдая правило распознавания летучих веществ по запаху (т. I, стр. 163). Нюхать аммиак непосредственно из отверстия газотводной трубки прибора, особенно если в колбе кипит концентрированный раствор аммиака, нельзя: запах аммиака при высоких концентрациях не только неприятен, но может вызвать ожог слизистых оболочек и даже шок.

4) Синтез аммиака. Изучение производства аммиака в технике требует ознакомления учащихся с действующими установками, хотя бы отдаленно напоминающими промышленные. Одна из таких установок разработана Николаевым (рис. 238). В большую пробирку 1 длиной около 20 см и диаметром 2,5 см вставлена на пробке 6 вторая, желательнее из тугоплавкого стекла, пробирка 2 с отверстием в дне. Обе пробирки закрыты резиновыми пробками 6 и 7. Через пробку 7 проходит газоподводящая изогнутая трубка 8, по которой подают смесь азота и водорода. Через обе пробки проходит выводная трубка 9 со стеклянным наконечником, опущенным в небольшой цилиндр 11 с водой и прибавленным к ней раствором фенолфталеина. Через пробку 7 пропущена толстая (около 0,5 мм) медная проволока 3, которая проходит в пространстве между пробирками и загнутым концом входит через отверстие внутрь пробирки 2. Через пробки 6 и 7 пропущена вторая, более короткая медная проволока 10, входящая концом внутрь пробирки 2 снизу. К концам медных

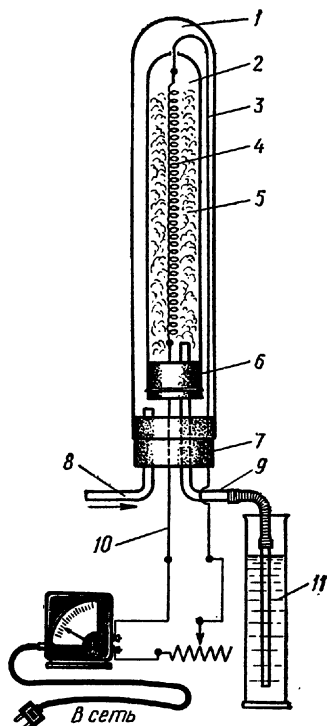


Рис. 238. Прибор для демонстрации синтеза аммиака:

1 — большая пробирка; 2 — маленькая пробирка; 3 и 10 — медные проволоки; 4 — спираль; 5 — асбестовая вата с катализатором; 6 и 7 — пробки; 8 — газоподводящая трубка; 9 — выводная трубка; 11 — цилиндр.

проволок внутри пробирки 2 приклепана заранее нихромовая спираль для электроплитки (новая немного растянутая, чтобы не прикасалась к стенкам). Пробирку 2 вокруг спирали 4, находящейся в центре, заполняют катализатором (хорошо прокаленную асбестовую вату тщательно смешивают с чистым мелким порошком железа). Прибор закрепляют в штативе. Смесь азота и водорода (1 : 3), осушенная пропусканием через шариковую или U-образную трубку с хлоридом кальция, поступает в наружную пробирку снизу по трубке 8, проходит в пространстве между стенками пробирок, где подогревается за счет горячих стенок пробирки 2 (теплообмен), затем входит через отверстие в дне в пробирку 2. На поверхности катализатора осуществляется синтез аммиака, и смесь, содержащая аммиак, выходит из пробирки 2 снизу через трубку 9 и пробулькивает в воду с фенолфталеином.

Для раскаливания спирали до слабо-красного каления наружные медные проволоки 3 и 10 присоединяют через реостат к лабораторному автотрансформатору ЛАТРу (т. 1, стр. 97), регулировкой которого на спираль подается напряжение от 50 до 80 в. Накал спирали регулируется реостатом. Для наблюдения за накалом следует при заполнении пробирки 2 катализатором оставить с одной стороны небольшое окошко, где был бы виден участок спирали.

5) Смесь азота и водорода можно готовить в смесителе типа изображенного на рисунке 229 (стр. 300). Каждый газ получают в отдельном приборе (стр. 59 и 313) и направляют в смеситель — промывную склянку с серной кислотой (одновременно осуществляется и осушка газов), следя за тем, чтобы ток водорода был примерно в три раза сильнее, чем ток азота. Удобнее азот предварительно собрать в газометр над прокипяченной и охлажденной до комнатной температуры водой (чтобы исключить вредную для реакции примесь кислорода), а водород получать из аппарата Киппа и перед направлением в смесительную склянку промывать щелочным раствором перманганата калия (стр. 59).

При соблюдении необходимых правил предосторожностей можно наполнить азотом и водородом небольшой газометр в необходимых объемных соотношениях. Газометр нужно наполнить предварительно прокипяченной и охлажденной до комнатной температуры водой, а в газоотводную трубку газометра обязательно вложить медную сетку (стр. 61).

Перед демонстрацией опыта пропускают азотоводородную смесь через прибор, собирают выделяющийся газ в пробирку (из газоотводной трубки 9), испытывают чистоту смеси обычным способом (стр. 61), не прекращая ток газа, погружают газоотводную трубку 9 в цилиндр с водой и фенолфталеином и устанавливают ровный ток газа, чтобы можно было считать пузырьки. После этого включают спираль, доводят, регулируя реостатом, накал ее до слабо-красного каления. Через 1—2 мин жидкость в цилиндре краснеет от выделяющегося аммиака (щелочная реакция).

СВОЙСТВА АММИАКА

1) Растворение аммиака в воде. а) Наполнить аммиаком цилиндр (пробирку), закрыть стеклом (пробирку — пальцем). Погрузить отверстие цилиндра (пробирки) в кристаллизационную чашку с водой и быстро сдвинуть стекло в сторону. Цилиндр постепенно наполняется водой почти доверху.

Несмотря на то что растворимость аммиака в воде значительно больше, чем растворимость хлороводорода, наполнение цилиндра водой идет при аммиаке NH_3 значительно медленнее. Объясняется это тем, что раствор аммиака (в противоположность раствору HCl) легче воды. На поверхности вошедшей в цилиндр воды образуется слой, насыщенный аммиаком, и дальнейшее поглощение его замедляется. Поглощение аммиака водой можно ускорить легким покачиванием цилиндра.

Воду в чашке нужно перед опытом подкрасить раствором лакмуса, к которому прибавить 1—2 капли кислоты. Необходимо избегать избытка кислоты, так как собранного в цилиндре аммиака может не хватить для ее нейтрализации. Эффектнее выглядит появление малиново-красного окрашивания, если к воде в чашке прилить раствор фенолфталеина.

Можно также выполнить следующий опыт: нагрев в пробирке некоторое количество смеси, быстро опрокинуть пробирку в стакан с водой. Вода поднимается в пробирку и заполняет ее почти доверху.

б) Опыт с фонтаном, иллюстрирующий большую растворимость аммиака в воде (вариант опыта, упомянутого на странице 318), можно провести в круглодонной колбе¹. Колбу объемом 1 л наполняют аммиаком. Для этого газоотводную трубку вводят в опрокинутую горлом вниз круглодонную колбу (рис. 239, а), которая быстро наполняется аммиаком. Сушить газ нет необходимости, но, если желательно, чтобы стенки колбы не запотевали от выделяющейся влаги, следует пользоваться средствами и приемами, указанными на странице 315 или U-образной трубкой с натронной известью (рис. 239, б). Наполненную аммиаком колбу закрывают резиновой пробкой, через которую проходит доходящая до середины колбы оттянутая на одном конце (диаметр оттяжки не менее 2 мм) стеклянная трубка. На второй конец трубки надета мягкая резиновая трубочка длиной 10—15 см, закрытая винтовым зажимом (рис. 239, в). Приготовленную колбу можно хранить в таком виде продолжительное время. Перед демонстрацией опыта снять зажим с резиновой трубки и опустить ее в чашку с водой, к которой прибавлено 1—2 мл раствора фенолфталеина. Если через несколько секунд фонтана не получается (в трубке воздух), погрузить резиновую трубку глубже в воду и загнуть конец трубки вверх так, чтобы в нее попало несколько

¹ Колбу следует обязательно брать круглодонную, плоскодонная колба при опыте может быть раздавлена атмосферным давлением.

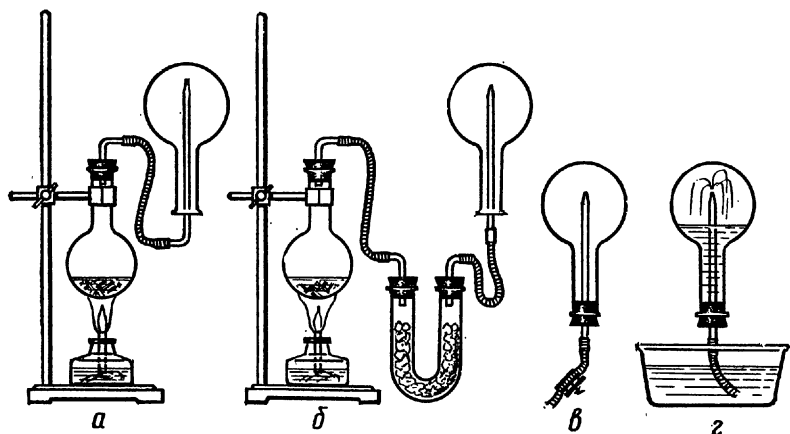


Рис. 239. Фонтан в колбе.

ко капель воды. Крепко зажать конец резиновой трубки пальцами, вынуть из воды, не разжимая пальцев, перевернуть колбу пробкой вверх и слегка встряхнуть или пальцами другой руки выдавить воду из резиновой трубки внутрь колбы. В нескольких каплях попавшей в колбу воды растворяется значительное количество аммиака, и в колбе создается вакуум. Перевернув колбу горлом вниз, снова опустить резиновую трубку в воду и разжать пальцы. Немедленно начинает бить фонтан. Малиновая жидкость заполняет всю колбу (рис. 239, г).

На лабораторных занятиях опыт можно выполнить, взяв вместо колбы пробирку.

2) Горение аммиака в кислороде. Для опыта горения аммиака в кислороде удобнее получать аммиак нагреванием его концентрированного водного раствора (стр. 314). На рисунке 240 изображен прибор, служащий одновременно и для получения, и для сжигания аммиака. Колба 1 на 300—400 мл закрыта пробкой, в которую вставлена трубочка 2 длиной около 20 см, диаметром 6—7 мм. На трубочку надета пробка, вставленная в широкую (до 3 см в диаметре) стеклянную трубку 4. Можно взять обрезанную до 10 см лампу дневного света (т. I, стр. 214). В другое отверстие в пробке вставлена изогнутая трубочка 3, соединенная с газометром. Чтобы кислород равномерно распределялся в широкой трубке 4, внутрь ее следует поместить неплотный комок ваты. Верхний конец трубки 2 должен быть на 1—2 см ниже верхнего края трубки 4.

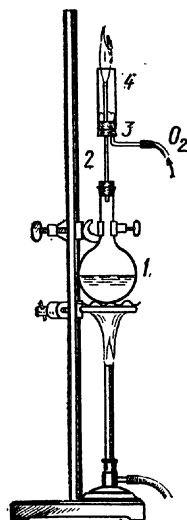


Рис. 240. Горение аммиака в кислороде:

1 — колба с раствором аммиака; 2 — длинная трубочка; 3 — изогнутая трубочка; 4 — широкая трубка.

Нижний конец трубки 2 полезно сточить наискосок, чтобы конденсирующаяся в трубке вода легко стекала обратно, не образуя капель, которые прерывают струю газа (т. I, стр. 252). По этой же причине нельзя брать слишком тонкую трубку. При подготовке опыта налить в колбу до половины концентрированного раствора аммиака и, вставив пробку с трубками, зажечь горелку. Когда по запаху будет заметно, что из колбы выходит струя аммиака, поднести к верхнему концу трубки 2 горящую лучинку и показать, что в воздухе аммиак не загорается (лучинка обычно гаснет)¹. После этого пустить не очень сильный ток кислорода и вновь поднести к отверстию трубки 2 зажженную лучинку. Аммиак загорается и горит большим зеленоватым пламенем. Если прекратить приток кислорода, пламя постепенно гаснет. Если снова пустить кислород и поднести зажженную лучинку, пламя вновь появляется. Для устройства прибора можно воспользоваться разбитым холодильником Либиха, надев обрезок его на трубку 2 и соединив боковой отросток с газометром, обрезанной банкой и т. п.

За неимением газометра кислород впускают прямо из колбы или большой пробирки с перманганатом калия, а также из кислородной подушки (стр. 11) и т. д.

б) Отдельные вспышки смеси аммиака с кислородом можно показать, поджигая смесь газов в открытой стеклянной банке. В банку объемом около 300 мл с широким горлом наливают около 100 мл концентрированного раствора аммиака и подогревают его, погрузив банку в стакан с горячей водой. Не вынимая банку из воды, опускают в раствор аммиака трубку от газометра с кислородом и пропускают через раствор сильную струю кислорода. При поднесении к отверстию банки горячей лучинки происходит вспышка кислородно-аммиачной смеси с глухим, слабым звуком. При лабораторном опыте можно воспользоваться приборчиком, изображенным на рисунке 241. В пробирке 1 находится перманганат калия, в пробирке 2 — концентрированный раствор аммиака. Один из учащихся нагревает пробирку 1, газоотводная трубка которой опущена в пробирку 2. Когда из отверстия пробирки 2 начнет выделяться кислород (*тлеющая лучинка!*), другой учащийся начинает осторожно нагревать раствор

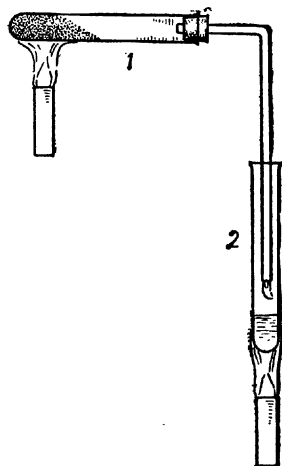


Рис. 241. Горение аммиака в кислороде:

1 — пробирка с перманганатом калия; 2 — пробирка с раствором аммиака.

¹ Аммиак в воздухе может гореть, если его предварительно подогреть, пропуская, например, через нагретую стеклянную трубку. В чистом кислороде скорость сгорания аммиака значительно больше, и поэтому выделяющейся за такое же время теплоты достаточно для поддержания температуры воспламенения последующих порций газа.

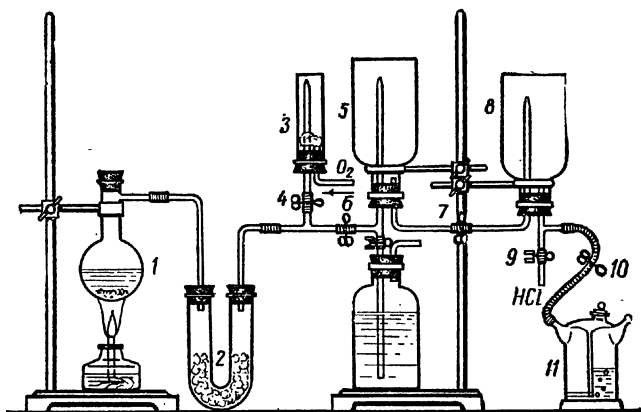


Рис. 242. Комбинированный прибор для демонстрации опытов с аммиаком:

1 — круглодонная колба для получения аммиака; 2 — U-образная трубка с натронной известью; 3 — прибор для сжигания аммиака в кислороде (в момент демонстрации этого опыта зажим 4 открывают, а зажим 6 закрывают); 5 — сосуд, предназначенный для демонстрации растворимости аммиака в воде; 8 — сосуд для демонстрации взаимодействия аммиака с хлороводородом (сосуд поворачивают дном вниз, зажимы 7 и 10 закрывают, трубку с зажимом 9 присоединяют к источнику хлороводорода и зажим 9 открывают); 11 — склянка Тищенко с водой или кислотой.

аммиака и к отверстию пробирки 2 подносит зажженную лучинку. Происходит слабый взрыв смеси аммиака с кислородом, пламя проскакивает внутрь пробирки 2 и держится между концом трубки и поверхностью раствора аммиака. При этом иногда наблюдается интересное явление: пламя имеет вид как бы перегородки, которая отделяет два реагирующих газа и колеблется в пробирке, подвигаясь то вверх, то вниз.

Для демонстрации опытов с аммиаком можно рекомендовать комбинированные приборы, в которых проводят опыты один за другим. На рисунке 242 дан один из таких приборов (М. А. Афанасьев). Устройство и порядок проведения опытов понятны из рисунка и пояснительных надписей.

3) Образование аммиака при гниении белковых веществ. Обрезки мяса поместить в стеклянную банку или в стакан, закрыть стеклом и оставить на некоторое время. В сосуд с протухшим мясом внести влажную красную лакмусовую бумажку, которая синееет, а затем бумажку или лучинку, смоченную концентрированной соляной кислотой, — появляется белый дымок хлорида аммония.

Соли аммония

ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА СОЛЕЙ АММОНИЯ

1) Налить концентрированный раствор аммиака и концентрированную соляную кислоту в поставленные на противоположных концах стола две чашки или два тигелька. При сближении их получается облако дыма хлорида аммония.

2) Можно смочить растворами две стеклянные палочки (две лучинки или бумажки) и сблизить их. Кроме соляной кислоты, можно взять концентрированные кислоты: азотную HNO_3 и уксусную $\text{H}(\text{H}_3\text{C}_2\text{O}_2)$.

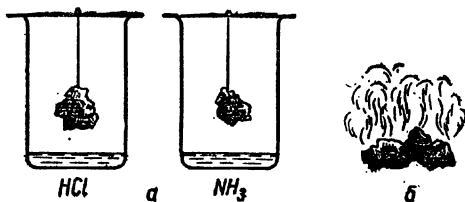


Рис. 243. Дымящие угли.

3) Собрать аммиак и хлороводород в два цилиндра и привести их в соприкосновение (т. I, стр. 324).

4) На дно двух одинаковых стаканчиков налить по 10—15 мл концентрированных растворов аммиака и соляной кислоты. Внутри стаканчиков подвесить на нитках кусочки древесного (лучше предварительно прокаленного) угля на высоте 1—2 см от поверхности жидкостей (рис. 243, а) и оставить в таком положении на 30 мин. Угли адсорбируют большие количества аммиака и хлороводорода. Вынув угли из стаканов, привести их в соприкосновение друг с другом. Угли начинают «дымить» (рис. 243, б). Опыт одновременно подтверждает поглощательную способность угля (стр. 344).

Обработанные таким образом угли можно длительное время сохранять в отдельных, хорошо закрытых банках и использовать для демонстрации по мере необходимости.

5) Нейтрализовать соляную кислоту раствором аммиака, контролируя результат опыта лакмусовой бумажкой (стр. 138), и выпарить полученный раствор.

Тот же опыт можно проделать с азотной, уксусной и другими кислотами.

6) Насыпать в пробирку несколько кристалликов хлорида аммония NH_4Cl . Прилить концентрированной серной кислоты. Выделяется хлороводород (стр. 257).

7) Возгонка и термическая диссоциация хлорида аммония.

а) Поместив в пробирку немного соли NH_4Cl , нагревать ее в пламени горелки, держа пробирку немного наклонно. Обратит внимание учащихся, что над кристаллами образуется бесцветный газ. Выше, на холодных стенках пробирки, вновь оседает хлорид аммония.

б) Чтобы показать, что при нагревании хлорид аммония диссоциирует на NH_3 и HCl , можно воспользоваться поставленной наклонно трубкой, в середине которой находится пробка из хлорида аммония (рис. 244). При нагревании этой пробки в нижней ее части аммиак быстрее, чем хлороводород, диффундирует сквозь слой соли (т. I, стр. 314) и, как более легкий газ, поднимается вверх, хлороводород же стекает вниз. Присутствие того и другого открывают при помощи лакмусовых бумажек.

Для опыта нужна стеклянная трубка диаметром около 1,7—2 см и длиной около 25 см. Чтобы получить в середине трубки плотный

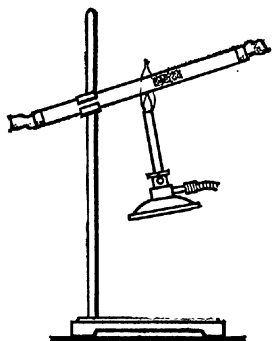


Рис. 244. Диссоциация хлорида аммония.

слой хлорида аммония, следует сначала выстрогать две палки, которые плотно входили бы внутрь трубки (можно два толстых карандаша). Затем, введя внутрь стеклянной трубки одну из палок и держа ее конец приблизительно в середине трубки, насыпать в трубку немного мелкокристаллического хлорида аммония и слегка утрамбовать второй палкой. Затем прибавить еще немного соли и снова утрамбовать. Прибавлять соль до тех пор, пока в середине трубки получится слой толщиной около 4 см. Трубку с солью затем укрепляют в зажиме штатива, придав ей наклон (рис. 244).

Вложить в верхний конец трубки слегка смоченную водой красную лакмусовую бумажку, в нижний конец — влажную синюю лакмусовую бумажку. Нагревать на горелке нижнюю часть пробки из хлорида аммония до тех пор, пока лакмусовые бумажки изменят свой цвет. Если трубке придать надлежащий наклон, изменение цвета бумажек наступает через несколько минут.

Опыт в таком виде удается обычно гораздо лучше, чем опыт с пробкой из асбеста, так как некоторые примеси асбеста вступают в реакцию с продуктами диссоциации хлорида аммония, дают на трубке желтый возгон и опыт не удается.

Оксиды азота

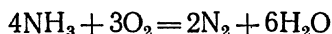
ПОЛУЧЕНИЕ ОКСИДОВ АЗОТА

1) Образование оксидов азота из воздуха. При наличии школьных индукторов типа ИВ-50 или ИВ-100 (т. I, стр. 109) обычно не удается получить значительные количества оксидов азота NO и NO_2 , и о синтезе их в электрической искре с использованием простейших приспособлений можно судить только косвенным путем (по образованию кислоты, по запаху и т. д.). Однако эти опыты имеют познавательное значение (связывание азота в природе при электрических разрядах), и исключать их демонстрацию не следует.

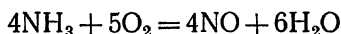
На рисунке 245, а и б показаны простейшие приборы для получения оксидов азота при пропускании электрической искры между концами медных проволок в тубулированной двугорлой склянке и т. п. Наружные концы проволок присоединяют к индуктору (правила работы и включение см. в т. I, стр. 108, а также рис. 245, в). Расстояние между концами проволок внутри сосудов следует устанавливать около 1 см, чтобы получилась непрерывная «жирная» искра. Через 2—3 мин после включения в сосуде образуется достаточное количество NO_2 , чтобы определить его по запаху (цвет газа

из-за малой концентрации не виден); влажная иодокрахмальная бумажка (т. I, стр. 288 и т. II, стр. 37), заранее внесенная в сосуд, синее (NO_2 окисляет ион иода до свободного иода, который дает с крахмалом синее окрашивание).

2) **Образование оксидов азота при каталитическом окислении аммиака.** При сгорании аммиака в кислороде (стр. 318) образуется свободный азот:



Одновременно протекает реакция окисления аммиака до оксида азота NO , который переходит в оксид азота NO_2 и т. д.:



Скорость этой реакции очень мала, но может быть увеличена с помощью катализаторов. Так как познавательное и политехническое значение этой реакции велико (промышленное получение азотной кислоты), то соответствующие опыты очень важно показать хотя бы в простых вариантах.

а) *Окисление аммиака в шариковой трубке* (В. С. Полосин). Два шариковые трубки соединяют пробкой (рис. 246). В трубку 1 помещают комок ваты, смоченный 25-процентным раствором аммиака, и в отверстие вставляют пробку с небольшой стеклянной трубкой, по которой подают кислород из газометра. В трубку 2 вставляют перед шариком тампон из асбестовой ваты, а в шарик помещают катализатор из свернутых в небольшие спирали кусков очищенной медной проволоки, которые засыпают асбестовой ватой, смешанной со свежеприготовленным оксидом хрома Cr_2O_3 (примерно 1 : 2 по объему). Узкий конец шариковой трубки 2 соединяют с изогнутой стеклянной трубкой, опущенной в сухую колбу для собирания оксида азота NO_2 . В начале опыта сильно нагревают катализатор,

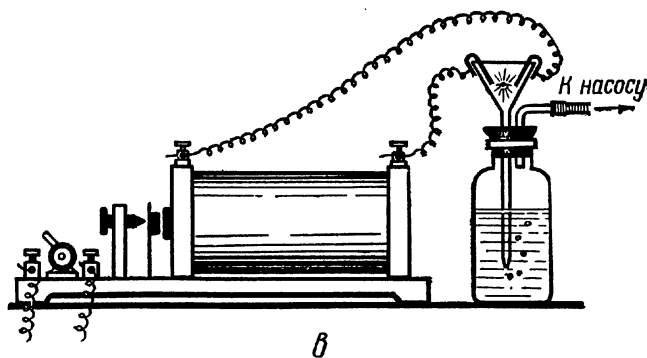
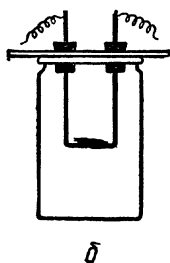
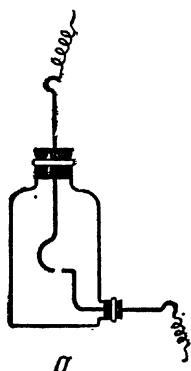


Рис. 245. Приборы для получения оксидов азота.

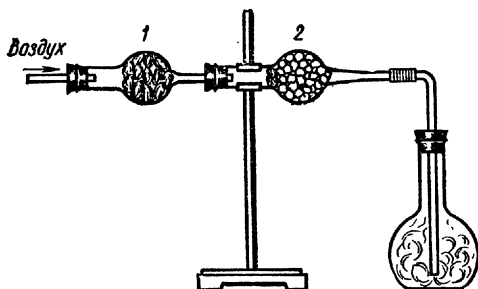


Рис. 246. Окисление аммиака в шариковой трубке:

1 — трубка с ватой, смоченной раствором аммиака; 2 — трубка с асбестовой ватой.

ток кислорода, однако не чрезмерно быстрый, иначе катализатор раскалится слишком сильно и трубка треснет. В колбу вливают по окончании опыта немного воды, взбалтывают и полученный раствор испытывают индикатором.

б) *Окисление аммиака в колбе кислородом воздуха на хромовом катализаторе.* В большую банку или колбу объемом 3—5 л наливают 40—50 мл 25-процентного раствора аммиака. В качестве реакционного сосуда можно использовать небольшой газометр¹, вынув из него воронку, или соответствующих размеров бутыл. Сосуд с жидкостью взбалтывают, чтобы раствором аммиака были полностью смочены внутренние стенки. Этим достигается хорошее смешение аммиака с воздухом. Подготовленный таким образом сосуд закрывают пробкой и оставляют до демонстрации опыта. Перед показом опыта в три связанные вместе ложечки для сжигания веществ в кислороде поместить свежеполученный оксид хрома (полные ложечки) и нагреть в пламени до начинающегося красного раскаливания катализатора. Открыть пробку сосуда со смесью аммиака с воздухом и внести туда на ложечках нагретый оксид хрома. Катализатор сразу же раскаливается докрасна (реакция сильно экзотермична), в колбе образуется дымок нитрата аммония. Встряхнуть ложечку так, чтобы оксид хрома разлетелся по всей колбе. Получается сноп искр, которые в виде «огненной метели» летают в колбе во всех направлениях в течение 1—2 мин. Иногда в сосуде появляется пламя, которое может вырваться наружу, поэтому не следует руку держать непосредственно над отверстием сосуда, а отогнуть стержень хотя бы одной ложечки в сторону под прямым углом и держать ложечку за согнутую часть.

Если в сосуде не было избытка газообразного аммиака (регулировать состав газовой смеси в этих условиях трудно), то можно

¹ Из газометра нужно вытеснить остаток кислорода, если он там почему-либо остался (налить газометр водой и затем вылить). При избытке кислорода в сосуде по сравнению с содержанием его в воздухе во время опыта может произойти сильная вспышка и даже взрыв смеси аммиака с кислородом.

наблюдать образование оксида азота NO_2 . Однако через некоторое время, особенно при взбалтывании, за счет избытка аммиака в колбе появляется белый дым твердых солей (преимущественно нитрат аммония). Но в большинстве случаев образование NO_2 наблюдать не удастся.

в) *Окисление аммиака в трубке с электроподогревом* (В. П. Гаркунов). В вертикально поставленной стеклянной трубке диаметром 3 см и длиной до 40 см укрепляют на двух толстых медных проволоках спираль от электроплитки. Медные проволоки пропущены через резиновые пробки, закрывающие от-

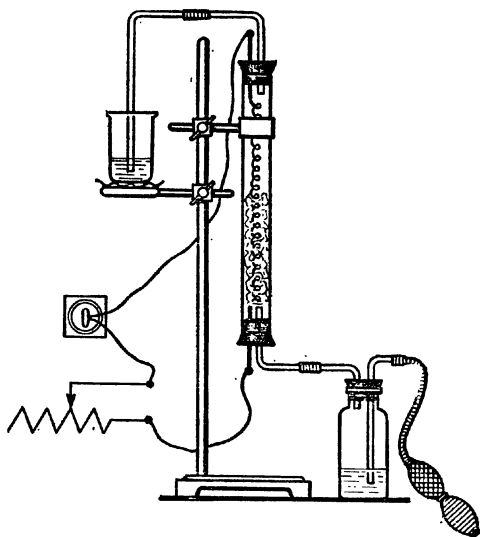


Рис. 247. Окисление аммиака в трубке с электроподогревом на хромовом катализаторе (часть трубки показана незаполненной).

верстия трубки и имеющие стеклянные трубочки для подвода (внизу) и отвода (вверху) газов (рис. 247). После укрепления спирали верхнюю пробку вынимают, спираль слегка растягивают и трубку осторожно наполняют кусочками неглазурованного фарфора или асбестовой ваты с нанесенным на них катализатором. При этом нужно следить, чтобы спираль занимала все время центральное положение и не прикасалась к стенкам трубки. Спираль включают в осветительную сеть через реостат. Смесь аммиака с воздухом получается продуванием воздуха с помощью резиновой груши или кислорода из газометра через промывную склянку с 10-процентным раствором аммиака, нагретым до 20°C . Выходящие через газоотводную трубку газы содержат оксид азота NO_2 и пары HNO_3 , которые улавливаются в стакане водой. Наличие в растворе азотной кислоты доказывается изменением окраски лакмуса или дифениламина. В качестве катализатора применяют оксид хрома Cr_2O_3 (приготовление см. т. I, стр. 319).

г) *Окисление аммиака на железном катализаторе*. В U-образную трубку (рис. 248) помещают комок ваты, смоченный раствором аммиака. В левое отверстие U-образной трубки вставляют пробку с оттянутой на конце стеклянной трубочкой. Таких трубочек, вставленных в пробки, следует иметь несколько с разными диаметрами оттянутой части. Меняя пробки с трубками, можно регулировать скорость поступающего в U-образную трубку воздуха. Правое отверстие U-образной трубки закрыто пробкой с обычной газоотводной трубкой, которая резиновой трубкой соединена с реак-

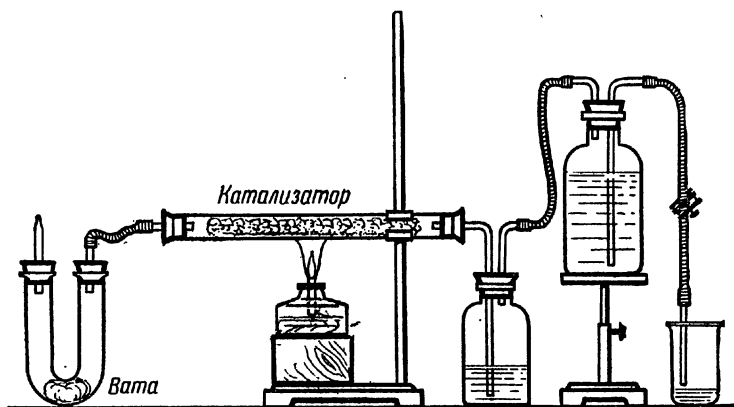


Рис. 248. Окисление аммиака на железном катализаторе.

ционной трубкой, содержащей катализатор. Другой конец реакционной трубки присоединяют к промывной склянке, наполненной водой, подкрашенной лакмусом. Для просасывания воздуха через систему промывную склянку соединяют с аспиратором (т. I, стр. 255). Катализатор готовят, смешивая оксид железа Fe_2O_3 с асбестовой ватой. К оксиду железа прибавляют немного оксида висмута (около 3%). Этим катализатором наполняют реакционную трубку, проложив с обоих концов ее асбестовые тампоны.

Вначале просасывают через всю систему воздух с аммиаком, вынув перед этим газоподводящую трубку из жидкости в промывной склянке (чтобы не придавалось ей щелочной реакции за счет растворения аммиака). Затем сильно нагревают катализатор (лучше газовой или бензиновой горелкой), закрывают промывную склянку и просасывают медленный ток воздуха. Катализатор остается раскаленным, индикатор в промывной склянке через некоторое время меняет цвет.

3) Получение оксидов азота из азотной кислоты и ее солей.

а) *Получение оксида азота NO.* В колбу Вюрца с капельной воронкой и жидкостным затвором (рис. 249, а) помещают медные (в крайнем случае латунные) стружки, погружают газоотводную трубку в чашку с водой и приливают в колбу 32-процентную азотную кислоту (поступающую обычно в продажу реактивную 65-процентную кислоту плотностью 1,4 разбавляют равным объемом воды). Через некоторое время начинается выделение газа. Сначала газ в колбе бурого цвета (NO окисляется за счет кислорода воздуха), затем становится бесцветным (NO).

Собрать газ в три или четыре цилиндра высотой 25—30 см, приливая в колбу, если нужно, понемногу азотной кислоты. После наполнения цилиндров вынуть конец газоотводной трубки из воды. Один из цилиндров вынуть из ванны, закрыв под водой стеклянной пластинкой, и, держа против света отверстием кверху, снять пла-

стинку. В цилиндре появляется бурое облако оксида азота NO_2 . Вновь закрыть цилиндр стеклом, опрокинуть в воду и отнять стекло. Вода входит в цилиндр на значительную высоту, растворяя оксид азота NO_2 с образованием азотной и азотистой кислот. Испытание раствора лакмусом дает красное окрашивание.

Во второй цилиндр, не вынимая его из ванны, впускать понемногу кислород из газометра через присоединенную к нему на резиновой трубке изогнутую стеклянную газоотводную трубку. Образующийся оксид азота NO_2 реагирует с водой, и уровень воды в цилиндре постепенно поднимается. Если впускать кислород осторожно, небольшими порциями, все время покачивая цилиндр, чтобы вода омывала его внутреннюю поверхность, цилиндр почти доверху наполняется водой. Кислород и оксид азота NO при этом, конечно, должны быть чисты, т. е. не содержать воздуха.

В третий цилиндр опустить тлеющий уголек, укрепленный на проволоке. Он горит в оксиде азота NO . В четвертый цилиндр можно опустить зажженную на ложечке серу или горящую свечу. Сера и свеча в оксиде азота (II) гаснут.

Вместо того чтобы заготавливать для опыта разбавленную азотную кислоту, можно налить сначала в колбу с медью воду (чтобы она покрыла медь) и затем приливать понемногу более концентрированную азотную кислоту.

Вместо прибора с капельной воронкой можно воспользоваться прибором, изображенным на рисунке 249, б, но при плохой тяге этот прибор менее удобен (NO и NO_2 очень ядовиты).

В меньших масштабах опыт можно выполнить в пробирках (рис. 249, в).

б) *Получение и свойства оксида азота NO_2 .* Для обычной демонстрации без собирания газа в цилиндр бросают 2—3 медные стружки и наливают 2—3 мл 65-процентной азотной кислоты. Цилиндр постепенно наполняется интенсивно окрашенным оксидом азота NO_2 . Его закрывают стеклом, чтобы ядовитый газ не выходил в воздух. По окончании демонстрации цилиндр наполняют водой

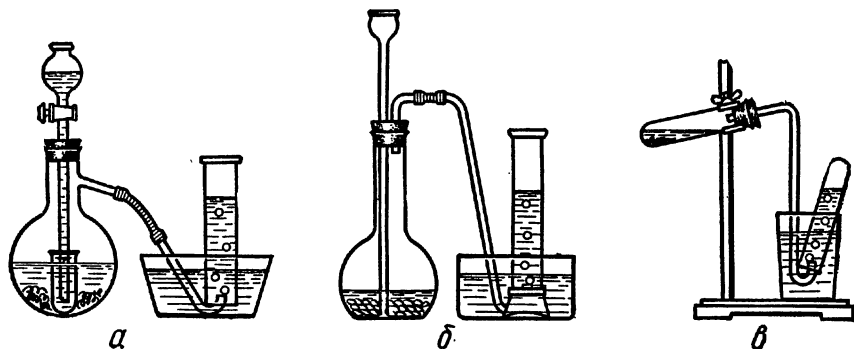


Рис. 249. Получение оксида азота NO .

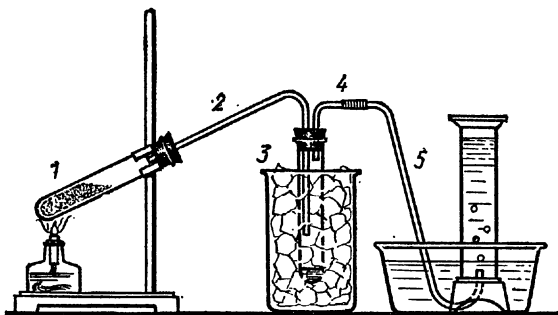


Рис. 250. Получение и сжижение оксида азота NO_2 с соби́ранием кислорода:

1 — пробирка с нитратом свинца; 2, 4, 5 — газоотводные трубки; 3 — пробирка-приемник.

под тягой или на открытом воздухе и показывают учащимся голубой раствор нитрата меди.

Но обычно получают оксид азота NO_2 разложением нитрата свинца $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ при нагревании. Соль следует предварительно обезвожить. Для этого 40—50 г соли растереть в фарфоровой ступке в возможно более мелкий порошок, а затем нагревать в фарфоровой чашке. Чашку поместить на кольцо штатива на такой высоте, чтобы конец пламени горелки едва касался дна чашки. Во время нагревания соль нужно все время тщательно перемешивать стеклянной палочкой. Нагревать до тех пор, пока почти прекратится характерное потрескивание. Под конец можно нагревать сильнее, до начала выделения бурых паров оксида азота. Нагревать приходится около получаса и более. Обезвоженную соль пересыпать в банку и хорошо закрыть. Прибор для разложения нитрата свинца и соби́рания выделяющихся газов (кислорода и NO_2) изображен на рисунке 250. Соль помещают в пробирку 1 (не более $\frac{1}{3}$ объема), лучше тугоплавкую¹. Пробирка соединена трубкой 2 с пробиркой 3, погруженной в стакан со смесью снега или толченого льда с поваренной солью (стр. 86). Трубка 2 погружена в пробирку 3 на глубину $\frac{3}{4}$ высоты пробирки. Трубка 4 соединена короткой резиновой трубкой с трубкой 5, погруженной в чашку с водой. Над концом трубки 5 помещен небольшой цилиндр или достаточных размеров пробирка для соби́рания кислорода.

Перед демонстрацией опыта отделяют пробирку 3 от прибора и, отставив стакан с охлаждающей смесью в сторону, осторожно нагревают пробирку 1. Усиливают нагревание до тех пор, пока начинается выделение бурых паров. Через 2—3 мин (после того как

¹ Обезвоженный нитрат свинца рекомендуется смешать с половинным по объему количеством мелкого прокаленного кварцевого песка. Это устраняет образование корки на поверхности разлагающейся соли. При небольших количествах исходного вещества необходимости в этом нет.

оставшаяся в соли вода удалится вместе с газами), не прекращая нагревания, надевают на пробирку 3 пробку, приподнимают стакан с охлаждающей смесью настолько, чтобы почти вся пробирка 3 в него погрузилась, и ставят под стакан подставку. Продолжают нагревать, пока весь нитрат свинца разложится. В пробирке 3 собирается жидкий оксид азота N_2O_4 (димер NO_2), в цилиндре — кислород.

Несмотря на все предосторожности, вместе с оксидом азота NO_2 в пробирку попадает ничтожное количество воды, и вследствие образования синего оксида азота N_2O_3 жидкость получается не желтого, а зеленого цвета. Чтобы получить чистый жидкий оксид N_2O_4 , пробирку 3 следует перенести в стакан со снегом и в течение некоторого времени пропускать через жидкость слабый ток сухого кислорода (осушенного, например, хлоридом кальция). Для этого погрузить до дна пробирки с оксидом N_2O_4 стеклянную трубочку, соединенную через осушительный прибор с газометром, наполненным кислородом, и урегулировать ток кислорода так, чтобы можно было легко считать проходящие через жидкость пузырьки. Пропускать кислород до тех пор, пока зеленый цвет жидкости перейдет в желтый. После этого снова перенести пробирку в охлаждающую смесь. Если смесь хорошо приготовлена, то через некоторое время в пробирке появляются кристаллы оксида N_2O_4 ¹.

Для приготовления постоянного образца для демонстрации жидкий N_2O_4 переливают в оттянутую недалеко от отверстия стеклянную трубку или оттянутую пробирку и, не вынимая из охлаждающей смеси, запаивают острым пламенем (т. I, стр. 177).

Для получения небольших количеств оксида азота NO_2 нагревание нитрата свинца проводят в пробирке с газоотводной трубкой. Бурый газ собирают в пробирки вытеснением воздуха, закрывают и используют. Если наполнить оксидом азота заранее приготовленные пробирки с перетяжками или запаивать с одного конца и оттянутые недалеко от отверстия стеклянные трубки, то их легко запаять острым пламенем (т. I, стр. 177), даже не погружая в охлаждающую смесь, и приготовить таким образом постоянные экспонаты для демонстрации смещения химического равновесия (стр. 228).

в) *Получение оксида азота N_2O .* В небольшую реторту, в крайнем случае круглодонную колбу на 50 мл, насыпать до половины нитрата аммония NH_4NO_3 . К реторте присоединить небольшую баночку, как на рисунке 251, для собирания образующейся при реакции воды. Трубка, соединяющая баночку с ретортой, доходит до середины банки. Конец отводящей трубки погружен в ванну или чашку с водой. Реторту укрепить в зажиме штатива (круглодонную колбу

¹ Если зеленая окраска не очень яркая, достаточно осторожно несколько раз перелить жидкость из одной пробирки в другую (предварительно охлажденную) или даже взбалтывать жидкость, вынимая на короткое время пробирку из охлаждающей смеси.

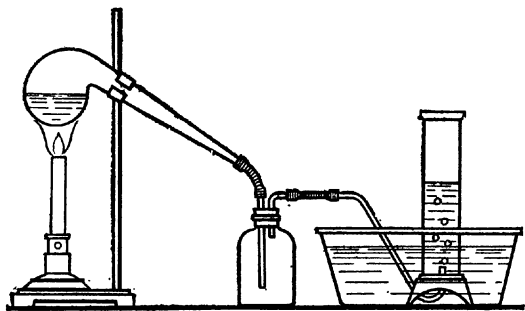


Рис. 251. Получение оксида азота N_2O .

с газоотводной трубкой укрепить в штативе наклонно в сторону пробки).

Осторожно нагревать без сетки реторту (колбу) с нитратом аммония, держа горелку в руке. Соль сначала плавится, а затем начинает разлагаться. Поддерживать такую температуру, чтобы выделение газа было равномерное и не

очень сильное. Когда можно будет думать, что весь воздух из прибора вытеснен, поместить над отверстием газоотводной трубки цилиндр (пробирку) для собирания газов.

Все время внимательно следить за выделением газа и, как только разложение начнет идти быстрее, отнять горелку. При слишком сильном нагревании реакция может пойти очень бурно. При неосторожном нагревании может даже произойти взрыв (*реакция эндотермическая!*). На случай, если бы разложение почему-либо пошло слишком быстро, следует иметь около прибора чашку с водой, в которую и погрузить реторту для охлаждения (подвести чашку под реторту). При наблюдении указанных предосторожностей опыт совершенно безопасен.

Собрав газ в два цилиндра высотой 15—20 см, вынуть из ванны газоотводную трубку и прекратить нагревание. Закрыть цилиндры стеклышками, вынуть их из ванны и поставить на стол. Открыв один из цилиндров, погрузить в него тлеющую лучинку. Она загорается, как в кислороде. Чтобы показать затем, каким образом можно отличить оксид азота N_2O от кислорода, поставить цилиндр с этим оксидом отверстием вниз (не открывая его) на закрытый стеклышком (смазанным вазелиновой мазью), заранее приготовленный второй такой же цилиндр с оксидом азота NO . Если вынуть стеклышки, закрывающие цилиндры, и перемешать газы, то изменений не будет. Если вместо оксида азота N_2O взять кислород, появляется бурое окрашивание от образования оксида азота NO_2 .

Нитрат аммония гигроскопичен. Поэтому если соль влажная, то ее, прежде чем помещать в реторту, предварительно нагревают в фарфоровой чашке до плавления, а затем, дав остыть, разбивают на куски, которые уже и помещают в реторту.

г) *Получение оксида азота N_2O_3* . Оксид азота (III) — синезеленая жидкость с температурой кипения $3,5^\circ C$. При обычной температуре легко разлагается с образованием NO и NO_2 , смесь которых при охлаждении вновь образует N_2O_3 . Как и N_2O_4 , его можно хранить при обычной температуре только в запаянной трубке (пробирке). Его можно получить действием 55,5-процентного раст-

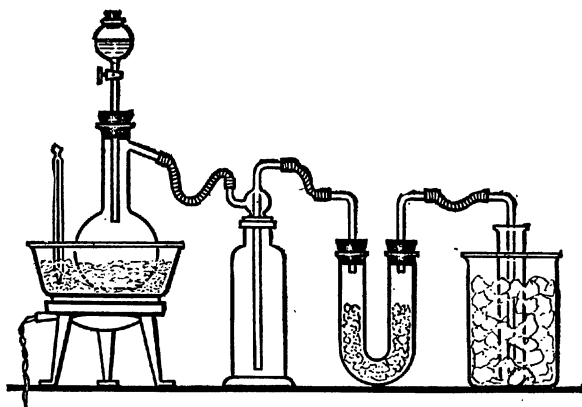


Рис. 252. Получение оксида азота N_2O_3 .

вора азотной кислоты на крахмал при осторожном нагревании до 80°C на водяной бане (рис. 252):

В колбу Вюрца помещают 10 г крахмала, ставят колбу в нагретую до указанной температуры водяную баню и из капельной воронки небольшими порциями приливают раствор азотной кислоты. Смесь газов NO и NO_2 пропускают через пустую промывную склянку, через осушительную трубку с хлоридом кальция и направляют в пробирку, погруженную в охлаждающую смесь. Полученную сине-зеленоватую жидкость переливают в оттянутую пробирку (т. I, стр. 228) и запаивают.

При проведении работы нужно тщательно следить за температурой водяной бани в пределах $80\text{--}82^\circ\text{C}$, так как при пониженной температуре реакция идет слишком медленно, а при более высокой может улетучиваться значительное количество азотной кислоты, загрязняющей конечные продукты. На качество продукта в большой степени влияет также концентрация азотной кислоты. Указанная оптимальная концентрация обеспечивает в этих условиях получение газов NO и NO_2 в эквивалентных количествах. Вещество считается негодным, если жидкость имеет зеленый цвет.

Азотная кислота

ПОЛУЧЕНИЕ АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ

Перечисленные выше опыты получения оксидов азота NO и NO_2 с последующим улавливанием оксида NO_2 водой связаны и с получением азотной кислоты. Для школьных опытов обычно достаточно приборов, упомянутых на страницах 327 и 328. Из более сложных установок можно использовать систему, предложенную М. М. Гос-

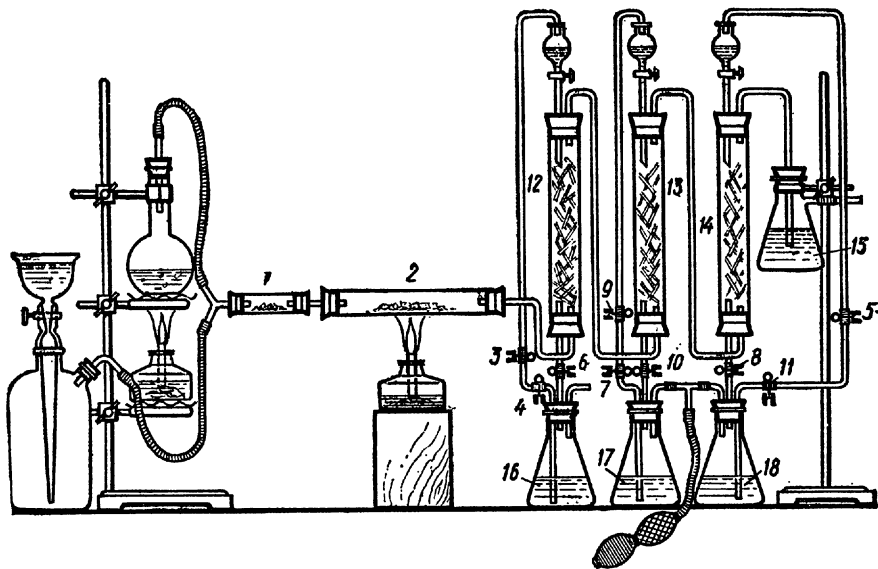


Рис. 253. Действующая лабораторная установка для получения азотной кислоты методом окисления аммиака:

1 — трубка с натронной известью; 2 — контактный аппарат; 3—11 — зажимы; 12—14 — окислительно-поглотительные колонки; 15 — поглотитель оксидов азота; 16—18 — сборники кислоты.

тевым. Она близка к производственной и может быть изготовлена во время внеклассной работы. Устройство и принцип работы установки понятны из рисунка 253.

Однако в таких условиях нельзя получить азотную кислоту значительной концентрации, а для отдельных опытов непригодна даже 65-процентная кислота. Чтобы получить азотную кислоту 98—100-процентной концентрации, пользуются реакцией нитрата калия с концентрированной серной кислотой.

1) Собрать прибор, как на рисунке 254, а, состоящий из реторты (нетугоплавкой на 200 мл с тубулусом и притертой пробкой), помещенной в штативе на сетке, и колбы, служащей приемником. Колбу погрузить в чашку с водой. Насыпать в реторту 40—50 г нитрата калия (калийной селитры). Прилить в реторту через вставленную в тубулус воронку столько концентрированной серной кислоты (плотность 1,84), чтобы после размешивания стеклянной палочкой получилась жидкая кашица. Закрыв реторту, начать нагревание, сначала осторожно, затем сильнее. В колбе довольно скоро набирается несколько миллилитров азотной кислоты, достаточных для испытания. Прекратить нагревание и, дав реторте немного остыть, вынуть ее (захватив полотенцем) из колбы и погрузить концом в укрепленную на штативе вторую колбу, цилиндр и т. п., чтобы пары азотной кислоты по возможности не попадали в воздух.

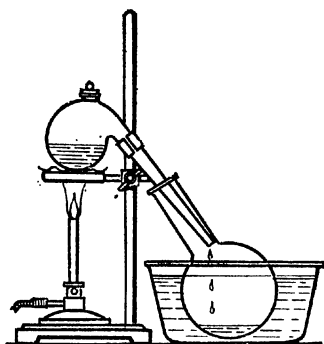
Во избежание растрескивания реторты нагревание ее следует вести на песочной бане.

Показав учащимся полученную азотную кислоту, испытать ее действие на лакмус, индиго или на стружки меди. Индиго нужно взять немного и в слабом растворе. Лакмус от разбавленной азотной кислоты краснеет, а от концентрированной в первый момент краснеет, а затем быстро обесцвечивается. Медные стружки сначала обливают водой, а затем уже приливают кислоту. Последний опыт следует производить под тягой.

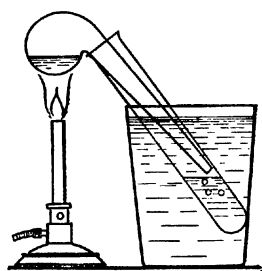
2) За неимением реторты с тубулюсом можно воспользоваться и обыкновенной. Тогда кислоту наливают через длинную воронку (т. I, стр. 122). Смешивание кислоты с селитрой можно произвести осторожным взбалтыванием (рис. 254, б).

3) Если нет даже небольшой реторты, можно воспользоваться круглодонной колбой на 50 мл с отводной трубкой (укрепить колбу немного с наклоном в сторону пробки) или провести опыт в пробирке с корковой пробкой и отводной трубкой (рис. 254, в). Корковая пробка разрушается, но можно вполне успеть отогнать 1—2 мл кислоты. Резиновая пробка для опыта непригодна, так как при разрушении ее образуются темные потеки, сильно загрязняющие кислоту.

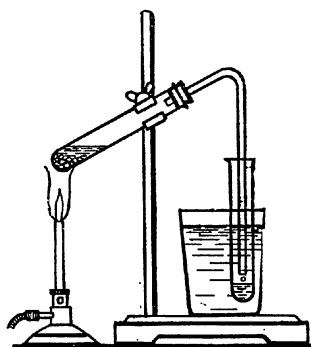
При выполнении опыта следует соблюдать правило предосторожности: не прикасаться фитилем спиртовки к нагреваемой пробирке, иначе она может дать трещину, и горячая жидкость при попадании на кожу рук причинит очень серьезный ожог. Лучше при нагревании реакционной смеси в пробирке или небольшой колбочке подставить под нее блюдечко с песком. При налипании и переливании азотной кислоты не допускать попадания ее на кожу. При кратковременном действии кислоты на коже появляются желтые пятна (реакция кислоты с белком), после чего кожа сохнет и трескается. При сколько-нибудь длительном действии кислота вызывает сильные



а



б



в

Рис. 254. Получение азотной кислоты из селитры.

ожоги и долго незаживающие язвы. При случайном попадании азотной кислоты на кожу необходимо вымыть пораженное место струей воды, затем протереть раствором аммиака или соды, снова вымыть водой, вытереть и смазать вазелином.

СВОЙСТВА АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ

Для некоторых из нижеописанных опытов требуется возможно более концентрированная азотная кислота. Поэтому лучше воспользоваться дымящей кислотой (плотность 1,5; 94%). Эта кислота окрашена оксидами азота в желтый цвет. Ее можно сделать бесцветной, осторожно продувая воздух резиновым баллоном или оксидом углерода CO_2 из газометра. Бесцветную кислоту следует хранить в темноте или в склянке из темного стекла.

1) Обесцвечивание лакмуса, индиго, бумажной ткани. а) Налить в пробирки немного не очень крепкого раствора индиго (т. I, стр. 289) и синего лакмуса (т. I, стр. 286) и прилить концентрированную азотную кислоту (плотность 1,5—1,4). Растворы почти обесцвечиваются (делаются светло-желтыми).

б) Полоску синей бумажной ткани (той же, что употребляется для опыта с хлором, стр. 251) поместить в стакан или чашку и облить концентрированной азотной кислотой. После обесцвечивания сполоснуть водой и показать учащимся. При лабораторном опыте достаточно поместить на ткань одну каплю концентрированной азотной кислоты стеклянной палочкой или лучинкой.

2) Горение в азотной кислоте угля. Для опыта нужно приготовить несколько длинных кусочков древесного угля немного толще карандаша. Удобнее всего воспользоваться угольками для рисования (непресованный древесный уголь). Опыт производят под тягой.

В небольшой стаканчик на 50 мл налить немного концентрированной азотной кислоты (плотность 1,5—1,48) и, поместив стаканчик на сетку на кольцо штатива, нагреть кислоту до кипения. Под стаканчик поставить чашку с водой или песком (рис. 255). Когда азотная кислота закипит, отставить горелку и слегка погрузить в кислоту щипцами предварительно нагретый тлеющий конец угля. Уголь в месте соприкосновения с азотной кислотой раскаляется еще сильнее — образуются бурные пары оксидов азота. Если через некоторое время погрузить уголь глубже в кислоту, он будет продолжать гореть в жидкости.

Стараться не прикасаться нагретым углем к стенкам стаканчика, так как стекло от этого может лопнуть. Конец угля лучше заточить, чтобы его легче было накалить.

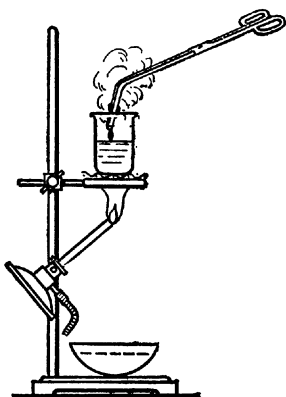


Рис. 255. Горение угля в азотной кислоте.

В меньшем масштабе можно показать опыт и без тяги. Тогда вместо стаканчика лучше взять большую пробирку. Под пробирку поставить чашку с песком. Можно вместо угляка воспользоваться лучинкой. Лучинку зажигают и, когда на конце образуется уголь, гасят, а тлеющий конец опускают в пробирку с азотной кислотой.

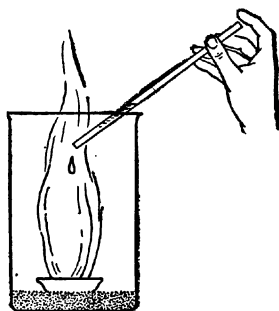


Рис. 256. Воспламенение скипидара в азотной кислоте.

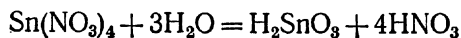
3) Вспышка скипидара. Скипидар вносят по каплям в концентрированную азотную кислоту или лучше в смесь азотной и серной кислот (серная кислота служит для отнятия воды от азотной кислоты). Для внесения скипидара можно воспользоваться пипеткой, но, так как пипетку потом трудно отмыть, лучше вместо пипетки приготовить трубку диаметром 6—7 мм, длиной около 20 см. Опыт следует производить под тягой. В небольшую фарфоровую чашку диаметром 5—6 см налить приблизительно равные объемы концентрированной серной кислоты (плотность 1,84) и концентрированной азотной кислоты (плотность 1,5—1,48). Чашку поставить в большой стакан (или банку) на 3—4 л (рис. 256) с небольшим слоем песка, чтобы не разлетались брызги. Опустить трубочку в склянку со свежим скипидаром, закрыть верхнее отверстие трубочки пальцем, вынуть ее из склянки и, поднеся к стакану, выпускать из нее, как из пипетки, по каплям скипидар, чтобы он попадал в чашечку. Каждая капля загорается большим пламенем.

Скипидар должен быть свежий, неосмоленный. Опыт хорошо удастся и с 65-процентным раствором азотной кислоты. Ее смешивают в чашке с равным объемом концентрированной серной кислоты и перед опытом смесь нагревают до кипения.

4) Действие азотной кислоты на медь и олово. а) В стакан или в пробирку поместить немного медных стружек или мелких кусочков листовой меди, медной проволоки и т. п., в другой стакан или в пробирку — несколько гранул олова.

Азотная кислота для опыта не должна быть концентрированная, лучше всего кислоту плотностью 1,4 разбавить равным объемом воды или плотностью 1,5 — двумя объемами воды. Опыт производить под тягой. Прилить в каждый сосуд разбавленную азотную кислоту. Реакция идет слабо, но постепенно усиливается, и под конец начинается бурное выделение оксидов азота. Пена иногда поднимается до краев, поэтому следует брать стаканы больших размеров.

Когда выделение оксидов азота прекратится, прибавить в стакан, где была медь, воды, чтобы показать синий цвет образовавшегося нитрата меди $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$. Олово дает при реакции оловянную кислоту H_2SnO_3 :



За неимением тяги можно взять очень небольшие количества металлов, которые поместить в возможно большие стаканы или колбы, закрыть их сверху кусками картона и т. п. и, после того как покажутся бурые пары оксидов азота, вынести сосуды из класса.

б) Следующий опыт полезно показать для того, чтобы познакомить учащихся с применением азотной кислоты для травления металлов (рисунки на меди, доски для «офорта», цинковые клише и т. п.).

Медную пластинку или монету покрыть слоем воска (по нагре-тому металлу потереть куском воска). На воске иглой или пером выцарапать какой-нибудь рисунок или надпись, затем сделать из воска бортик, налить азотной кислоты, немного разбавленной водой. Через несколько минут кислоту слить, пластинку промыть водой, высушить полотенцем, нагреть над пламенем и воск стереть тряпкой. На металле остается углубленный рисунок.

5) Действие азотной кислоты на железо. Налить в большую пробирку почти доверху концентрированную азотную кислоту (дымящая, плотность 1,5). В две другие пробирки налить до половины разбавленной азотной кислоты (например, 32-процентную) и разбавленной серной кислоты (1 : 5), опустить в каждую пробирку привязанные на капроновых жилках, вычищенные наждачной бумагой железные гвозди.

В разбавленной азотной кислоте железо сейчас же темнеет, начинается выделение газов, через некоторое время очень бурное. В концентрированной азотной кислоте железо сохраняет свой блеск, и никакой реакции незаметно. Перенести железо из концентрированной азотной кислоты в разбавленную. Сделавшись пассивным, железо не поддается действию разбавленной азотной кислоты.

Точно так же не происходит реакция и при перенесении гвоздя в разбавленную серную кислоту. Сполоснув гвоздь водой и высушив полотенцем, слегка потереть его куском наждачной бумаги и снова погрузить в разбавленную азотную кислоту. Гвоздь сейчас же темнеет, и начинается выделение оксидов азота.

При перенесении гвоздя из концентрированной азотной кислоты в разбавленную не следует тереть и ударять его о стекло, так как при этом пассивный слой может нарушиться. Если не имеется дымящей азотной кислоты, то можно воспользоваться и более разбавленной (плотность 1,48—1,4), но с такой кислотой опыт удастся хуже: после перенесения в разбавленную кислоту железо иногда через некоторое время начинает растворяться. Во всяком случае, для получения пассивного железа концентрированная азотная кислота должна содержать оксиды азота, т. е. должна быть окрашена в желтый цвет. Если имеется чистая бесцветная кислота, то к ней заранее следует прибавить для восстановления несколько капель спирта. Через некоторое время кислота желтеет.

Соли азотной кислоты

СВОЙСТВА СОЛЕЙ АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ

1) Разложение нитратов щелочных металлов при нагревании. Всыпать в пробирку на $\frac{1}{2}$ объема кристаллического нитрата калия, нагреть до плавления, затем продолжать нагревание, испытывая тлеющей лучинкой выделяющийся газ (кислород) до прекращения выделения последнего. Вылить оставшийся в пробирке расплав на жестяную пластинку, по застывании раздробить его на кусочки и растворить в возможно малом объеме воды. К одной части полученного раствора в пробирке с газоотводной трубкой прилить насыщенный раствор хлорида аммония, нагреть, собрать над водой выделившийся газ в другую пробирку и доказать, что это азот (стр. 312). Ко второй части раствора прилить немного серной кислоты: происходит вскипание и выделение бурого оксида азота NO_2 . Параллельно провести два последних испытания с насыщенным раствором нитрата калия, не подвергая соль предварительному нагреванию. Сравнить результаты опытов. Опыт показывает, что при термическом разложении нитратов щелочных металлов образуются нитриты.

2) Разложение нитратов тяжелых металлов при нагревании. В пробирку, соединенную с U-образной трубкой, содержащей раствор синего лакмуса (рис. 257), насыпать немного обезвоженного нитрата свинца (стр. 328) и нагревать до полного разложения соли. Наблюдать свойства выделяющегося газа в левой части U-образной трубки и изменения, происходящие при прохождении газа через раствор лакмуса. Испытать тлеющей лучинкой газ в правой части трубки. Рассмотреть оставшееся в пробирке после разложения нитрата свинца твердое вещество. При охлаждении прилить к нему разбавленной азотной кислоты, подогреть до полного растворения, сливая образующийся раствор в другую пробирку и прибавляя, если надо, новые порции кислоты. Разлить полученный раствор на две части, добавить воды и прилить к одной части разбавленную серную кислоту (образование нерастворимого сульфата свинца), ко второй — раствор иодида калия. Выпавший желтый осадок вместе с жидкостью вылить в колбу с 50—100 мл воды, нагреть до кипения и по растворении охладить. Выпадают золотисто-желтые кристаллы иодида свинца (стр. 209), растворимого в горячей воде.

Опыты позволяют сделать заключение, что при термическом разложении нитратов тяжелых металлов образуется оксид металла и в газообразном состоянии выделяются оксид азота NO_2 и кислород.

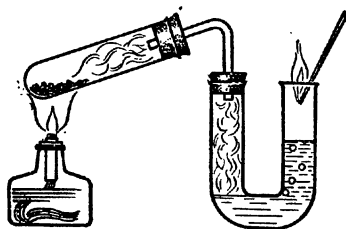


Рис. 257. Разложение нитрата свинца и испытание продуктов реакции.

Окислительные свойства нитратов

1) **Горение угля и серы на расплавленной селитре.** В пробирку насыпать слой высотой около 1 см нитрата калия (селитры KNO_3) и, укрепив пробирку вертикально в зажиме штатива, нагреть до плавления. Когда селитра расплавится и начнется выделение пузырьков газа, бросить в пробирку предварительно нагретый, слегка тлеющий кусочек угля (держат щипцами). Уголек накаливается и, подбрасываемый выделяющимся при горении оксидом углерода CO_2 , прыгает внутри пробирки, иногда выскакивая даже наружу. Не давая углю догореть, бросить в ту же пробирку маленький кусочек (величиной около спичечной головки) серы; она сгорает с ярким светом. Если взять кусочек побольше или бросить в расплавленную селитру сразу после угля несколько кусочков серы один за другим, то раскаливание будет настолько сильным, что пробирка расплавится. В этом случае под нее следует поставить чашку с песком и опыт вести под тягой.

2) **Вспышка черного пороха.** Отвесить 8 г тщательно растертой в фарфоровой ступке в мелкий порошок сухой селитры KNO_3 , 1 г мелкого порошка серы и 1 г мелко истертого сухого порошка угля. Тщательно смешать все три вещества в ступке или на бумаге пластмассовой ложкой или деревянной лопаточкой (*но не пестиком!*). Высыпать смесь на металлическую пластинку, кусок асбестового картона, кирпич и т. п., поджечь длинной горящей или тлеющей лучинкой. Смесь вспыхивает и сгорает почти моментально с выделением облака дыма. Сгорание происходит без звука (как и при вспышке настоящего пороха в таких условиях) и вполне безопасно. Опыт лучше производить под тягой. Если тяги нет, взять только часть указанного количества.

Показать, что вспышка черного пороха происходит не за счет кислорода воздуха. Для этого произвести вспышку пороха в атмосфере оксида углерода CO_2 . В банку или большой стакан поместить на кусочке жести немного пороха (можно настоящего, охотничьего). Наполнить банку оксидом углерода (IV) (стр. 347) из прибора Киппа или из другого прибора. Убедившись при помощи лучинки, что банка наполнилась газом, накаливать конец стеклянной палочки или проволоки и коснуться пороха. Он вспыхнет, как на воздухе.

Глава XIV

ФОСФОР И ЕГО СОЕДИНЕНИЯ

Фосфор

ХРАНЕНИЕ ФОСФОРА И ОБРАЩЕНИЕ С НИМ

Обращение с красным фосфором¹ никаких особенных предосторожностей не требует, хранить его нужно в банке с залитой парафином пробкой (т. I, стр. 152). Красный фосфор в плохо закрытом сосуде постепенно отсыревает и при продолжительном хранении делается непригодным для опытов. Это происходит вследствие медленного окисления (возможно, из-за присутствия следов белого фосфора) с образованием фосфорной кислоты за счет кислорода и влаги воздуха. Такой отсыревший фосфор следует хорошо промыть на фильтре водой и затем, отжав между листами фильтровальной бумаги, высушить при комнатной температуре. Для сушения его лучше рассыпать тонким слоем на листе фильтровальной бумаги. Можно сушить фосфор в фарфоровой чашке на водяной бане. Для быстрого высыхания красный фосфор после промывания водой можно промыть на фильтре спиртом и высушить, расправив фильтр и положив его на сложенный вдвое лист фильтровальной бумаги.

Ожоги от горящего фосфора очень болезненны, дают медленно заживающие раны и, если не принять своевременно мер, опасны, так как могут повлечь воспаление лимфатических сосудов и общее отравление. При ожогах фосфором прежде всего необходимо окислить оставшийся в ране фосфор, для чего применяют раствор ляписа AgNO_3 (1 : 10), которым следует смочить обожженное место. Можно даже приложить на некоторое время смоченную раствором тряпочку или вату. Раствор ляписа при работах с фосфором должен всегда находиться наготове. После смачивания ляписом рану обмывают водой и перевязывают обычным способом стерильной марлей и бинтом. При серьезных ожогах после смачивания обожженного места ляписом и перевязки следует, конечно, обратиться к врачу. Вместо ляписа можно обмыть обожженное место раствором перманганата калия (1 : 10).

¹ Хранить белый фосфор в школьном химическом кабинете запрещено.

СВОЙСТВА ФОСФОРА

1) Превращение красного фосфора в белый. В небольших количествах переход красного фосфора в белый можно показать в пробирке непосредственно на уроке. В пробирку поместить немного (объемом не более горошины) сухого порошка красного фосфора. Закрывать отверстие пробирки ватой и нагревать фосфор в пламени горелки, держа пробирку почти горизонтально. Появляющееся сначала внутри пробирки зеленоватое пламя быстро исчезает, и на стенках пробирки рядом с белым налетом оксида фосфора P_2O_5 появляются мелкие капельки желтого фосфора.

Дать пробирке остыть настолько, чтобы ее можно было держать рукой. Лучше, если остывание происходит в темноте, например в жестяной коробке, так как свежеполученный белый фосфор на свету очень быстро снова частично переходит в красный. Показать застывшие капельки белого фосфора учащимся, а затем, открыв пробирку (вату вынуть пинцетом и бросить в раствор перманганата калия), потереть по внутренним стенкам ее лучинкой. Приставший к ней белый фосфор при вынимании лучинки из пробирки загорается. За неимением в лаборатории фосфора для опыта можно взять смесь веществ с боковой поверхности спичечной коробки, осторожно соскоблив ее ножом.

По окончании опыта пробирку с приставшим на стенках белым фосфором опустить в банку с концентрированным раствором медного купороса или перманганата калия и выдержать там несколько дней до полного окисления остатков фосфора.

2) Свечение белого фосфора. Опыт можно показывать в затемненном помещении или в ящике размером $20 \times 20 \times 20$ см с откидной крышкой и небольшим отверстием в передней стенке. Внутри ящик окрасить в черный цвет.

Пробирку с осевшим на стенках налетом белого фосфора осторожно подвешивают на тонкой проволоке к крючку на откидной крышке внутри ящика (вату из пробирки вынуть) напротив отверстия. Свечение фосфора достаточно заметно через отверстие в передней стенке.

Соединения фосфора

1) Образование оксида фосфора P_2O_5 при горении фосфора уже известно из вышеописанных опытов (стр. 21). На странице 135 была описана реакция между оксидом фосфора P_2O_5 и водой. При достаточном количестве оксида фосфора P_2O_5 можно наблюдать его свойство притягивать влагу из воздуха (объяснение осушающего действия). Для этого вынуть из банки небольшое количество оксида фосфора пластмассовой ложкой и оставить на ней 2—3 мин. Оксид фосфора успевает за это время притянуть из воздуха такое количество влаги, что прилипает к ложке и при поворачивании

ложки от нее не отпадает. Еще через некоторое время почти весь оксид превращается в сплошную тягучую массу. Хранить его нужно, конечно, тщательно закрытым.

2) Получение метафосфорной кислоты растворением оксида фосфора P_2O_5 в воде. В стаканчик с водой (40—50 мл) всыпать 1—2 ложки оксида фосфора. Вода делается мутной вследствие образования медленно растворяющихся сгустков метафосфорной кислоты HPO_3 . Через несколько минут раствор становится прозрачным. Для того чтобы ускорить растворение, жидкость следует все время взбалтывать. Можно, кроме того, слегка нагреть раствор.

Взять немного прозрачного раствора в пробирку и прилить раствор нитрата серебра. Образуется белый осадок метафосфата серебра $AgPO_3$.

Раствор $AgNO_3$ должен быть концентрированный (около 5 г на 25 мл воды), и приливать нужно его достаточное количество, так как иначе образовавшийся осадок сейчас же растворяется в избытке кислоты или даже совсем не выпадает. Ввиду этого не следует приливать раствор соли прямо в стакан с раствором метафосфорной кислоты, а нужно отлить немного раствора в пробирку.

Чтобы показать учащимся твердую метафосфорную кислоту, можно воспользоваться препаратом, поступающим в продажу. Хранить ее нужно в склянке с залитой парафином пробкой. Если имеющаяся кислота плохо сохранилась и покрылась белым налетом, то его можно смыть водой под краном. Чистая метафосфорная кислота совершенно прозрачна и похожа на лед, откуда и название «ледяная».

3) Получение ортофосфорной кислоты из костяной золы. Нужную для опыта костяную золу можно получить обжиганием обыкновенных вываренных говяжьих костей. Обжигать кости удобнее всего в печке на углях, но можно и на хорошей горелке (под тягой или на открытом воздухе). Обжигать нужно до тех пор, пока кость делается почти совершенно белой.

Около 5 г обожженной кости растереть в фарфоровой ступке в мелкий порошок, пересыпать в фарфоровую чашку, прилить около 5 мл воды и столько же концентрированной серной кислоты (плотность 1,84). Нагревать чашку 2—3 мин и затем перелить массу в стакан, разбавить равным объемом холодной воды, отфильтровать немного полученного раствора соли $Ca(H_2PO_4)_2$ во второй стакан и нейтрализовать избыток кислоты аммиаком. Для этого бросить в стакан с раствором лакмусовую бумажку и приливать раствор аммиака, помешивая стеклянной палочкой, пока бумажка посинеет (небольшой избыток аммиака не вредит дальнейшей реакции с солью $AgNO_3$, точно так же как образующееся при избытке аммиака небольшое помутнение).

Часть нейтрализованного раствора отлить в пробирку и прилить раствор нитрата серебра (см. предыдущий опыт). Получается желтый осадок фосфата серебра Ag_3PO_4 .

В растворе не должно быть свободной кислоты, так как в последнем случае получается белый осадок сульфата серебра.

4) Соли ортофосфорной кислоты. а) Образование нормального и кислого ортофосфата кальция можно наблюдать на следующем опыте. Налить в стакан около 50 мл известковой воды $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и прибавлять по каплям однопроцентный раствор ортофосфорной кислоты H_3PO_4 , все время взбалтывая стеклянной палочкой или лучинкой. Сзади поставить черный фон.

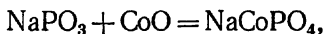
Сначала наблюдается образование мути нерастворимого фосфата кальция. При добавлении фосфорной кислоты осадок растворяется:



б) Образование двойных ортофосфорных солей при реакции между метафосфорными солями и оксидами металлов можно показать на примерах реакций с оксидами кобальта и хрома, дающих цветные соли в виде стекол. Вместо готовой соли метафосфорной кислоты можно воспользоваться солью $\text{NaNH}_4\text{HPO}_4$, которая при нагревании дает метафосфат натрия:



При сплавлении этой соли с оксидами металлов получается двойная соль ортофосфорной кислоты, например:

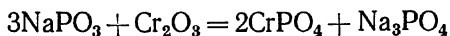


которая растворяется в избытке расплавленного метафосфата натрия, образуя стекло.

В стеклянную пробирку насыпать до половины фосфорной соли и бросить маленький кристаллик какой-нибудь соли кобальта, например нитрата кобальта $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$.

Захватив пробирку металлической держалкой, нагревать соль, держа пробирку наклонно. Сначала выделяется кристаллизационная вода, причем соль плавится и сильно кипит, а затем начинается разложение. По окончании кипения получается тягучая прозрачная масса синего цвета. Наклонив пробирку отверстием книзу над куском жести и т. п., продолжать нагревание массы вдоль пробирки (иначе массу не удастся вылить) и дать ей вытекать отдельными каплями. Получают прозрачные ярко-синие стеклышки, которые можно раздать учащимся.

Тот же опыт можно проделать, взяв вместо соли кобальта оксид хрома Cr_2O_3 или какую-нибудь хромовую соль, например хромовые квасцы $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$. Стекло в нагретом виде почти бесцветно, а при остывании становится ярко-зеленым:



Соединения и кобальта, и хрома следует прибавлять в очень небольшом количестве, так как иначе стекла получаются слишком темные. Нагревание требуется очень сильное, и со спиртовкой опыт производить нельзя.

Глава XV

УГЛЕРОД И ЕГО СОЕДИНЕНИЯ

Термическое разложение древесины

1) Собрать прибор, как на рисунке 258. В пробке, вставляемой в пробирку, сделать отверстие как можно ближе к краю. Испытать, держит ли прибор. Поместить в пробирку лучинки, налить в стакан холодной воды и нагревать пробирку, начиная с доньшка. Зажечь белый дымок, выходящий из отводной трубки. Продолжать нагревание до тех пор, пока все лучинки обуглятся и пока прекратится выделение газов. Дать пробирке остыть и разобрать прибор.

Обратить внимание учащихся на неоднородность жидкости и на запах дегтя в баночке. Испытать жидкость в баночке синей лакмусовой бумажкой: бумажка краснеет вследствие образования при сухой перегонке дерева уксусной кислоты.

Высыпать из пробирки уголь. Обратить внимание на его плотность и звонкость при ударе о стол (это признак хорошо обожженного угля).

2) Можно прибор для лабораторного опыта сделать более простым, как показано на рисунке 259. Продукты сухой перегонки собираются у пробки в той же пробирке, в которой ведется сухая перегонка. Трубочку не следует оттягивать на конце.

Заполнить пробирку на $\frac{2}{3}$ сухими лучинками. Вставить пробку с трубкой и укрепить пробирку на штативе в наклонном положении (рис. 259).

Прогреть конец пробирки и начать сильно нагревать у доньшка, постепенно подвигая пламя к отверстию пробирки. Когда из трубочки пойдут белый дымок, поджечь его. Нагревать содержимое пробирки до тех пор, пока прекратится выделение газов. Дать пробирке немного

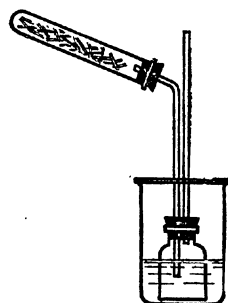


Рис. 258. Термическое разложение древесины.



Рис. 259. Термическое разложение древесины (лабораторный опыт).

остыть. Подставить под отверстие пробирки вторую чистую пробирку и, осторожно приоткрывая пробку, перелить скопившуюся у пробки жидкость во вторую пробирку.

Дальше исследование продуктов сухой перегонки идет, как указано выше.

Если продуктов сухой перегонки мало и различить два слоя жидкостей не удастся, то, вместо того чтобы переливать жидкость в пробирку, можно вылить ее на сложенную в несколько слоев фильтровальную бумагу. Вода впитывается в бумагу, деготь же остается на поверхности.

СВОЙСТВА ДРЕВЕСНОГО УГЛЯ

1) Уголь тяжелее воды. а) Бросить в стакан с водой кусок древесного угля — уголь плавает благодаря своей пористости. Бросить ложку мелко истолченного угля и взболтать. Большая часть порошка тонет.

б) Поместить в пробирку, в которую до $\frac{1}{2}$ ее объема налита вода, несколько мелких кусочков угля, которые плавали бы на воде. Прокипятить воду в течение 1—2 мин. Воздух выходит из пор, и уголь тонет.

2) Поглощение углем газов. Для демонстрации адсорбционной способности угля (и других веществ) служит прибор, изображенный на рисунках 260 и 261. Рисунок 260 показывает применение прибора для опыта с газом тяжелее воздуха (HCl), рисунок 261 — для газа легче воздуха (NH_3). а) Газ тяжелее воздуха собрать (вытеснение воздуха) в обычный цилиндр и закрыть стеклом (это можно сделать до урока). Снять стекло, быстро всыпать в цилиндр ложку измельченного, хорошо прокаленного угля и сейчас же закрыть цилиндр хорошо подогнанной пробкой (лучше резиновой), в которую вставлена стеклянная трубка, соединенная резиновой

с бюреткой. Бюретку укрепляют на штативе и погружают в стакан с подкрашенной водой. При встряхивании цилиндра газ поглощается хорошо прокаленным углем, и вода в бюретке быстро поднимается.

б) Газ легче воздуха собрать в опрокинутый цилиндр. Сняв стекло, в цилиндр вдвинуть снизу свернутую из бумаги коробочку, наполненную углем, и сейчас же закрыть цилиндр пробкой, соединенной с бюреткой. После перекрывания и встряхивания

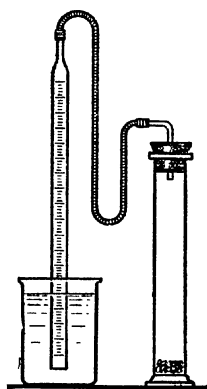


Рис. 260. Поглощение газов углем (1).

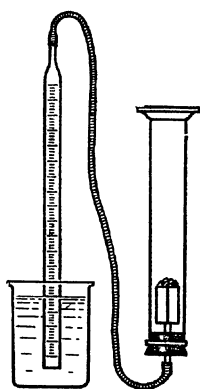


Рис. 261. Поглощение газов углем (2).

цилиндра вода в бюретке сейчас же начинает подниматься.

Нельзя брать слишком большие цилиндры, так как в таком случае воду может всосать в цилиндр.

в) Адсорбционные свойства угля позволяют использовать его для хранения многих предварительно полученных газов, с которыми предполагается проводить демонстрационные и лабораторные работы в классе. «Насытив» активированный уголь газом (паром), при постановке опытов на уроке его можно выделить. Это позволяет во многих случаях обойтись без газометра, не получать газы на уроке, расширить круг лабораторных работ, включив в них опыты с вредными газами, которые обычно не ставят из-за отсутствия тяги.

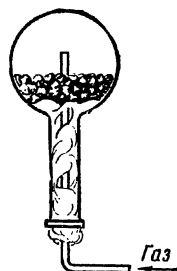


Рис. 262. Поглощение газов углем (3).

При подготовке опытов газы адсорбируют предварительно прокаленным в тигле активированным углем. Сухой активированный уголь насыпают в колбу и пропускают осушенный газ, все время энергично встряхивая колбу и периодически охлаждая ее водой (при адсорбции выделяется значительное количество тепла). Если адсорбируемый газ легче воздуха, например аммиак, колбу опрокидывают вверх дном (рис. 262). После насыщения газом уголь насыпают в банку, закрывают ее резиновой пробкой и наклеивают этикетку, например: «Уголь (+SO₂)», «Уголь (+HCl)» и т. д. Для каждого газа следует заготовить вторую банку, в которую сыпают отработанный после опытов уголь; на эти банки наклеивают этикетки с такими надписями: «Уголь (—SO₂)», «Уголь (—HCl)» и т. д. Не следует смешивать уголь, десорбированный от различных газов, так как полной десорбции не наступает даже при сильном нагревании. После прокаливания десорбированный уголь снова можно насытить тем газом, который он адсорбировал ранее.

Пример использования угля, насыщенного газом: при изучении физических свойств хлора в пробирку насыпают несколько крупинок угля (+Cl₂) и слегка подогревают. При этом хорошо ощущается запах хлора и видна его окраска. При постановке опытов, характеризующих взаимное вытеснение галогенов, в пробирку наливают 2—3 мл раствора бромида натрия и бросают несколько крупинок угля (+Cl₂). Вследствие вытеснения брома хлором жидкость принимает бурое окрашивание.

г) Для иллюстрации действия противогаса можно воспользоваться прибором, изображенным на рисунке 263.

В склянку Тищенко 1 (т. 1, стр. 270) наливают хлорную воду, в склянку 4 и 5 — раствор крахмала с раствором иодида калия. В склянку Тищенко для сухих веществ 2 помещают уголь, измельченный в кусочки (со спичечную головку или в 2—4 раза больше) и отсеянный от пыли, во вторую такую же склянку 3 — обыкновенную вату.

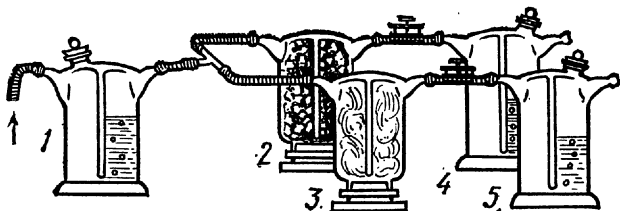


Рис. 263. Иллюстрация действия противогаса:

1 — склянка с хлорной водой; 2 — склянка с углем; 3 — склянка с ватой; 4 и 5 — склянки с раствором крахмала.

Продувают или просасывают при помощи водоструйного насоса или аспиратора воздух через всю систему. Сразу же отчетливо видно, что содержащийся в воздухе хлор задерживается в склянке с углем и не задерживается в склянке с ватой, так как раствор крахмала в склянке 5 быстро синееет, такой же раствор в склянке 4 остается бесцветным. Для того чтобы воздух шел через склянки с одинаковой скоростью, ток воздуха регулируют винтовыми зажимами на резиновых трубках.

При продолжительном пропускании воздуха или при быстром его токе хлор начинает через некоторое время «проскакивать» через склянку 2 и жидкость в склянке 4 синееет.

Склянки 1, 4 и 5 могут быть заменены иными промывными склянками (т. I, стр. 270), склянки 2 и 3 — колонками (т. I, стр. 272) или широкими трубками.

д) Параллельно с только что описанным опытом для разъяснения устройства противогаса полезно показать, что уголь не удерживает дыма, вата же удерживает.

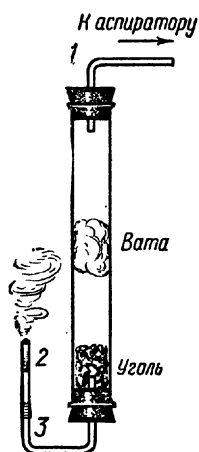


Рис. 264. Иллюстрация действия противогаса.

Прибор В. Н. Верховского, иллюстрирующий действие противогаса (рис. 263), можно заменить прибором, изображенным на рисунке 264. Вместо пяти склянок Тищенко берется широкая стеклянная трубка диаметром 3—4 см и длиной 35—40 см, закрытая с обоих концов резиновыми пробками. В верхнюю пробку вставляют газотводную трубку, соединенную с аспиратором, в нижнюю пробку — согнутую стеклянную трубку, на которую плотно надета папироса. Для большей герметичности место соединения трубки с папиросой следует обмотать изоляционной лентой. В нижнюю часть трубки насыпают активированный уголь, в среднюю часть вставляют рыхлый тампон из ваты.

Открывая кран аспиратора, поджигают папиросу, которая начинает «куриться». При этом отчетливо видно, что уголь не поглощает табачного дыма, а вата задерживает его.

3) Адсорбция углем растворенных веществ. а) В стакан со слабым раствором индиго (т. I, стр. 289) прибавить немного раствора сульфида аммония (NH_4S) или сероводородной воды. Показать и дать понюхать раствор учащимся. Всыпать в раствор несколько ложек измельченного в порошок древесного угля и, хорошо взболтав стеклянной палочкой, профильтровать через слоеный фильтр (т. I, стр. 245) в колбу или второй стакан. Фильтрат получается бесцветный и без запаха.

б) Показать принцип действия адсорбционного фильтра, имеющего большое применение в технике. Для опыта нужна широкая стеклянная трубка диаметром 3—4 см и длиной 40—50 см, снабженная пробкой со вставленной в нее короткой трубкой, на которую надета резиновая трубка с зажимом (рис. 265). В трубку насыпают небольшой слой битого стекла или крупного гравия и затем почти доверху крупнозернистый уголь.

В трубку, укрепленную на штативе, приливать понемногу слегка подкрашенную индиго, фуксином или чернилами воду. Приоткрывая зажим, выпускать через слой угля воду в стакан. Регулируя отток воды, можно добиться того, что вода будет вытекать из трубки совершенно обесцвеченная.



Рис. 265. Адсорбционный фильтр.

Оксид углерода CO_2

ПОЛУЧЕНИЕ ОКСИДА УГЛЕРОДА CO_2

Оксид углерода CO_2 удобнее всего получить действием соляной кислоты на мрамор. Мрамор следует разбить молотком на куски с орех величинной. Соляная кислота должна быть разбавленная: на 1 объем кислоты (плотность 1,12) 1 объем воды или на 1 объем кислоты (плотность 1,19) 4 объема воды. С более концентрированной кислотой реакция идет слишком бурно.

Наиболее удобный прибор для получения оксида углерода CO_2 — это прибор Киппа (т. I, стр. 265), но можно воспользоваться и любым другим достаточно большим прибором, так как для большинства опытов требуется сильная струя газа. Сушить и промывать газ в школьных опытах нет необходимости.

Мрамор для получения оксида углерода (IV) можно заменить известняком. Если же имеется только мел, то на порошок его действуют серной кислотой (1 : 5). При получении газа действием кислоты на соду кислоту приливают по каплям через воронку с краном (т. I, стр. 122). Очень удобно пользоваться специальными баллонами, наполненными оксидом углерода CO_2 .

1) Наполнение оксидом углерода CO_2 сосудов. а) Приготовить изогнутую, как на рисунке 266, толстую проволоку или металлическую пластинку, подходящую к большому стакану или банке на 4—6 л. На каждую ступеньку полученной лестницы укрепить по небольшому кусочку елочной свечи.

Зажечь свечи и, опустив до дна сосуда газоотводную трубку от аппарата для получения оксида углерода CO_2 , пустить сильный ток газа. Когда погаснет предпоследняя свеча, пропускать газ еще некоторое время и показать, что верхняя свеча при этом не гаснет, так как газ стекает через край сосуда.

«Ступеньки» лестницы не должны быть слишком узкие, так как в последнем случае от пламени нижних свечей будут подтаивать и падать верхние. Вместо того чтобы укреплять свечи на лесенке, можно прикрепить к куску картона несколько свечей разной длины и опустить вместе с картоном в сосуд.

б) При лабораторном опыте прибор для получения оксида углерода CO_2 может быть очень простым — из любого пузырька, банки и т. п., закрытого пробкой с газоотводной трубкой. Для доливания кислоты во время опыта просто приоткрывают пробку.

Собирать газ можно в любой большой сосуд: батарейный стакан, банку и т. д.

Лесенку и другие приспособления можно для лабораторного урока не делать. Учащиеся могут следить за наполнением сосуда, опуская в него время от времени зажженную длинную лучинку. Опускать нужно быстро, особенно если сосуд невелик, так как при медленном опускании в сосуде образуется ток воздуха и часть оксида углерода CO_2 уходит из сосуда.

2) Тушение свечи оксидом углерода CO_2 . К картонному кружку прикрепить маленький огарок восковой или парафиновой свечи. Опустить кружок со свечой в стакан на 150—200 мл. Зажечь лучинкой свечу в стакане. Затем из наполненного во время предыдущего опыта оксидом углерода CO_2 сосуда вынуть лесенку со свечами. Погрузить в сосуд стакан на 600—700 мл. Вынув стакан, перелить содержащийся в нем газ в стакан с горящей свечой. Свеча сейчас же гаснет.

При зачерпывании оксида углерода (IV) погружать стакан в сосуд не спеша, осторожно и, погрузив, несколько секунд подержать его там. При выливании оксида углерода CO_2 следует стакан с газом поднести близко к стакану со свечой, не наклоня раньше времени, а затем плавно на-

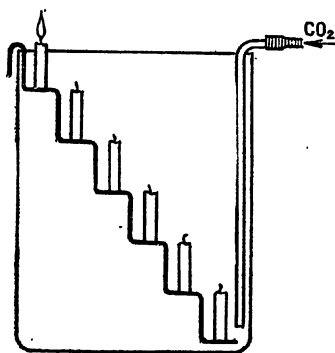


Рис. 266. Наполнение сосуда оксидом углерода CO_2 .

клонить так, чтобы край одного стакана прикасался к краю другого. После небольшого навыка опыт удастся хорошо.

Прежде чем начинать опыт, полноту наполнения сосуда можно испытать зажженной лучинкой.

3) Тушение горящего бензина. Выливая значительное количество оксида углерода CO_2 , можно потушить большой пламя. Поэтому газ этот применяют для тушения пожаров (огнетушители) особенно в тех случаях, когда горят вещества, которые нельзя тушить водой, например: нефть, керосин, бензин (жидкости, не смешивающиеся с водой и легче воды). Можно показать опыт тушения газом большого пламени бензина.

Добавить оксид углерода CO_2 в употреблявшийся для предыдущих опытов большой сосуд. Налить в тонкостенный стакан (жестянку и т. п.) на 500—600 мл 5—10 мл бензина. Стакан поместить в фарфоровую чашку и т. п. на случай, если бы он во время опыта лопнул. Отставить склянку с бензином подальше в сторону и зажечь бензин в стакане, бросив в него зажженную спичку. Когда бензин разгорится, влить в стакан с бензином немного воды, чтобы показать, что вода непригодна для тушения горящего бензина (он плавает на поверхности воды и продолжает гореть), и затем залить пламя оксидом углерода CO_2 .

Вливая воду в стакан с горящим бензином, стараться не попадать на горящие стенки стакана, чтобы он не лопнул. При заливании пламени углекислым газом банку с ним нужно поднести к самому стакану и затем плавно опрокинуть, почти касаясь краем банки края стакана. Бензина не нужно наливать слишком много. Опыт обыкновенно удается хорошо, но на всякий случай следует приготовить кусок картона, которым можно было бы прикрыть стакан, чтобы при необходимости затушить бензин.

4) Диффузия оксида углерода CO_2 . Для того чтобы у учащихся не составилось ложного представления, будто оксид углерода (IV) настолько «тяжел», что остается в сосуде неопределенно долгое время, полезно проделать опыт с его диффузией.

Наполнить газом 3—4 одинаковых стакана (чайных). Оставить их открытыми и через каждые 10 мин испытывать, быстро опуская горящую лучинку сначала в первый стакан, а затем во второй и т. д.

5) Растворение оксида углерода CO_2 в воде. а) Наполнить газом склянку на 3—3,5 л. Закрыть склянку пробкой. Погрузить склянку в чашку с водой, лучше холодной, и вынуть пробку. Вода начинает понемногу заполнять склянку с газом.

Когда немного воды войдет в склянку, дальнейшее растворение газа можно усилить встряхиванием склянки, причем горлышко склянки должно, конечно, оставаться под водой. Склянка заполняется водой меньше, чем до половины.

б) Наполнить газом небольшую баночку или пробирку, влить в нее около $\frac{1}{3}$ объема холодной воды, закрыть ладонью и сильно взболтать. Сосуд «присасывается к руке». Объяснить почему.

в) Наполнить сухую пробирку оксидом углерода CO_2 . Налить около половины пробирки холодной воды, закрыть пальцем и отметить уровень воды колечком, отрезанным от резиновой трубки. Сильно встряхнуть пробирку, погрузить отверстием в стакан с водой и отнять палец. Вода входит в пробирку почти доверху.

Для сравнения повторить опыт с воздухом.

г) Растворение оксида углерода (IV) в воде под давлением и выделение обратно при уменьшении давления было описано выше (стр. 173).

б) **Горение магния в оксиде углерода CO_2 .** Для опыта нужна большая склянка для сжигания веществ в кислороде (на 2,5—3 л) или другой какой-либо широкогорлый сосуд.

Магний берется в виде ленты. Кусок ленты длиной 35—40 см свертывают в плотную спираль. Для этого ленту следует туго накрутить на толстую проволоку или стеклянную трубку. Концы длиной 8—10 см оставить прямыми и загнуть так, чтобы они были направлены по оси спирали.

Наполнить склянку оксидом углерода CO_2 (при наполнении испытывать время от времени горящей лучинкой). Взять ленту за один конец щипцами, зажечь другой конец в пламени горелки и опустить в склянку с газом, стараясь по возможности не касаться пламенем горлышка склянки. Лента продолжает гореть со слабым треском. На случай, если бы лента погасла, рядом должна стоять горелка. Опускать ленту нужно не слишком быстро и не слишком медленно. После небольшой практики легко научиться так опускать ленту, чтобы она не гасла.

После того как реакция прекратится, опустить в склянку почти до дна резиновую или стеклянную трубку и резиновой грушей или просто ртом выдуть из склянки белый дым жженой магнезии MgO . Для растворения магнезии, осевшей на дне и стенках склянки, влить в склянку немного соляной кислоты (плотность 1,12), несколько раз взболтать и перелить жидкость в химический стакан, в котором ее немного нагреть. Вскоре вся магнезия растворится, и в жидкости останутся только кусочки угля, отчасти имеющие форму обрывков ленты магния. Кроме того, магнезия довольно быстро растворяется в не сильно нагретой (заранее) кислоте. Немного больше времени затрачивается на растворение ее взбалтыванием без нагревания.

Можно, наконец, обойтись и без растворения оксида магния, а лишь показать учащимся полоски этого оксида, сохраняющие форму взятой ленты. Они частью белые, частью черные от получающегося при реакции угля.

Более убедительно проходит опыт горения в оксиде углерода CO_2 не ленты, а стружки магния, так как при этом образуется довольно большой слой угля. В ложечке для сжигания веществ поджечь стружки магния (нагревая ложечку в пламени горелки), а затем опустить в банку с газом. Магний сильно разгорается. По окончании опыта в ложечке на поверхности будет находиться белый слой оксида магния, а под ним большое количество угля.

Оксид углерода CO

ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ОКСИДА УГЛЕРОДА СО

1) Получение оксида углерода СО при разложении муравьиной кислоты. Опыт производить только под хорошей тягой, так как оксид углерода (II), образующийся в результате реакции, совершенно не имеет запаха и крайне ядовит.

В колбочку на 150 мл прилить 5 мл муравьиной кислоты (плотность 1,2) и 20 мл концентрированной серной кислоты (плотность 1,84). Сейчас же начинается энергичное выделение оксида углерода СО. Вставить в горло колбочки пробку с газоотводной трубкой, изогнутой для собирания газа над водой (рис. 267). Конец газоотводной трубки погрузить в ванну или в чашку с водой. Когда весь воздух будет вытеснен, собрать газ в цилиндр высотой 25—30 см.

Закреть цилиндр под водой стеклышком, вынуть из ванны и поставить на стол. Сняв стеклышко, зажечь оксид углерода СО и вливать в цилиндр воду из кружки, пока весь газ сгорит. Можно также зажечь газ у отверстия газоотводной трубки.

Чтобы показать, что при горении оксида углерода СО образуется оксид углерода СО₂, подержать над пламенем стакан, увлажненный известковой водой.

После того как реакция почти окончится, не вынимая прибора из-под тяги, налить в колбочку воды доверху, чтобы вытеснить оставшийся в ней газ. Только после этого прибор можно разобрать и вымыть.

Вместо муравьиной кислоты для получения оксида углерода СО можно воспользоваться муравьинокислым натрием NaHCO₂. Соль следует брать мелкокристаллическую. Опыт производят в колбочке или в большой пробирке диаметром 1,5—2 см. Чайную ложку соли обливают равным объемом концентрированной серной кислоты. При покачивании сосуда рукой кислота смачивает соль, и обычно сразу же начинается выделение оксида углерода (II). Если газ выделяется слабо, можно смесь слегка подогреть. Далее опыт производят, как указано выше.

2) Получение оксида углерода СО при горении угля. Для получения оксида углерода СО при горении угля можно поставить следующий опыт. Стеклообразную трубку диаметром 1—2 см (рис. 268) наполняют кусочками древесного угля и закрывают с обоих концов резиновыми пробками со вставленными в них стеклянными трубками. Уголь перед опытом нагревают в закрытом сосуде. Один конец стеклянной трубки соединяют с газометром, наполненным кислородом (или с прибором для полу-

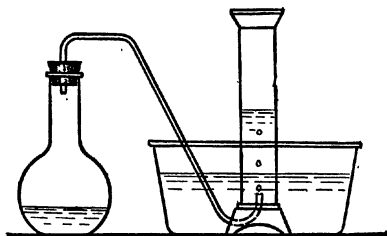


Рис. 267. Получение оксида углерода СО (I).

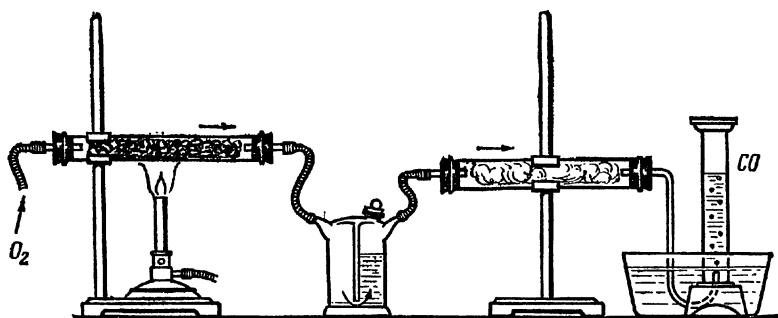


Рис. 268. Получение оксида углерода CO (2).

чения кислорода), а другой — со склянкой Тищенко, в которую налит раствор щелочи. Склянка Тищенко соединена резиновой трубкой со стеклянной, заполненной (рыхло) ватой.

Вначале нагревают уголь, а затем через него пропускают кислород. Уголь горит. (Уголь должен быть посередине трубки и не менее чем на 4—5 см от пробки, чтобы она не загорелась во время опыта.) Образующийся при горении угля оксид углерода CO_2 при своем движении через раскаленный уголь восстанавливается до оксида углерода CO. Невосстановленный оксид углерода CO_2 поглощается в склянке Тищенко раствором щелочи. Образующийся при нагревании дым задерживается ватой.

Оксид углерода CO собирают над водой и затем поджигают: газ горит синим пламенем.

4) Оксид углерода CO как восстановитель. а) При очень хорошей тяге можно показать восстановление оксидом углерода CO оксида меди CuO . Газ, получаемый действием серной кислоты на муравьиную кислоту (стр. 351), пропускают над помещенным в трубку

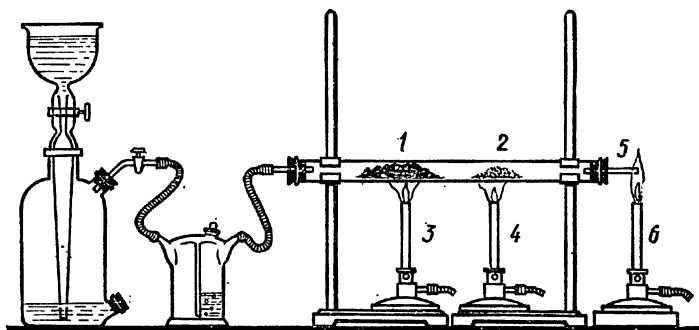


Рис. 269. Восстановление оксида меди оксидом углерода CO:

1 — древесный уголь; 2 — оксид меди CuO ; 3, 4 и 6 — горелки; 5 — газотводящая трубка.

нагретым оксидом меди CuO . Опыт ставят в тех же условиях, что и опыт с восстановлением оксида меди водородом (стр. 80).

б) При плохой тяге или при отсутствии тяги для опыта можно воспользоваться прибором, изображенным на рисунке 269. Прибор состоит из трубки длиной около 30 см и диаметром 1,5—2 см. Трубку лучше взять тугоплавкую, но если такой трубки нет, то можно обойтись и обыкновенной трубкой длиной 25—30 см и диаметром 1—2 см.

В трубку насыпают слой 1 мелких кусочков древесного угля, отсеянных от пыли, и на расстоянии 3—4 см от слоя угля — небольшую кучку 2 зернистого оксида меди CuO . К трубке с одного конца присоединяют через склянку Тищенко (т. I, стр. 270) с небольшим количеством серной кислоты газометр с кислородом. С другой стороны в пробку вставляют отводную трубку 5, конец которой помещают в пламени горелки 6 для сжигания образующегося оксида углерода CO . Под трубку ставят две сильные горелки 3 и 4 (газовые или Бартеля и т. п.). Со спиртовками опыт идет хуже.

При нагревании уголь загорается в токе кислорода. При горении сначала получается оксид углерода CO_2 , а затем он восстанавливается накалившимся углем до оксида углерода CO . Последний восстанавливает оксид меди CuO .

Промывная склянка служит для того, чтобы следить за током кислорода. Прибор выставляют на демонстрационный стол в собранном виде.

Объяснив устройство прибора и цель опыта, прогреть слой угля горелкой 3 и затем сосредоточить нагревание в части трубки ближе к газометру. Прогреть оксид меди горелкой 4 и поставить горелку под трубку. Зажечь горелку 6. Пустить сначала слабый ток кислорода, а затем, когда уголь загорится, отрегулировать ток кислорода так, чтобы горение угля постепенно распространялось все дальше и дальше. Постепенно передвигать горелку 3.

Через некоторое время оксид меди CuO начинает превращаться в красную медь. Когда процесс закончится, загасить горелки 3 и 4 и продолжать пропускать кислород, пока трубка охладится и уголь погаснет или догорит. После этого загасить горелку 6.

Г л а в а XVI

МЕТАЛЛЫ

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ

1) **Превращение металлов в пары.** Превращение металлов в пары удобно наблюдать на калии, который легко испаряется и пары которого имеют красивый зеленый цвет. Для нагревания калия можно воспользоваться тугоплавкой трубкой с шариком посередине (т. I, стр. 345). К одному концу этой трубки присоединить прибор для получения водорода, в другой конец вставить на корковой пробке трубочку, лучше из тугоплавкого стекла, со слегка оттянутым и загнутым под прямым углом концом. Трубочку с шариком укрепить в зажиме штатива горизонтально.

Отрезать ножом и очистить от корки кусочек калия таких размеров, чтобы он мог свободно войти в отверстие шариковой трубки. Вложить кусочек калия в трубку и протолкнуть стеклянной палочкой или лучинкой в шарик. Вставить пробку и пустить ток водорода. Испытать, чистый ли идет водород (стр. 61). Когда весь воздух из шариковой трубки будет вытеснен (*испытать!*), зажечь водород у отверстия трубки. Затем, осторожно прогреть шарик, сильно нагреть калий. Шарик наполняется зелеными парами калия, хорошо видными издали, особенно если сзади трубки поставить белый экран. Пламя водорода, горящего у конца трубки, окрашивается в фиолетовый цвет. Ток водорода из прибора для его получения не должен быть очень сильным. Шариковая трубка служит только один раз. Ее можно заменить пробиркой.

2) **Теплопроводность металлов.** Теплопроводность металлов можно иллюстрировать на металлических палочках в стеклянных трубках, которые используются для наблюдения металлического блеска.

Один конец палочек освободить от парафина, все одновременно опустить этим концом в горячую воду (исключая металлы, реагирующие с водой) и следить за последовательностью расплавления парафина на другом конце палочки, находящемся над водой. (Не забыть после опыта снова залить парафином второй конец палочки.)

Вместо парафина можно на верхний конец металлической палочки нанести теплочувствительную краску $\text{Ag}_2[\text{HgI}_4]$ и следить за последовательностью изменения ее окраски. После опыта краску снять и заменить парафином (о приготовлении этой краски см. в т. I, стр. 309).

Для опыта по теплопроводности можно воспользо-

ваться кусками металлической проволоки — медной, железной, алюминиевой — по возможности равного диаметра. Один конец проволоки покрыть парафином, а концы, свободные от парафина, опустить одновременно в горячую воду.

3) Электропроводность металлов. Для наблюдения электропроводности металлов удобно пользоваться прибором, изображенным на рисунке 270.

Опустить разомкнутые концы проводов в сосуд, где под керосином находится металлический натрий (калий), не касаясь металла, и убедиться, что керосин не проводит электрического тока. Коснуться концами проводов кусочка металлического натрия (калия), очищенного от корки продуктов окисления, и убедиться, что щелочные металлы хорошо проводят электрический ток.

Электропроводность всех металлов можно испытать на металлических палочках, залитых в стекло. Разомкнутыми проводами, просверливая слой парафина, касаться металла с двух сторон и убедиться, что все металлы являются проводниками тока.

4) Получение сплава Вуда. Для того чтобы показать, насколько значительно температура плавления сплава может отличаться от температур плавления входящих в сплав металлов, обыкновенно пользуются сплавом Вуда. Температура плавления его лежит около 70°C . Сплав Вуда можно купить, но можно легко приготовить и в школьной лаборатории. Для приготовления небольшого количества сплава нужно отвесить 10 г олова, 7 г кадмия и 40 г висмута. Так как при сплавлении металлы сильно окисляются и пропорция при этом нарушается, то сплавление следует производить под слоем парафина или канифоли, если можно, под тягой.

Поместив в железный тигель или чашку отвешенное олово, прибавить столько расплавленного парафина, чтобы он покрыл кусочек олова слоем 1 см. Нагреть железный тигель (чашку) до плавления олова, а затем прибавлять остальные металлы в том порядке, в каком они перечислены, все время размешивая железной проволокой и время от времени подогревая, пока получится однородный сплав. Дать сплаву застыть и затем, слив парафин, вынуть сплав из тигля и вытереть тряпкой оставшийся на нем парафин. После этого сплав можно снова расплавить в фарфоровой чашке

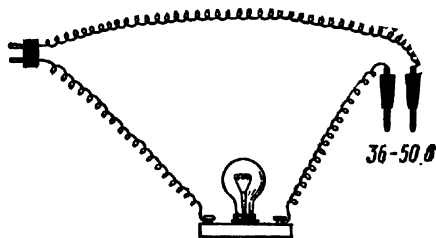


Рис. 270. Прибор для определения электропроводности металлов.

и отлить в палочки при помощи формы, свернутой из плотной бумаги (навернуть бумагу на стеклянную палочку или трубку, обвязать ниткой, вынуть стеклянную палочку или трубку и закрыть один конец формы деревянной палочкой). Сплав плавится в кипящей воде.

5) Приготовление сплава олова и свинца (припоя). Отвесить на весах 20 г свинца и 40 г олова. Навески металлов поместить в железный тигель, который поставить на кольцо штатива и нагревать в пламени спиртовки или горелки. Расплавленные металлы перемешивать железной проволокой.

Приготовить для сплава бумажную форму. Для этого толстый карандаш или стеклянную трубку длиной около 15 см обернуть несколькими слоями бумаги так, чтобы получилась бумажная трубочка длиной 20 см и остался свободный конец карандаша длиной 2—3 см. Свободный конец бумажной трубочки загнуть и привязать к карандашу ниткой, которой обмотать всю трубочку, и после этого вытащить карандаш. Расплавленную смесь металлов вылить в бумажную форму через вороночку, свернутую из куса жести. Когда сплав застынет, освободить его от бумаги.

Поддерживать щипцами кусочек медной пластинки в пламени горелки, пока он потеряет свой блеск. Положить кусочек припоя на окисленную медь и нагреть. Припой не пристает к окисленной меди. Положить на пластинку вместе с припоем немного хлорида аммония и повторить опыт. Вместо хлорида аммония можно взять соляную кислоту или раствор хлорида цинка. Эти вещества растворяют оксиды металлов.

6) Отпуск и закалка стали. Нагреть конец кухонного ножа (вязальной спицы и т. п.) в пламени горелки докрасна и дать ему медленно остыть. При помощи плоскогубцев загнуть конец ножа под прямым углом и снова выпрямить, чтобы показать, что при отпуске сталь делается мягкой. Снова нагреть нож до красного каления и быстро погрузить его в стакан с холодной водой. Отломить плоскогубцами конец ножа — сталь становится очень хрупкой. Провести острым краем ножа черту по стеклу, чтобы показать большую твердость закаленной стали.

Для демонстрации постепенного отпуска стали следует вычистить закаленную часть кухонного ножа наждачной бумагой до блеска и затем, нагревая нож осторожно и постепенно в пламени горелки, обратить внимание учащихся на то, как поверхность металла сначала желтеет, затем синеет и, наконец, делается серой. Между этими основными цветами наблюдается ряд переходных. По цвету поверхности металла (стали) судят о степени отпуска.

ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАЛЛОВ

1) Обогащение руд флотацией. Взять немного обычного песка (кремнезема), опустить в пробирку с водой, взболтать и наблюдать, что происходит с кремнеземом. Такой же опыт проделать с суль-

фидом железа. Смешать равные объемы песка и сульфида железа, опустить в пробирку с водой, взболтать и наблюдать, что происходит со смесью. Добавить к этой смеси немного скипидара или растительного масла и продуть через пробирку воздух с помощью стеклянной трубки или резиновой груши. Результаты сравнить с предыдущим опытом. По мере удаления пены вместе с рудой добавить еще масла и продолжать продувание воздуха до тех пор, пока большая часть руды будет извлечена из «пустой» (не содержащей металла) породы. Такой способ обогащения называется флотацией. По этому же принципу обогащают руды на производстве.

Вместо сульфида железа можно взять оксид марганца MnO_2 . Воздух продуть не всегда обязательно.

В качестве пустой породы при демонстрации опыта удобнее всего пользоваться не естественными примесями руды, а более отчетливо заметным белым порошком измельченного в ступке фарфора. Для этого куски фарфора (битые фарфоровые чашки, тигли, ступки, штепселя, ролики и т. п., но не фаянсовые тарелки) разбивают в фарфоровой ступке и затем истирают в мелкий порошок.

В качестве руды можно взять графит из карандаша (флотация без применения масла), серный колчедан или за неимением его обычный сульфид железа. Для флотации с применением масла можно взять обычное подсолнечное или иное жидкое растительное масло.

2) Флотация сульфидов металлов. Смешать на куске бумаги примерно 2 объема порошка фарфора и 1 объем порошка сульфида металла (FeS_2 или FeS). Общий объем около 1 мл. Всыпать смесь в пробирку. Прилить около $\frac{1}{4}$ пробирки воды и примерно столько же подсолнечного или другого растительного масла. Закрывать пробирку пальцем и взболтать (не слишком сильно). Дать отстояться. Окрашенное в черный цвет масло всплывает. На дно садится почти белый осадок порошка фарфора.

Для опыта берется большее количество масла, чем практикуется на обогатительных установках. Это приходится делать потому, что при малом количестве масла отдельные капли плохо сливаются между собой и часть масла, отяжеленного осадком, остается на дне. При указанном же количестве масла оно почти полностью собирается в верхнем слое. Следует помнить, что полного отделения руды от пустой породы достигнуть нельзя.

За неимением серного колчедана и сульфида железа тот же опыт можно проделать с мелким порошком меди, полученным восстановлением оксида меди водородом. К воде полезно прибавить несколько капель раствора серной кислоты. Вместо порошка фарфора можно взять мелкий песок, лучше белый.

3) Восстановление оксидов металлов углем. а) Взять кусок древесного угля величиной с кулак, посередине его сделать небольшое углубление, поместить туда порошок оксида свинца (глета) и паяльной трубкой направлять восстановительное светящееся пламя спиртовки на оксид свинца до тех пор, пока в углублении

угля появится блестящая капелька металла. Ее называют «корольком».

б) Насыпать в пробирку немного угольного порошка. Туда же поместить немного зерненого оксида меди и поверх него снова угольного порошка. Закрывать пробирку пробкой с газоотводной трубкой и укрепить в зажиме штатива. Свободный конец газоотводной трубки опустить в пробирку с прозрачным раствором известковой воды. Пробирку с порошком нагреть и обратить внимание на изменения в пробирке с известковой водой.

Через 6—7 мин отставить известковую воду, прекратить нагревание и дать пробирке остыть. После охлаждения содержимое пробирки высыпать на бумагу, осторожно сдуть угольный порошок и обратить внимание на изменение, происшедшее с оксидом меди.

4) Восстановление оксидов металлов водородом (стр. 80 и 123).

5) Восстановление одних металлов другими. Приготовить смесь порошков оксида меди и магния в отношении 10 : 3, поместить в железный тигелек и нагреть. Лучше и безопаснее опыт производить на асбестовом картоне, но ни в коем случае не в пробирке (реакция протекает очень бурно, часто со взрывом, и осколки пробирки могут поранить). На дне тигля остается красный порошок металлической меди.

6) Опыт с термитом. а) Смесь оксида железа Fe_2O_3 с порошком алюминия лучше всего взять готовую. Эта смесь применяется в технике под названием «термит». 1 кг термита достаточно для нескольких опытов. Кроме термита, необходимо купить еще 50—100 г смеси для зажигания термита (смесь порошка алюминия с пероксидом бария BaO_2).

Около 50 мл порошка термита насыпать кучкой на небольшую чугунную сковородку, которую поместить на таган. Таган поставить на жестяной ящик (противень и т. п.) с сухим песком. Песок расположить так, чтобы под серединой сковородки образовалось углубление. Слой песка в середине ящика должен быть не менее 3—4 см.

На вершине кучки термита сделать осторожно углубление дном сухой пробирки. В углубление всыпать 1—2 чайные ложки зажигательной смеси. Для зажигания этой смеси требуется довольно сильное нагревание. Это нагревание проще всего достигнуть, поместив на смесь кучкой головки, отрезанные от 10 спичек.

Жестяной ящик с таганом следует поместить на большой лист асбестового картона, чтобы брызги расплавленного металла и шлаков не могли испортить стол.

Горящей лучинкой зажечь помещенные на смесь спичечные головки и отойти немного в сторону. В массе начинается бурная реакция, причем сковородка проплавляется и расплавленные, нагретые до белого каления металл и шлаки стекают вниз на песок. Очень важно, чтобы песок был сухой, так как иначе расплавленная масса может разбрызгиваться в стороны.

За неимением зажигательной смеси, для того чтобы вызвать реакцию в термите, можно воспользоваться стружками кальция. Насыпав одну чайную ложку стружек кальция на термит, зажечь кальций при помощи вставленной в кучку ленты магния.

б) Чтобы показать, что при реакции горения термита образуется железо, необходимо для опыта иметь специальный тигель, состоящий из железного кожуха с огнеупорной футеровкой. Обыкновенные глиняные тигли не выдерживают большой жары, но за неимением специального тигля можно воспользоваться и обыкновенным тиглем, покрыв его изнутри слоем магнезии. В большой тигель (высотой 17—20 см) следует насыпать некоторое количество сухой магнезии и плотно утрамбовать палкой, чтобы получился слой в несколько сантиметров толщиной. Затем в тигель вставить такой же маленький тигель высотой около 10 см. Насыпав между стенками тиглей магнезии, также плотно ее утрамбовать и затем вынуть внутренний тигель. Так как, несмотря на слой магнезии, тигель во время опыта все же лопается, его следует поставить в банку с сухим песком. Банку с тиглем поставить на большой кусок асбестового картона.

Насыпав в тигель одну столовую ложку термита, вызвать в нем реакцию, как было указано выше, и затем прибавлять термит понемногу длинной железной ложкой; 3—4 столовые ложки термита будет достаточно для того, чтобы получился слиток железа. Когда тигель остынет, раздробить молотком шлаки и отделить от них выплавляемое железо.

Получение металлов электролизом

Электролиз расплава нитрата кальция. Для электролиза лучше пользоваться не чистым нитратом кальция $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, а с примесью нитрата калия KNO_3 (25%) для понижения температуры плавления соли. Смесь высушить при 110 °С и растереть в тонкий порошок. Опыт проводить в вытяжном шкафу, так как на аноде образуется оксид азота NO_2 .

Поместить смесь в фарфоровую чашку емкостью примерно 75 мл, разделенную асбестовым картоном на анодное и катодное пространства. Графитовый стержень (анод) диаметром 1,5—2 см неподвижно закрепить в лапке штатива таким образом, чтобы поверхность соприкосновения его с расплавом была 5—6 см². Катод — заостренный гвоздь — приводить в соприкосновение с поверхностью расплава с помощью тигельных щипцов (рис. 271). Таким приемом достигается

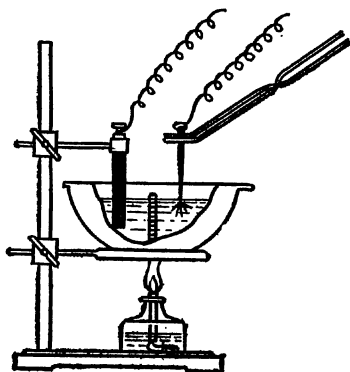


Рис. 271. Прибор для электролиза расплава нитрата кальция.

большая сила тока (50—70 а) на катоде, большое местное разогревание и плавление кальция. Присоединить электроды электролитической ванны к источнику тока, которым может быть ток электросети, выпрямленный газотроном, или батареи аккумулятора с силой тока 5—7 а и напряжением на зажимах 10—20 в.

Нагреть соль на спиртовке до плавления. Держа катод щипцами, слегка касаться его острым концом расплава на расстоянии 2—3 см от анода и плавным движением приподнимать его вверх вместе с застывшими нитями (дендриты) кальция. После обрыва пучка дендритов пинцетом перенести их в керосин.

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ

1) Соединение металлов с галогенами (стр. 247).

2) Соединение металлов с серой (т. I, стр. 322).

3) Электрохимический ряд напряжений металлов. а) В пять пробирок налить по 5 мл 12-процентного раствора соляной кислоты. В каждую из пробирок опустить по кусочку примерно одинаковых следующих металлов: магния, алюминия, цинка, железа, меди. Алюминиевую проволоку необходимо предварительно промыть спиртом или бензином для очистки от жира. Наблюдать интенсивность выделения водорода при взаимодействии с кислотой различных металлов. Отметить, в каком случае взаимодействие не происходит. Сделать сравнительную оценку активности данных металлов по отношению к ионам водорода. Найти в таблицах численные значения нормальных потенциалов взятых для опыта металлов.

б) Подобрать семь пробирок одинакового диаметра, для чего пробкой, подогнанной под одну пробирку, закрыть поочередно все другие пробирки. Если пробка не входит или входит слабо, то диаметр пробирки подобран неправильно. В любую пробирку пробка должна входить с небольшим усилием. Пробирки закрыть корковыми пробками. В середине корковой пробки стальной остро отточенной проволокой диаметром 1,5 мм проколоть сквозное отверстие или вырезать угловое отверстие ножом сбоку пробки.

Пробирки поставить в штатив, наполнить доверху 12-процентным раствором соляной кислоты и опустить туда подогретые металлы: алюминий (промытый спиртом), цинк, железо, свинец, медь, кальций (в последнюю очередь). Закрыть пробирки пробками и перевернуть вниз отверстиями в подставленную ванночку. Металлы вытесняют из кислоты водород, количество которого зависит от активности металла.

Через 2—2,5 мин в пробирках, где реагировали кальций и алюминий, водород полностью вытесняет всю воду. Меньше водорода в пробирках, где реагировали цинк и железо. Олово и свинец выделяют несколько пузырьков газа, а медь совсем не реагирует с кислотой. Сравнить отношение металлов в кислоте с рядом их окислительно-восстановительных потенциалов.

4) Вытеснение металлов друг другом. По химической активности металлы располагаются в следующем порядке:

K, Ca, Na, Mg, Al, Zn, Fe, Ni, Sn, Pb, H, Cu, Hg, Ag, Pt, Au

В этом ряду металлов каждый предыдущий металл вытесняет все последующие металлы из их соединений. В дополнение к эксперименту, иллюстрирующему сравнительную активность металлов, полезно сделать следующий опыт.

а) В четыре чистые пробирки налить по 2 мл растворов солей: в первую — нитрата свинца или ацетата свинца, во вторую — медного купороса, в третью — нитрата серебра и в четвертую — еще медного купороса.

В первую пробирку опустить кусочек цинка. Во вторую пробирку прилить одну каплю концентрированной серной кислоты и затем опустить несколько свежеприготовленных свинцовых стружек¹. В третью пробирку опустить кусочек чистой меди или тонкую медную проволочку, вычищенную тряпочкой с мелом или наждачной бумагой. В четвертую пробирку сыпать железные опилки и взбалтывать до обесцвечивания раствора.

Во всех пробирках видны вытесненные из солей металлы. Во второй пробирке хорошо виден образовавшийся белый сульфат свинца $PbSO_4$ на покрасневших от выделившейся меди свинцовых стружках. В третьей пробирке раствор принял синий цвет от образовавшегося нитрата меди. В четвертой пробирке раствор обесцветился, так как вместо синего медного купороса получился сульфат железа $FeSO_4$.

б) В слегка подогретый раствор железного купороса опустить несколько кусочков чистого цинка.

в) В раствор медного купороса поместить очищенный от ржавчины железный гвоздь.

г) Очистить поверхность толстой медной проволоки или пластинки от слоя оксидов и грязи, опустив ее на 1—2 сек в концентрированную азотную кислоту. Смыть остаток кислоты с поверхности пластинки водой и опустить ее на 3—4 сек в раствор нитрата ртути. Снова промыть пластинку водой и вытереть фильтровальной бумагой.

КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОВ

1) Нагреть чистую железную пластинку или гвоздь с одного конца в окислительной верхней части пламени спиртовки до красного каления. Дать пластинке или гвоздю остыть; видны различные цвета побежалости. Они расположены в порядке спектра белого света. На каждый участок побежалости капнуть раствором нитрата меди. Раствор реагирует с железом на разных участках по-разному. Объясняется это явление тем, что каждому цвету отвечает

¹ Стружки нарезать ножом от свинцового листа или от свинцовой трубы.

оксидная пленка определенной толщины с определенными защитными свойствами.

2) Взять алюминиевую полоску толщиной не больше 0,5 мм и укрепить ее в зажиме штатива. Конец полоски нагревать пламенем спиртовки. Алюминий плавится и провисает в виде капли, которую удерживает пленка оксида алюминия.

3) Вода и водяные пары ускоряют коррозию металлов. В две пробирки поместить согнутую спиралью вычищенную железную проволоку таким образом, чтобы она плотно держалась в пробирке. Одну пробирку опустить отверстием вниз в стакан, где налита вода, а другую — в такой же стакан без воды. На следующий день можно увидеть результаты коррозии.

4) Для доказательства участия кислорода в коррозии можно провести следующий опыт. Сполоснуть пробирку водой и влажные стенки ее посыпать железным порошком таким образом, чтобы порошок покрыл по возможности всю внутреннюю поверхность пробирки. Опустить пробирку в стакан с водой отверстием вниз, а рядом опустить в воду пустую пробирку. Вода в обе пробирки войдет на одинаковую высоту. Через 2—3 ч в пробирке с железом вода поднимется заметно выше, а в пустой останется на прежнем уровне.

5) Вычистить наждачной бумагой железную пластинку и положить на пробку в блюдечко с небольшим количеством воды. На один конец пластинки капнуть каплю раствора поваренной соли, а на другой — каплю сульфата натрия. Прикрыть все стаканом и оставить на несколько часов. Вода в блюдечке и стакан служат для того, чтобы создать вокруг капель атмосферу, насыщенную водяными парами, в которой не испарились бы капли.

Через 1—2 ч можно увидеть, что под каплей поваренной соли ржавчина появляется раньше и в большем количестве.

6) Особенно энергично происходит коррозия, когда в контакте находятся различные металлы. В расщеп стального пера вставить листочек металлического цинка, а в другое такое же перо — кусочек олова. Погрузить их в разные стаканы с раствором ферроцианида калия $K_4[Fe(CN)_6]$. Через несколько минут железо в контакте с оловом начинает переходить в раствор (корродировать); ионы железа образуют с раствором берлинскую лазурь, которая синими струйками стекает со стального пера. В контакте с цинком железо не корродирует, и цвет раствора в стакане не изменяется. Коррозии подвергается более активный металл, в данном случае цинк.

Такой же опыт можно поставить с оцинкованным железом и с луженой жестию, сделав на каждой пластинке глубокую царапину напильником, открывающую железо из-под покрытия.

7) В две пробирки налить равные количества соляной кислоты (плотность 1,12) и опустить в каждую из них по гвоздю, предварительно хорошо вычистив их.

Когда начнется энергичная реакция, в одну из пробирок прилить 1 мл раствора формалина. Происходит резкое замедление, а потом и прекращение реакции в этой пробирке. Формалин явля-

ется ингибитором (замедлителем) кислотной коррозии.

8) Некоторые летучие вещества являются ингибиторами атмосферной коррозии. Взять два эксикатора с небольшим количеством воды в каждом. В широкую часть вставить подставку, а в верхней части укрепить стеклянную палочку с пробками на концах (рис. 272). На палочку

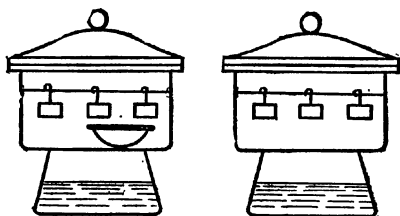


Рис. 272. Опыт с ингибиторами атмосферной коррозии.

подвесить хорошо вычищенные стальные пластинки, для чего в каждой пробить отверстие, за которое зацепить стеклянным крючком или привязать леской. В один из эксикаторов поставить на подставку фарфоровую или стеклянную чашечку со смесью 1 г карбоната аммония $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ и 1 г нитрита натрия NaNO_2 (ингибиторы), а второй оставить без ингибиторов. Через 3—4 дня появляются пятна на пластинках в эксикаторе без ингибитора, а пластинки в другом эксикаторе долгое время не изменяются (С. А. Балезин).

Щелочные металлы

1) **Окраска пламени парами калия и натрия.** а) Железную проволоку нагревать в пламени до тех пор, пока она перестанет окрашивать пламя. Для получения бесцветного пламени можно поджечь спирт, налитый в тигелек. Коснуться накалившимся концом проволоки едкого натра (на часовом стеклышке) и внести его в пламя. Взять два других натриевых соединения и проделать с ними тот же опыт.

Такой же опыт проделать с соединениями калия и лития (на пламя смотреть в спектроскоп).

б) Вместо железной проволоки можно воспользоваться графитовым карандашом. Очинить графитовый карандаш так, чтобы длина грифеля была 1—1,5 см. Графит погрузить в концентрированную азотную кислоту и после этого хорошо прокалить; опустить кончик графита в раствор какой-нибудь соли натрия (калия, лития) и внести в бесцветное пламя. Натрий окрашивает пламя в желтый цвет, калий — в фиолетовый, а литий — в малиновый. Это свойство металлов используется в спектральном анализе.

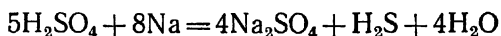
2) **Горение щелочных металлов в хлоре** (стр. 249).

3) **Взаимодействие щелочных металлов с водой** (стр. 88).

4) **Взаимодействие щелочных металлов с концентрированной серной кислотой.** а) Очистить от корочки небольшой кусочек ($0,5 \text{ см}^3$) натрия и положить его в тигель. В батарейный стакан емкостью 2—3 л насыпать на дно слой песка и поставить туда тигель с натрием. Набрать длинной пипеткой 4—5 мл концентриро-

ванной серной кислоты и вытянутой рукой спустить ее в тигель с натрием. Наблюдать энергичное взаимодействие натрия с кислотой, сопровождающееся вспышкой и небольшим взрывом.

После реакции подержать над тиглем фильтровальную бумажку, смоченную раствором свинцовой соли: она чернеет от образовавшегося при реакции сероводорода;



б) Закрепить пробирку в зажиме штатива. Под пробирку поставить ступку или другой сосуд с песком, а над пробиркой на расстоянии 20—30 см от нее подвесить воронку, предохраняющую от брызг. Налить в пробирку приблизительно 1 мл концентрированной серной кислоты и бросить в нее небольшой кусочек лития, отмытого от вазелина и высушенного фильтровальной бумагой. Стеклой палочкой погрузить литий в серную кислоту и подержать так с полминуты, затем убрать палочку и отойти на 1,5—2 м. Происходит самовоспламенение лития и слабый взрыв, вблизи чувствуется запах оксида серы SO_2 и сероводорода.

Магний

1) Горение магния в кислороде углерода CO_2 . Ленту магния длиной около 10 см вставить под прямым углом в расщепленную лучинку. Наполнить стакан на 500 мл оксидом углерода CO_2 . Зажечь пламенем спиртовки ленту магния и, как только она загорится, быстро опустить в стакан с газом. (Не касаться горящим магнием дна и стенок стакана, иначе стакан может треснуть.)

По окончании горения рассмотреть упавшие на дно стакана продукты реакции, затем обработать их разбавленной кислотой.

2) Взаимодействие магния с водой (стр. 94).

Щелочноземельные металлы

1) Окрашивание пламени. Слегка прокалить в пламени горелки железную проволоку с колечком на конце. Смочить колечко раствором какой-либо соли кальция и внести проволоку в несветящуюся часть пламени горелки. Прodelать аналогичные опыты с солями стронция и бария. Для каждой соли брать новую проволочку. Рассмотреть окрашенное пламя в ручной спектроскоп.

2) Гидратация гипса. 2—3 ложки жженого гипса смешать в фарфоровой чашке с небольшим количеством воды, чтобы получить кашицу такой густоты, как сметана. Кашицу вылить на лист промасленной бумаги. Наблюдать затвердевание гипса.

3) Жесткость воды. К 20 мл дистиллированной воды в пробирке или в цилиндре прибавлять каплю за каплей мыльный раствор из бюретки. Сильно встряхивать после прибавления каждой капли, чтобы определить объем мыльного раствора, дающего пену, держа-

щуюся 10 сек. Записать количество пошедшего на это мыльного раствора. Взять 20 мл воды из-под крана и тем же способом определить, имеет ли она какую-нибудь жесткость по сравнению с дистиллированной водой.

Приготовить жесткую воду, пропуская в 20 мл известковой воды углекислый газ до тех пор, пока образовавшийся вначале осадок растворится. Определить объем мыльного раствора, пошедшего на образование пены в половине этого раствора. Прокипятить вторую половину этого раствора. Сделать мыльную пробу с этим раствором и сравнить затраченные объемы мыльного раствора в обоих случаях.

Кислые карбонаты вызывают временную жесткость воды. Ее можно устранить кипячением или смягчить прибавлением рассчитанного количества известковой воды.

Определить количество мыльного раствора, нужного для получения пены в насыщенном растворе сульфата кальция, и сравнить его с таковым для дистиллированной воды. К 20 мл раствора сульфата кальция прибавить 1 г твердой соды, хорошо смешать, потряхивая пробирку. Слить раствор с осадка и сделать мыльную пробу с этим раствором. Сравнить объемы мыльного раствора, который был затрачен на образование пены в первом и во втором случае. Гипс вызывает постоянную жесткость воды.

Алюминий

1) Алюминий сгорает в струе кислорода ослепительно ярким пламенем. В пробирку насыпать 0,1 г алюминиевой пыли или мелкого порошка алюминия (больше 0,1 г не следует брать, так как может оплавиться пробирка и произойдет реакция восстановления кремнезема). Приготовить газометр с кислородом. В газоотводную трубку положить рыхлый комочек ваты. Пробирку с порошком закрепить горизонтально в зажиме штатива, под пробирку поставить сосуд с песком. Прогреть металл в пламени спиртовки, убрать спиртовку и пропустить в пробирку струю кислорода.

2) На воздухе алюминий быстро покрывается тонкой и плотной пленкой, предохраняющей его от дальнейшего окисления и придающей ему тусклый блеск. Если нарушить пленку оксида, то алюминий начинает быстро окисляться, покрываясь рыхлым слоем оксида.

Алюминиевую пластинку или ложку промыть разбавленным раствором соляной кислоты, а затем опустить на 3—4 сек в раствор нитрата свинца. Промыть пластинку водой, вытереть фильтровальной бумагой и положить на сухую доску или бумагу. Тотчас же пластинка начинает покрываться рыхлым слоем оксида алюминия.

3) Если нарушить цельность пленки оксида, то алюминий разлагает воду при обыкновенной температуре.

Чистую алюминиевую пластинку или проволоку опустить в горячий раствор едкого натра NaOH. Затем, сполоснув водой,

опустить на 3—4 сек в раствор нитрата ртути $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ (*осторожно!* Нитрат ртути ядовит), снова сполоснуть водой и вытереть насухо фильтровальной бумагой. Алюминий вытесняет ртуть из растворов ее солей и образует сплав со ртутью — амальгаму.

Наполнить пробирку или небольшой цилиндр для собирания газов водой и опустить только что приготовленный и насухо протертый фильтровальной бумагой амальгамированный алюминий. Тотчас же начинают появляться пузырьки водорода. Закрывать пробирку пальцем (цилиндр закрыть ладонью) и опрокинуть в чашку с водой. За 20—30 мин можно собрать 3—4 мл водорода. Поджечь водород горячей лучинкой. Тот же опыт можно проделать с фольгой.

4) При взаимодействии алюминия с едкими щелочами выделяется водород и образуется соответствующий алюминат.

Налить в пробирку 2—3 мл 2 н. раствора едкого натра NaOH или едкого кали KOH . Опустить в пробирку 2—3 небольших кусочка алюминиевой проволоки, слегка нагреть пробирку. Испытать выделяющийся водород горячей лучинкой.

Хром

1) В лаборатории оксид хрома Cr_2O_3 получается при разложении дихромата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (см. учебник IX класса).

2) Гидроксид хрома $\text{Cr}(\text{OH})_3$ получается при взаимодействии солей оксида хрома с едкими щелочами. Гидроксид хрома — соединение амфотерное: при взаимодействии с кислотами образует соли оксида хрома, а при взаимодействии с едкими щелочами — соли хромистой кислоты HCrO_2 — хромиты.

В две чистые пробирки налить по 1—2 мл раствора сульфата хрома $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ и приливать понемногу раствор едкого натра NaOH или едкого кали KOH до образования осадка гидроксида хрома $\text{Cr}(\text{OH})_3$. В одну из пробирок прилить избыток едкого натра или едкого кали и наблюдать растворение осадка вследствие образования растворимого в воде хромита натрия или хромита калия. В другую пробирку прилить соляной кислоты до растворения осадка вследствие образования растворимого хлорида хрома CrCl_3 .

3) Оксид хрома CrO_3 — кристаллическое вещество темно-малинового цвета — может быть получен при взаимодействии насыщенного раствора дихромата калия $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (хромпика) с концентрированной серной кислотой. Оксид хрома является сильным окислителем.

В чистую пробирку налить 1—2 мл насыщенного раствора дихромата калия $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. Поставить пробирку в стакан с холодной водой и осторожно прилить 1,5—3 мл концентрированной серной кислоты. После охлаждения смеси профильтровать ее через стеклянную или асбестовую вату. На фильтре видны темно-малиновые кристаллы CrO_3 . Поместить несколько кристалликов в фарфо-

ровую чашку и прилить несколько капель чистого этилового спирта. Происходит энергичное окисление и воспламенение спирта.

4) Соли хромовой кислоты H_2CrO_4 и щелочных металлов растворимы в воде. Растворы солей хромовой кислоты (хроматов) имеют желтый цвет. Нерастворимыми солями хромовой кислоты являются соли бария, свинца и серебра.

В три чистые пробирки налить по 1—2 мл раствора хромата калия. В первую пробирку прилить немного раствора хлорида бария, во вторую — нитрата свинца и в третью пробирку — нитрата серебра. Выпадают осадки труднорастворимых солей: хромата бария BaCrO_4 (желтого цвета), хромата свинца PbCrO_4 (желтого цвета) и хромата серебра Ag_2CrO_4 (темно-красного цвета).

5) Дихромат калия $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (хромпик) является окислителем. Смесь хромпика $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ с серной кислотой называется хромовой смесью, применяют ее для окисления органических и неорганических веществ.

К концентрированному раствору дихромата калия прибавить немного разбавленной серной кислоты, несколько капель спирта $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ и смесь нагреть. Цвет раствора делается зеленым, и чувствуется характерный запах уксусного альдегида $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$, образующегося при окислении этилового спирта.

6) Предыдущий опыт можно видоизменить, взяв в качестве восстановителя сульфит натрия Na_2SO_3 .

В чистую пробирку налить 1—2 мл подкисленного серной кислотой раствора дихромата калия. Прилить 1—2 мл раствора сульфита натрия и встряхнуть содержимое пробирки. Оранжевый цвет раствора переходит в зеленый вследствие образования сульфата хрома.

7) Дихроматом калия можно окислять соляную кислоту. При этом водород соляной кислоты окисляется в воду, хлор же выделяется в свободном виде. Эта реакция идет только при нагревании, а поэтому удобна для получения хлора в небольших количествах. С прекращением нагревания выделение хлора прекращается.

Налить в пробирку 1—2 мл концентрированного раствора дихромата калия, прилить 1 мл соляной кислоты и смесь нагреть: выделяется хлор (запах). Окисление соляной кислоты дихроматом калия сопровождается образованием соли оксида хрома — хлорида хрома CrCl_3 и хлорида калия KCl .

8) Переход солей хромовой кислоты H_2CrO_4 в соли двуххромовой кислоты $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ и обратно можно наблюдать на следующем опыте.

В чистую пробирку налить 1—2 мл хромата калия K_2CrO_4 . Прилить по каплям раствор серной кислоты до перехода желтого цвета раствора в красно-желтый (оранжевый) цвет вследствие образования дихромата калия $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. Затем прилить по каплям

раствор едкого кали КОН до перехода красно-желтого цвета раствора в желтый вследствие образования хромата калия K_2CrO_4 .

Желательно для сравнения цвета растворов иметь еще две пробирки: одну с раствором хромата калия K_2CrO_4 , другую — с раствором дихромата калия $K_2Cr_2O_7$.

9) Соли хромовой и двуххромовой кислот можно получить из оксида хрома Cr_2O_3 следующей реакцией¹.

Осторожно растереть по 0,25—0,5 г бертолетовой соли² $KClO_3$, оксида хрома Cr_2O_3 и сухого едкого кали КОН или едкого натра NaOH. Растертые вещества смешать и сплавить в сухой чистой пробирке, нагревая в пламени горелки. По охлаждении пробирки, содержащее ее растворить в воде и отфильтровать через бумажный фильтр. Получается раствор, окрашенный в желтый цвет, вследствие образования хромата калия K_2CrO_4 (или хромата натрия Na_2CrO_4).

Если к полученному желтому раствору хромата калия K_2CrO_4 (или хромата натрия Na_2CrO_4) прилить серную кислоту H_2SO_4 , раствор принимает красно-желтую окраску (оранжевую), так как получается дихромат калия $K_2Cr_2O_7$ (или дихромат натрия $Na_2Cr_2O_7$). Раствор вылить в фарфоровую чашку и выпарить. Получаются кристаллы соли двуххромовой кислоты.

10) К 5—6 мл раствора хромовых квасцов приливать раствор щелочи до образования прозрачного зеленого раствора хромита. Прибавить 2—3 мл бромной воды, перемешать и осторожно нагреть на спиртовке. Сравнить цвет полученного раствора с раствором хромата.

11) Получить указанным в предыдущей работе способом хромит и вместо бромной воды взять для окисления 3-процентный раствор пероксида водорода.

12) Получить гидроксид хрома и подействовать на него пероксидом натрия.

Марганец

1) Взаимодействие оксида марганца MnO_2 с серной кислотой. Налить в пробирку не более 2 мл концентрированной серной кислоты и всыпать туда около 1—1,5 г оксида марганца. (Работать под тягой.) Укрепить вертикально в штативе и нагревать на спиртовке. Через некоторое время испытать выделяющийся газ тлеющей лучинкой.

2) При сплавлении оксида марганца MnO_2 с бертолетовой солью $KClO_3$ и едкой щелочью получается соль марганцеватой кислоты H_2MnO_4 .

Растереть отдельно по 0,25—0,5 г бертолетовой соли (*растирать осторожно!*), сухого едкого кали и оксида марганца MnO_2 .

¹ Оксид хрома можно получить при разложении $(NH_4)_2Cr_2O_7$.

² Бертолетову соль растирать осторожно (стр. 15).

Приготовленные вещества смешать и сплавить в сухой чистой пробирке, нагревая в пламени спиртовки. После охлаждения пробирки растворить содержимое ее в воде. Получается зеленый раствор манганата калия K_2MnO_4 . Прилить в раствор несколько капель серной кислоты. Зеленый цвет раствора переходит в малиновый вследствие образования перманганата калия $KMnO_4$ (или перманганата натрия $NaMnO_4$).

3) Перманганат калия $KMnO_4$ соответствует марганцевой кислоте $HMnO_4$, известной только в водных растворах. Оксид Mn_2O_7 может быть получен при взаимодействии концентрированной серной кислоты с перманганатом калия. Оксид Mn_2O_7 — вещество непрочное, являющееся сильным окислителем.

В чистую фарфоровую чашку поместить небольшое количество мелкого порошка перманганата калия и прилить к нему несколько капель концентрированной серной кислоты (плотность 1,84). Получается темно-зеленая жидкость — раствор оксида Mn_2O_7 в серной кислоте.

Прилить в чашку несколько капель спирта C_2H_5OH или эфира $(C_2H_5)_2O$. Вследствие энергичного окисления спирта происходит вспышка. Не следует брать для опыта много соли $KMnO_4$, так как может произойти взрыв.

4) Разложение перманганата калия при нагревании (стр. 12).

5) Приготовить 1 М раствор перманганата калия. Взять 0,5 мл этого раствора в пробирку, подкислить серной кислотой и прилить пероксид водорода. Выделяющийся газ испытать тлеющей лучинкой. Наблюдать изменение цвета раствора.

6) Зависимость окисления перманганатом калия от среды, в которой это окисление происходит, можно показать на следующих опытах. а) Налить в чистую пробирку 2—3 мл нейтрального раствора перманганата калия и приливать понемногу, осторожно встряхивая пробирку, 2 н. раствор сульфита натрия. Выпадает бурый осадок гидроксида марганца $Mn(OH)_4$.

б) Налить в чистую пробирку 2—3 мл раствора перманганата калия, прилить равный объем 2 н. раствора едкого кали и добавлять, осторожно встряхивая пробирку, 2 н. раствор сульфита натрия до появления зеленой окраски раствора вследствие образования манганата калия K_2MnO_4 .

в) Налить в чистую пробирку 2—3 мл раствора перманганата калия, прилить двойной объем 2 н. раствора серной кислоты и добавлять, осторожно встряхивая пробирку, раствор сульфита натрия до полного обесцвечивания раствора.

7) Влияние кислотности среды на скорость окисления перманганатом калия. В две пробирки налить до $\frac{1}{3}$ раствора бромиды калия, во вторую — такой же объем 0,1 н. раствора уксусной кислоты. В обе пробирки прилить одновременно по 1 мл разбавленного раствора перманганата калия.

Железо

1) В свободном состоянии железо может быть получено восстановлением из его соединений, например сульфида железа FeS , оксида железа Fe_2O_3 и других, водородом. Наиболее просто можно получить железо в чистом виде при разложении щавелевокислого железа $\text{Fe}(\text{COO})_2$.

В чистой и сухой пробирке нагреть на сильной горелке 1—2 г сухого щавелевокислого железа $\text{Fe}(\text{COO})_2$ до полного почернения порошка и до прекращения выделения оксида углерода CO_2 . Прогреть всю пробирку для удаления осевших на ее стенках капелек воды. Плотнo закрыть пробирку хорошей пробкой и выждать до полного ее охлаждения.

Полученное железо обладает пирофорными свойствами: на воздухе оно самовоспламеняется при обыкновенной температуре. Когда пробирка остынет, открыть пробку и выбросить полученное пирофорное железо в затемненной комнате в сторону от учащихся. Железо самовоспламеняется и сгорает красивым искристым пламенем.

2) В концентрированной серной кислоте железо становится пассивным. Хорошо вычистить железный гвоздь наждачной бумагой, к шляпке гвоздя привязать нитку и аккуратно, чтобы острым концом не пробить дно, опустить его в пробирку с концентрированной серной кислотой (плотность 1,84). Гвоздь должен погрузиться в кислоту до половины. Поддерживать там гвоздь 1—2 мин, чтобы убедиться, что реакции не происходит. Вынуть за нитку гвоздь из кислоты, промыть в воде и опустить в разбавленную серную (или соляную) кислоту, взяв ее в таком количестве, чтобы граница пассивного слоя гвоздя была над кислотой. Убедиться, что теперь гвоздь не реагирует с разбавленной кислотой. Снова вынуть гвоздь из кислоты, удалить наждачной бумагой слой пассивного оксида и, опустив в разбавленную кислоту, убедиться, что реакция происходит.

3) При взаимодействии солей оксида железа FeO с едкими щелочами получается гидроксид железа $\text{Fe}(\text{OH})_2$, который легко окисляется на воздухе в гидроксид железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

Взять в пробирку 2 мл свежеприготовленного на кипяченой воде раствора железного купороса и прилить немного раствора едкого натра. Выпадает студенистый белый осадок гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_2$, который быстро сначала зеленеет, затем становится зеленовато-бурым и, наконец, красно-бурым.

4) Гидроксид железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$ осаждается из растворов солей железа едкими щелочами.

Взять в пробирку 2 мл раствора хлорида железа FeCl_3 и прилить немного раствора аммиака или едкого натра. Выпадает студенистый красно-бурый осадок гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

5) Гидролиз солей железа можно показать на следующем опыте.

Налить в пробирку 2 мл раствора хлорида железа FeCl_3 и прилить избыток раствора соды Na_2CO_3 или поташа K_2CO_3 . Выпадает

студенистый красно-бурый осадок гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$ и выделяется оксид углерода CO_2 .

6) При взаимодействии роданистых солей с солями железа со степенью окисления $+3$ получается роданид железа $\text{Fe}(\text{CNS})_3$, растворы которого окрашены в характерный кроваво-красный цвет. Соли роданистой кислоты HCNS являются реактивами для открытия солей железа со степенью окисления $+3$.

Взять в пробирку 2—3 мл слабого раствора роданида калия KCNS или роданида аммония NH_4CNS , подкисленного соляной кислотой, и прибавить по каплям слабый раствор хлорида железа FeCl_3 . Появляется яркое кроваво-красное окрашивание раствора вследствие образования роданида железа $\text{Fe}(\text{CNS})_3$.

7) **Получение берлинской лазури.** В пробирку с раствором хлорида железа прилить раствор гексациано-(II)-феррата калия $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. Образуется красивая синяя краска берлинской лазури, имеющая состав $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$. Эта реакция характерна для ионов железа Fe^{3+} .

8) **Получение турбулевой сини.** Налить в пробирку свежеприготовленный раствор сульфата железа FeSO_4 и прилить к нему раствор гексациано-(III)-феррата калия $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. Образуется турбулева синь $\text{Fe}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$. Эта реакция характерна для ионов Fe^{2+} и позволяет отличать их от ионов Fe^{3+} .

9) Железо со степенью окисления $+2$ можно окислить до железа со степенью окисления $+3$. а) Раствор железного купороса подкислить серной кислотой, прилить к нему хлорную воду. Происходит изменение цвета раствора. Сравнить окраску полученного вещества с окраской раствора хлорида железа. Испытать полученный раствор роданидом калия (аммония).

б) Раствор железного купороса подкислить серной кислотой и прибавить к нему пероксид водорода (3-процентный раствор). Обратить внимание на изменение окраски раствора.

Подождать пероксидом водорода на железный купорос без предварительного подкисления и сравнить результаты с предыдущим опытом. В нейтральной среде, кроме сульфата железа $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, получается также и гидроксид железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

в) Получить гидроксид железа $\text{Fe}(\text{OH})_2$ взаимодействием едкого натра с сульфатом железа FeSO_4 . Полученный осадок разлить в две пробирки. Одну оставить для сравнения, а в другую прилить бромной воды и обратить внимание на изменение окраски осадка. Окисление гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_2$ в гидроксид железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$ протекает на воздухе менее энергично, чем бромной водой.

10) Железо со степенью окисления $+3$ может быть восстановлено до железа со степенью окисления $+2$. Положить в пробирку небольшой кусочек цинка, прилить немного соляной кислоты и раствора хлорида железа. Обратить внимание на изменение цвета раствора и объяснить его причину.

Алфавитный указатель

- Автотрансформатор 97
Агрегатные состояния 299
Адсорбция 63, 238, 344*, 347
Азот 3, 312
— определение в воздухе 3
— отличие от CO_2 4
— получение 312
— свойства 312
Азота оксиды (I, II, III, IV) 322, 329
— получение 322, 326, 327, 329, 330, 331
— свойства 327, 329, 330
— сжижение (IV) 328
Азотная кислота 8, 331
— получение 332
— правила обращения 333
— свойства 334
— — горение скипидара 334
— — — угля 334
— — действие на металлы 140, 145, 335
— — обесцвечивающее действие 334
Аллонж 59, 64
Аллотропия
— кислорода 32
— серы 286
— фосфора 340
Алюминий 285, 323, 140, 365
Алюминия гидроксид 238, 146
— карбонат 157
— оксид 135
— сульфат 238, 145
— сульфид 157
Аммиак 312, 318, 320, 324, 338, 29, 313
— получение 313
— правила обращения 315
— свойства 317
— — горение в кислороде 318
— — каталитическое окисление 323, 325
— — растворение в воде 317
— — синтез 315
Аммиакат меди 14
— серебра 14
Аммоний 320
— образование и свойства солей 321 (см. аммония соли)
Аммония дихромат 319, 14
— карбонат 101
— нитрат 325, 329
— роданид 333, 371
— хлорид 284, 320, 257, 320
— — возгонка и диссоциация 321
Амперметр 107
— школьный 112
Амфотерные гидроксиды 146, 366
Анемометр 56
Анилин 128, 287
Аниониты 203
Анионы 194, 206
Анод 36, 196, 206, 239
Антимонил 158
Аппарат Гофмана 100, 207
— Киппа 16, 263, 265, 60, 112
— паяльный 195
— перегонный 239
— Сен-Клер-Девилья 262, 263, 60, 112
Аптечка 76
Ареометр 301, 85
Асбест 77, 221, 242, 337, 23, 40
Аспиратор 249, 255, 69, 265, 307
Атомные массы 112, 122
Ацетилен 339
Ацетон 39, 187, 193, 202
Баллон резиновый (груша) 177, 34, 41
Баллоны со сжатым газом 183, 185
Бани воздушные 200
— водяные 201
— песчаные 202
— самодельные 200
— электрические 197
Барит едкий 134
Баритовая вода 137, 201
Бария гидроксид 138, 200
— гидропероксид 109
— пероксид 109
— сульфат 320, 110, 145
— хлорид 320, 333, 145
Батареи электрические 95, 99
Белила свинцовые 158
Белильная известь 237, 269
Белильные соли 268
Бенгальские огни 272
Бензин для горелок 188
— для опытов 39, 41, 276
Бензол 42, 86, 279
Берлинская лазурь 321, 182, 371
Бертолетова соль 321, 15, 114, 203, 270, 273, 369
— правила обращения 15
Бром 299, 219
— диффузия 310

* Номера страниц, указанные полужирным шрифтом, относятся ко II тому.

- Бром** получение 274
- правила обращения 167, 273
 - свойства 276
 - — вытеснение хлором 276
 - — растворение 276
 - — соединение с алюминием 323, 277
 - — — с магнием 277
 - — — с фосфором 277
- Бромоводород** 277
- Бумага** для этикеток 78
- индикаторная 78, 138
 - иодокрахмальная 288, 37, 255
 - лакмусовая 138
 - — приготовление 286
 - наждачная 78, 285
 - фенолфталеиновая 287
 - фильтровальная 245, 307
 - фотографическая 320
 - черная 78
- Буферные растворы** 204
- Бюретки** 91, 117, 148
- Вазелин** 78, 143, 271
- Ванадат аммония** 299
- Ванна пневматическая** 275
- Вата гигроскопическая** 40
- Вдувание воздуха** 117, 57
- кислорода 178
- Вентиляция** 52
- вытяжная 31
- Весы** 79, 332
- правила пользования 34, 81
- Взвеси** 159
- горючие 43
- Взвешивание** 84, 336, 341
- Взрыв** 10, 321, 41, 47, 271
- водородных смесей 72, 92, 244
- Висмута хлорид** 158
- Включение**
- бани 201
 - выпрямителя 102, 107
 - плитки 98, 195
 - реостата 98
 - спиралей 198
 - шкафов 203
- Вода** 38, 82
- водопроводная 38
 - вывод формулы 122
 - гигроскопическая 85
 - дистиллированная 239, 83
 - жесткая 365
 - запасы 40
 - известковая 290, 4
 - очистка 237, 82
 - перегонка 82
 - разложение током 99
 - синтез в эвдиометре 105
 - термическое разложение 98
 - физические свойства 85
 - химические свойства 88
 - — взаимодействие с металлами 89, 92, 94, 96
- Водород** 58
- взрывы с воздухом 72
 - — с кислородом 75
 - — с хлором 244
 - горение в воздухе 69
 - — в кислороде 70
 - зажигание 61, 67
 - испытание чистоты 61
 - очистка 59, 64
 - получение 58
 - правила работы 168, 59
 - свойства 62, 68
- Водородный показатель** 204
- Водоснабжение** 38
- Водяной пар** 229, 11
- Возгонка** 300, 211, 321 (см. сублимация)
- Воздух** 3
- жидкий 25
 - карбюрирование 193, 53
 - состав 3
 - выделение из воды 171
- Воронки** 122, 228, 256
- делительные 122, 305
 - для горячего фильтрования 200, 15
 - капельные 122, 257
 - фарфоровые Бюхнера 248, 15
- Воспламенение** 38, 42, 48
- Восстановление меди** 79, 123
- свинца 123
- Вспомогательные принадлежности** 68, 77
- Вспышка** 174
- скипидара 335
- Выдувание шарика** 231
- Выпаривание** 307, 140
- Выпрямитель** 97, 99
- алюминиевый 99
 - — включение 102
 - самодельный на диодах 106
 - селеновый 104, 105, 99
 - модернизированный 105
- Выращивание кристаллов** 212
- Вытеснение металлов** 330, 361
- Газ бытовой** 41, 45, 42
- для нагревания 38, 180
 - опытов 182, 42
 - правила работы 182, 42
- Газометр** 16, 254, 277, 11, 33
- для хлора 234
 - наполнение 278
 - упрощенный 280
- Газы горючие**
- правила работы 10, 168, 281
 - ядовитые 64, 167, 59, 231, 284

- Галогены 231 (см. хлор)
 Гели 182
 Гексацаноферраты 162
 Гидратация ионов 193
 Гидроксиды металлов (см. основания)
 Гидролиз 156, 179
 Гидропероксид бария 109
 Гипохлориты 268
 Гипс 364
 Глауберова соль (см. натрия сульфат)
 Глицерин 135, 338, 50, 64, 226
 Горелки 180
 - бензиновые 189, 219
 - газовые 180, 185, 219, 53, 72
 - — Бунзена 181, 56
 - — Теклу 181
 - керосиновые 196
 - паяльные 185, 57
 - — правила работы 182
 - спиртовые 173, 189
 Горение 38
 - беспламенное 21
 - веществ в кислороде 19
 - — в хлоре 248
 - свечи 344
 - — с поглощением продуктов 335
 - топлива 44
 - фосфора 336, 4, 21
 Градуирование посуды 90, 3, 8
 Графит 357
 Гремучий газ 75
 Движение ионов 195
 Дегидратация ионов 193
 Демонстрационный стол 14, 43
 Держалка для пробирок 73
 Детали приборов 224
 - — изготовление 224
 Дефлектор 59
 Диализ 180
 Диапозитивы 295
 Дисперсионная среда 178
 Дисперсные системы 159
 Дистиллированная вода 239, 83
 Дистилляция 239
 Дифениламин 325
 Диффузия 310
 - в растворах 316, 160, 194, 202, 215
 - газов и паров 310, 315, 67, 349
 Дихромат калия 127
 Доска классная 50
 Древесины разложение 343
 Друмондов свет 72
 Дутье для пламени 177, 179, 189, 193, 195
 Едкий натр 7, 7, 11, 100, 137
 - — получение 133
 - — свойства 135
 Едкое кали 7
 - — свойства 135
 Ершки для посуды 127
 Желатина 154, 181
 Желатинизация 182
 Железа гидроксид 134, 142, 370
 - оксид 135, 141
 - окисление 339, 341
 - сульфат (II) 321, 143
 - сульфат (III) 157
 - сульфид 323, 289, 291, 296
 - хлорид 321, 333, 141, 226
 Железный купорос 144, 370
 Железо 309, 339, 370
 - взаимодействие с кислотами 139, 336
 - восстановленное 43, 370
 - горение в воздухе 43
 - — в кислороде 22
 - пассированное 336, 370
 - пиррофорное 370
 Желтая соль 321, 162, 182
 Жесткая вода 365
 Жидкий кислород 25
 Жидкости горючие 188
 - — правила работы 169
 Зажигание 168
 - правила 175, 182, 188, 196
 Зажимы 70
 - винтовые 71
 - пружинные 70
 Закалка стали 356
 Закон сохранения массы 332
 Заливание пробок 153
 Замаска 290
 - водоупорная 292
 - для аквариума 291
 - для дерева 292
 - менделеевская 152, 290, 3, 103, 106
 - противокислотная 291
 Замена тяги 62
 Замораживание жидкостей 30
 Запайвание трубок 229
 - пробирок 229
 Зарисовка приборов 26
 Затемнение окон 36
 Защитные коллоиды 181
 Зеркало 340
 Зола костяная 341
 Золи 179
 Иглы инъекционные 179
 Известковая вода 4, 10, 21
 - масса 137
 Известняк 132, 347
 Известь 238, 294, 320, 335, 6, 19, 132
 - натронная 271, 345, 59, 126, 314

- Известь хлорная 237, 269
 Изоляция 107, 110
 — полиэтиленовая 101, 103, 113
 Ингибиторы 226, 362
 Индиго 289, 316, 37, 110
 Индикаторная шкала 205
 Индикаторы 286, 35, 37, 134, 138, 147
 Индуктор 95, 109, 32, 99, 322
 — правила работы 110
 Инертные газы 3
 Инструменты 74
 Иод 300, 278
 — возгонка 211
 — вытеснение хлором и бромом 279
 — действие на крахмал 281
 — растворение 279
 — соединение с алюминием 281
 — — с водородом 283
 Иодоводород 282
 Иониты 239, 203
 Ионные реакции 199
 Ионы 192, 200
 Искусственные водоросли 162
 Испарение 300
 Испытание прибора 254, 6, 114, 129
 Кабинет химический 30
 Кадмия сульфат 146
 — сульфид 308, 291
 Калий 171, 51, 92
 — взаимодействие с водой 92
 — окрашивание пламени 354, 363
 — превращение в пары 354
 Калий дихромат 127, 317, 321, 14, 196, 367
 — иодид 321, 333, 14, 111, 209, 217
 — нитрат 145, 337
 — перманганат 125, 225, 4, 22, 369
 — роданид 163, 226, 371
 — хлорид 16
 Кальций 93
 — взаимодействие с водой 93
 — получение 359
 — правила обращения 93
 — сжигание в кислороде 23
 — хранение 93
 Кальция дигидрофосфат 155
 — гидроксид 94 (см. известь)
 — карбонат 137 (см. известняк, мрамор)
 — нитрат 359
 — оксид 19, 132
 — фторид 285
 — хлорид 4, 29, 59, 112, 193
 Канифоль 285
 Капилляры стеклянные 125, 225
 Карандаши для стекла 294, 3
 Карбонат аммония 101
 — кальция 137
 — меди 325, 127
 Карбюраторы для горелок 193, 271
 Карбюрирование 192, 271, 53
 Катализ 15, 18, 225, 299
 Катализаторы 13, 299, 300, 305, 316, 324 (см. катализ)
 Каталитическое воспламенение 70
 — окисление 299, 304, 323
 — разложение 13, 16, 269
 Катиониты 203
 Катионы 195, 206
 Катод 36, 196, 206
 Каучуковые пробки 144
 — правила использования 146
 — подгонка 146
 — сверление 145
 — сорта, размеры 145
 Каучуковые трубки 132, 231
 Квасцы 238, 317, 146, 155, 169, 212, 368
 Керосин для горелок 195
 — для опытов 39, 44
 — для хранения щелочных металлов 88
 Керосина осушка 88
 Кипятильник электрический 202
 Кислород газообразный 11
 — жидкий 25
 — определение в воздухе 3, 10
 — — молекулярной массы 114
 — получение 11, 18
 — свойства 19
 Кислота азотная 320 (см. азотная кислота)
 — кремниевая 182
 — лимонная 202
 — метафосфорная 136, 139
 — муравьиная 351
 — олеиновая 64, 141
 — ортофосфорная 115, 341
 — плавиковая 284
 — серная 242, 333, 11, 36, 58, 305
 — — получение контактным способом 305
 — — разбавление 166, 36, 59, 308
 — — свойства 307, 308
 — — — взаимодействие с металлами 310 (см. водород)
 — — — — с неметаллами 311
 — — — — со сложными веществами 311 (см. кислоты)
 — — действие на органические вещества 309
 — — окислительное действие 310
 — сернистая 296
 — соляная 58, 263
 — — получение 264
 — — свойства 267
 — стеариновая 141
 — угольная 227
 — уксусная 311, 139, 202

- Кислота хромовая 367
 Кислоты 138
 — взаимодействие с гидроксидами 142, 147
 — — с металлами 139
 — — с оксидами 140
 — — с солями 145
 — индикация 138
 Клапан Бунзена 178, 261
 Классы соединений 132
 Клей 290
 — БФ-2 34
 — водоупорный 293
 — декстриновый 293, 212
 — для бумаги 292
 — для кожи 293
 — для стекла 292
 — для плексигласа 292
 — для резины 293
 — для целлофана 292
 — для этикеток 157, 293
 — желатиновый 292
 — картонажный 293
 — столлярный 292, 212
 Клейстер крахмальный 293
 Коагуляция 238, 181
 Кобальта хлорид 162, 193
 Кодоскоп 18
 Колбонагреватели 197, 199
 Колбы стеклянные 116
 — сорта, размеры 117
 — Бунзена 248, 172
 — Вюрца 118, 252
 — мерные 91
 Коллодий 158
 Коллоиды 276
 Колокол стеклянный 3, 73
 Колонки ионитовые 239
 — осушительные 272
 Колпачки для горелок 173
 Конденсация 300
 Конго (индикатор) 288, 134, 136, 147
 Концентрация растворов 242
 Корковые пробки 137
 — — герметизация 154, 295
 — — надевание на трубку 142
 — — обработка 294
 — — подгонка 139
 — — сверление 139, 141
 — — сорта, размеры 137
 Коррозия металлов 361
 Краны стеклянные 266
 Краска для нанесения делений 3
 — теплочувствительная 309, 355
 Краски для надписей 294
 Красная соль 162, 222
 Крахмал 289, 281
 Кремневодород 40
 Кремнезем 356
 Кристаллизационная чашка 119, 3, 169
 Кристаллизация 119, 169, 174, 208
 Кристаллиты 211
 Кристаллогидраты 146, 155
 Кристаллы 169, 208
 Кровяные соли 162
 Кронштейны 51
 Кружки фарфоровые 124
 Лаборантская 30, 35, 39
 Лабораторное хозяйство 123, 282, 347
 Лак этикеточный 79, 3
 Лакмид 286
 Лакмус 286, 3, 23, 132
 Лампа бензиновая 189
 — — правила работы 188, 190
 — — устройство 189
 Лампа спиртовая 173, 222
 — — правила работы 175
 — — требования к оснащению 173
 Ликвидация остатков опасных веществ 162
 Ликоподий 43, 45
 Литий 93
 Лития нитрид 93
 Ложечки для сжигания 71, 3, 34
 — для реактивов 73
 Лопатка стеклянная 236
 Магнезия 318
 Магний 318, 246
 — взаимодействие с водой 35
 — — с кислотами 139
 — горение в кислороде 24
 — — в оксиде углерода CO_2 350
 Магния оксид 318, 24, 95
 — сульфат 212
 — хлорид 145
 — эквивалент 116
 Марганец 368
 — гидроксид (II) 142
 — оксид (IV) 13, 16, 115, 235, 368
 — сульфид 291
 — хлорид 142
 Материалы вспомогательные 77
 Маточный раствор 169
 Мебель 43
 Медицинские средства 76
 Меди аммиакат 225
 — бромид 194
 — гидроксид 7, 14, 134, 142
 — карбонат 325, 345, 127
 — — разложение 325, 346, 127
 — нитрат 198
 — окисление 340, 25
 — оксид 327, 19, 123
 — восстановление 80
 — сульфат (купорос) 317, 320, 11, 14, 193, 291
 — сульфид 125, 291

- Меди хлорид 329, 333, 14, 193, 248
 Медь металлическая 24, 59, 361
 Мел 295, 347
 Мелки цветные 295
 Менделеевская замазка (см. замазка)
 Мензурка 90
 Меры предосторожности 161, 163, 170
 Мегаллы 354
 — взаимодействие с водой 92
 — с кислотами 218 (см. кислоты)
 — горение в кислороде 22
 — коррозия 361
 — окисление на воздухе 339
 — — в закрытом сосуде 341
 — получение 357
 — — восстановлением 80, 123, 358
 — — электролизом 359
 — соединение с галогенами 247, 277, 281
 — — с серой 322
 — теплопроводность 354
 — химические свойства 322, 247, 277, 281, 291, 360, 363
 — электропроводность 355
 Метилловый оранжевый 288, 134, 147, 202
 Метроном 92
 Мех ножной 187
 — ручной 178
 Микрокомпрессор 179
 Модели лабораторных установок 306, 315, 325, 332
 Молекулярные массы 112
 Мостики для собирания газов 275, 60
 Мочевина 192
 Мощность колбонагревателей 199
 — спиралей 197
 — электропечей 206
 — электроплиток 198
 — электроприборов 209
 Мрамор 261, 129, 132, 218, 347
 Муфели 205
 Мытье посуды 126
 Мышьяковистый водород 58

 Набор для опытов с током 111
 — стеклянных трубок 223
 Нагревание воздуха 130, 205
 — на бензине 188
 — на газе 180
 — на керосине 195
 — на спирте 173
 — электрическим током 197
 — стекла 220, 225
 Нагревания правила 125
 — способы 173
 Надписи на стекле 15, 90, 159, 294
 — на фарфоре 159
 Надфиль 214
 Наждак 211
 Наковальня 75

 Наконечники стеклянные 227
 Наливание жидкостей 159
 Напильники 75, 214, 220
 Насадки к горелкам 175, 182
 Насос водоструйный 64, 72, 129, 194, 249, 87
 — воздушный 72
 — масляный 87
 Натр едкий 335 (см. едкий натр)
 Натрий 51, 88
 — взаимодействие с водой 88
 — — с серной кислотой 310
 — — с соляной кислотой 140
 — — со спиртом 218
 — правила обращения 171
 — сжигание в кислороде 23
 — хранение 152, 88
 Натрия ацетат 157, 174
 — гидрокарбонат 100, 104, 154, 202
 — гидроксид (см. едкий натр)
 — дисульфит 224
 — иодид 14
 — карбонат 104 (см. сода)
 — нитрит 8
 — оксалат 209
 — олеат 64
 — перкарбонат 15
 — пероксид 23, 111
 — силикат 162
 — сульфат 320, 333, 19, 100, 145, 173
 — сульфид 289, 292
 — сульфит 156, 290
 — тиосульфат 175
 — хлорид 334, 86, 146
 Нашатырь (см. аммония хлорид)
 Нейтрализация 147, 151
 Неэлектролиты 187, 191
 Никелевые электроды 100
 Никеля гидроксид 142
 — хлорид 162
 Нитраты 81, 168, 312, 328, 337
 — разложение 328, 337
 Нитриты 313, 337
 Нитроклетчатка 39

 Обесцвечивание
 — озоном 37
 — оксидом серы SO_2 297
 — хлором 251
 Обжиг пирита 296
 Оборудование вспомогательное 16
 — кабинета 36, 65, 282, 347
 Обработка стекла 209
 Обращение с посудой 124
 Обугливание древесины 309, 343
 — сахара 319, 309
 Объемные отношения газов 105, 108, 122
 — — растворов 149
 Огнеопасность 169, 40, 65

- Огнеопасные вещества 169, 40, 65
 Огнетушитель 76
 Озон 32
 — действие на индиго 37
 — на иодиды 36
 — на резину 34, 37
 — на сульфид свинца 37
 — индикация 36
 — получение 32
 — растворение в воде 37
 Озонатор 16, 32
 — самодельный 34
 Окисление анодное 100
 — каталитическое 21, 299, 304, 323
 — медленное 40
 — металлов 339, 24
 Окислители 310, 334, 338, 369
 Окислительные смеси 170
 Окрашивание пламени 363
 Оксиды 132
 — азота 7, 29, 140, 322, 326, 329, 337
 — амфотерные 147
 — ванадия (катализатор) 298
 — висмута (катализатор) 326
 — железа 308, 16, 135, 141
 — кислотные 135
 — кремния 136 (см. кремнезем)
 — магния 318, 140
 — марганца 13, 16, 368
 — меди 327, 10, 19, 123, 140
 — — восстановление 80, 352, 358
 — — получение 327, 24, 127
 — основные 135
 — ртути 308, 328
 — свинца (II) 123, 337
 — свинца (IV) 19
 — серы (IV) 7, 21, 29, 125, 135
 — — получение 292, 295
 — — свойства 293, 296
 — — сжижение 294
 — — (VI) 298, 302
 — — — получение 298, 302
 — — — свойства 303
 — углерода (IV) 7, 129, 347
 — — (II) 351
 — фосфора 5, 21, 135, 340
 — хлора 271
 — цинка 308, 140
 Олово 309, 121, 140, 210
 Опиливание стекла 219
 Оплавление трубок 219
 Определение формул 122
 Опыты демонстрационные 11, 17, 19
 — лабораторные 20, 79, 139, 141, 255, 262
 — подготовка 13
 — пробирочные 24
 Освещение 15, 34, 38
 Осмос 160
 Осмотическое давление 160
 Основания 132
 — получение 132
 — свойства 134
 Осушка газов 269, 64, 81, 112
 Отверстия в стекле 212, 230, 235
 Отжиг стекла 221
 Отмывание пятен 297
 Отпуск стали 356
 Охладительные смеси 86, 165, 301
 Охлаждение стекла 220
 — пламени 45
 Очистка бертолетовой соли 15
 — веществ 304
 — воды 237
 — газов 271
 — металлов 284, 296
 — поваренной соли 308
 Очки предохранительные 164, 210, 225
 Палочки стеклянные 132
 Пар и туман 299, 11
 Парафин 152, 29, 43, 284, 289
 Пары горючие 168, 41
 Пассивирование железа 336
 Паяние 283
 — алюминия 285
 Паяльная жидкость 284
 Паяльники 284
 Первая помощь 161, 165, 167, 172
 Пергидроль 13, 108
 Перекристаллизация 15
 Переработка остатков 28
 Перманганат калия 338, 4, 12, 48, 369
 — — окислительные свойства 369
 — — правила обращения 12
 — — разложение 13, 369
 Пероксид водорода 13, 108
 — — получение 109
 — — свойства 110, 217
 Пероксиды металлов 23, 109, 111
 Персоль (см. натрия перкарбонат)
 Песок речной 76, 237, 16 (см. оксид кремния)
 Печи электрические 205
 — — муфельные 205
 — — тигельные 205
 — — трубчатые 206
 Пипетки 91
 — капельные 227, 8
 Пирит 296
 Пирогаллол 8
 Пламя 51
 — водородно-кислородное 71
 — восстановительное 175, 57
 — газовое 181, 53
 — обращенное 54
 — окислительное 179, 181, 57

- Пламя окрашенное 368
 - свечи 51
 - спиртовки 52
 - строение 166, 51, 53
 - температура 175, 181, 56
 - усиленное 177
- План химического кабинета 32
- Пластины стеклянные 210
- Платинированный асбест 70, 75
- Пленка для герметизации 155
 - для этикеток 159
 - изолирующая 101, 103, 34
 - полиэтиленовая 101, 186, 288
- Плитки электрические 198
 - газовые 184
- Плотность веществ 301
 - газов 112
 - — по водороду 112
 - — по воздуху 112
- Плюмбаты 146
- Плюмбиты 146
- Поваренная соль (см. натрия хлорид)
- Поглотители 63, 335, 345, 231
- Поглощение продуктов реакции 335
 - ядовитых газов 63, 234, 275
- Поддонники фарфоровые 124
- Подогревание внутреннее 207
- Подставки 65
- Подушка кислородная 11
- Полиэтилен 101, 186, 228
- Полки для приборов 34
- Полупроницаемые перегородки 160
- Полы в химическом кабинете 36
- Помещения химического кабинета 30, 50
 - — — оборудование, отделка 35
 - — — планировка 30
- Порох черный 338
- Порошок наждачный 211
- Посуда измерительная 90
 - стеклянная 115
 - правила обращения 124, 171
 - глиняная 123
 - фарфоровая 123
- Поташ 370
- Поющее пламя 68
- Правила безопасности 160, 163, 168
 - закрепления прибора 18, 126, 136
 - нагревания 18, 125, 175, 195
 - работы с горелками 175, 182, 188
 - — с горючими веществами 168
 - — с нагревательными приборами 168, 182
 - — с окислителями 170, 12, 15
- Правила работы со стеклом 171, 220
 - — со щелочными металлами 171
 - растворения 244
 - фильтрования 248
- Практические занятия 23
- Приборы вспомогательные 16
 - — для получения газов 121, 251, 254, 261, 14, 60
 - комбинированные 251, 269
 - для электролиза 100
 - электронагревательные 197
- Привязывание пробок 156, 268, 279
- Признаки реакций 332
- Примеси к воде 237
- Принцип противотока 264
- Припаивание трубок 233
- Припой 283, 356
- Приспособления для дутья 169
- Притирание стекла 211
- Пробирки 115
 - оттянутые 228
 - сорта, размеры 115
 - центрифужные 116
- Пробки полиэтиленовые 147
 - притертые (стеклянные) 120, 142, 271
- Пробкомаялка 138
- Пробок герметизация 153
 - заливка 152
- Проволока 34
 - алюминиевая 34
 - железная 34
 - медная 34, 36
 - никромовая 66
- Проектирование на экран 17
- Прокаливание 340, 10
- Пропитка поверхности столов 46
- Противопожарные меры 162
- Противогаз 165
 - модель 346
- Противоядия 160, 165
- Протирание трубок 130
- Пульверизатор 44
- Пылесос 61
 - применение для дутья 129
 - — для вентиляции 61
- Развертки для стекла 235
- Разделение смесей 304
- Разламывание стеклянных трубок 215
- Разложение воды током 103
 - термическое (см. вода)
 - карбоната меди (см. меди карбонат)
 - оксида ртути (см. оксид ртути)
 - нитрата свинца 345, 337
- Размешивание жидкостей 126
- Раковины лабораторные 39
- Растворение 244, 159
- Растворимость 167
 - газов 171
- Реактивы 148
 - классификация 149
 - правила обращения 159, 165

- Реактивов упаковка 151
 — хранение 35, 150, 155, 159, 283
 Реакции 313, 332
 — горения 38
 — замещения 330, 122, 130, 143
 — ионные 199
 — нейтрализации 147, 200
 — обмена 331, 144, 199
 — разложения 7, 103, 325, 328, 345
 — соединения 322
 Рвотный камень 179
 Регенерация ионитов 204
 Регулировка тока 97
 Регуляторы напряжения 96, 99
 Редуктор 184
 Резка стекла 209, 218
 — бутылок 217
 — трубок 214, 218
 Реостат 98, 206, 322, 67, 99
 — включение 98, 103, 337
 Реторты 120, 253, 341
 Ржавление металлов 342, 361
 Рисунки учащихся 26
 Ртуть правила обращения 168
 Ртутный иодид 309, 30
 — нитрат 321, 366
 — оксид 30 (см. оксид ртути)
 Рубильник 97
 Рюмки реактивные 120
 Ряд напряжений 360 (см. металлы)
 Самовоспламенение 40, 340
 Сахар 319, 161, 309
 Свекла пробочные 139
 — — заточка 141
 — для стекла 212
 Сверление пробок 140, 145
 — стекла 212
 Свинец 31, 122, 144, 210
 Свинца ацетат 37, 110
 — иодид 209, 337
 — карбонат 158
 — нитрат 329, 333, 37, 110
 — оксид 123 (см. оксид свинца)
 — сульфат 38, 110
 — сульфид 37, 110
 — хлорид 200
 Сгибание трубок 221, 225
 Сегнетова соль 214
 Селитра 19
 Сера 306, 321, 30, 209, 286
 — горение в кислороде 20
 — — — на расплавленной селитре 338
 — пластическая 287
 — призматическая 286
 — ромбическая 287
 Серебра аммиакат 14
 — бромид 278
 — иодид 284
 — нитрат 152, 334, 111, 145, 203, 267
 — оксид 19, 111
 — хлорид 145, 267
 Сероводород 288
 — получение 289
 — свойства 289
 — горение 289
 — взаимодействие с оксидом серы 290
 Сероуглерод 287
 Серы оксиды (см. оксиды)
 Сетка асбестированная 77
 — предохранительная 166, 47, 61, 73
 Сжигание веществ 19, 31
 — топлива 44
 Сжижение газов 29
 Синерезис 183
 Скипидар 127, 211, 45, 56, 357
 Склёпки стеклянные 120
 — Вульфа 122
 — Дрекслея 271
 — промывание 270, 33
 — Тищенко 270, 273, 264, 291
 — тубулированные 122, 5, 41
 Скорость реакций 217, 223, 369
 Смеси охлаждающие 86, 164
 Сода 238, 334, 101, 370
 Спирт 127
 Сосуд Дьюара 25
 — Ландольта 62
 Стабилизаторы (см. ингибиторы)
 Стаканы стеклянные 116
 Сталь 356
 Старение гелей 183
 Стекло 308
 Стеклорез 209
 — электрический 219
 Стеклянные трубки 131
 Степень диссоциации 190
 Стехиометрические расчеты 153
 Стол демонстрационный 14, 43, 45
 — паяльный 35
 Столы лабораторные 31, 33, 46
 Ступки фарфоровые 124, 307
 Сублимация 300
 Сурик 19, 30
 Сурьма 248
 Суспензии 176
 Сушка посуды 128
 Таблицы 34
 Тагань 66
 Таннин 321
 Температура воспламенения 38, 43, 46, 67
 — замерзания 301, 191
 — кипения 301, 303
 — плавления 301, 86

Температура пламени 175, 179, 181, 191, 196
Теплота реакции 321
Теплопроводность 301, 304, 66, 354
Теплотворная способность 180, 183
Тесто асбестовое 242, 23, 41
Термит 358
Термометры 93, 40
Термоскоп 93, 163
Термостат 209
Типы реакций 322, 142
Титр 153
Титрование 134
Трансформаторы 97, 67, 99 (см. также индуктор, регулятор напряжения)
Тройники стеклянные 235, 274, 35
Турибулева синь 371
Тяга 53

Уголь древесный 63, 43, 231, 343
— для фильтрования 238
Универсальный индикатор 205
Упругость паров 116
Уротропин 226
Условия реакций 322, 38, 45
Установка для стеклодувных работ 193

Фарфоровая посуда 123
Фен с насадкой 129, 204
Фенолфталеин 287, 317, 320, 24, 90, 133, 147
Фиксаналы 243
Фильтрование 237, 245, 248, 305, 82
Фильтры 237, 238, 245, 249, 250
Флотация 307, 356
Флуоресценция 290, 316
Фосфор 21, 136, 249, 339
Фтор 284
Фтороводород 284
Фукусин 290
Фукусиносернистая кислота 297

Химическое равновесие 226
Хлор 231
— получение в лаборатории 10, 12, 235
— свойства 242
Хлорная вода 217, 242, 256
Хлорная известь 237, 269
Хлороводород 315, 338, 146, 188, 256
Холодильник 239
— Либиха 241, 34, 83, 197
— шариковый 241
Хром 366
Хромовая смесь 127
Хромовые квасцы 146

Целлофан 160
Целлулоид 38
Цемент 14
Цилиндр мерный 82, 8
— пористый 312, 67
Цинк металлоидический 261, 58

Чашки конические 119
— кристаллизационные 119
— Петри 119
— фарфоровые 123

Шаблоны для зарисовки 28
Шлифы стеклянные 271
Шкала индикаторов 205
Шкафы вытяжные 33, 53
Шкафы для приборов 34, 48
Шпатель 73
Штативы 65
Шторы для затемнения 36

Щелочные металлы 363 (см. калий, натрий)
Щелочноземельные металлы 364 (см. кальций, магний)
Щелочь 333, 7
Щетки для мытья посуды 126

Эвдиометр 105
Эквиваленты металлов 116, 120
Экзоосмос 161
Экзотермические реакции 321
Экран универсальный 32, 68
Эксикатор 115, 123
Электрический ток 321
Электроды 36, 100, 196, 238
Электрокипятыльник 202
Электролиз 95, 322, 36, 99, 206, 238, 270, 359
Электролизер 112, 36
Электролиты 100, 191
Электронагревательные приборы 197, 202, 209, 239
Электропроводность 302, 31, 88, 188, 355
Электрофильтр 307
Эмульсии 177
Эндоосмос 161
Эндотермические реакции 322
Эозин 255
Этикетки 71, 151, 156, 298
Эфир серный 39, 40, 48

Явление Тиндала 179
Ядовитые газы 167, 59, 121, 231, 284, 289
Ящик для таблиц 34, 51
— универсальный 69

О Г Л А В Л Е Н И Е

Глава I. Воздух. Кислород. Озон.			
Горение. Пламя	3	Выделение гигроскопической воды	85
Воздух	—	Физические свойства воды	—
Определение состава воздуха.	—	Химические свойства воды	88
Кислород	11	Пероксид водорода	108
Получение кислорода	—	Общие свойства пероксида водорода	—
Химические свойства кислорода	19	Получение пероксида водорода	109
Жидкий кислород (воздух)	25	Химические свойства пероксида водорода	110
Физические свойства жидкого кислорода	28		
Химические свойства жидкого кислорода	31	Глава IV. Количественные отношения при химических реакциях	112
Озон	32	Определение молекулярных масс, эквивалентов, атомных масс	—
Получение озона	—	Объемные отношения между газами при химических реакциях	122
Физические свойства озона	36	Определение химических формул	—
Химические свойства озона	37	Расчеты по уравнениям реакций	127
Горение	38		
Опыты с некоторыми огнеопасными веществами	40	Глава V. Важнейшие классы неорганических соединений	132
Воспламенение взвесей горючих твердых веществ в кислороде	43	Основные оксиды и основания	—
Зависимость воспламеняемости вещества от степени его раздробления	—	Получение оснований	—
Сжигание распыленного жидкого и твердого топлива	44	Свойства оснований	134
Пламя	51	Основные оксиды	135
Строение и свойства пламени	—	Свойства основных оксидов	—
Глава II. Водород	58	Кислотные оксиды	—
Получение водорода	—	Получение кислотных оксидов	—
Физические свойства водорода	62	Свойства кислотных оксидов	—
Химические свойства водорода	68	Кислоты	138
Глава III. Вода. Пероксид водорода	82	Свойства кислот	—
Вода	—	Типы реакций	143
Получение чистой воды	—	Реакция замещения	—
		Реакция обмена	144
		Реакция нейтрализации	147
		Гидролиз солей	154

Глава VI. Дисперсные системы 159

Истинные растворы	—
Отличие растворов от взвесей	—
Процесс растворения и явления, его сопровождающие	160
Изменение температуры при растворении различных веществ в воде	163
Растворимость различных веществ в воде	167
Коллоидные растворы	176
Получение коллоидных растворов	177
Свойства коллоидных растворов	179

Глава VII. Электролитическая диссоциация 184

Электропроводность веществ в растворах и расплавах	—
Температура замерзания растворов электролитов и неэлектролитов	191
Свойства ионов	192
Гидратация и дегидратация ионов	193
Ионные реакции в растворах	199
Концентрация водородных ионов в растворах, водородный показатель. Буферные растворы	204

Глава VIII. Электролиз 206

Глава IX. Кристаллы 208

Образование кристаллов	—
Выращивание кристаллов	212

Глава X. Скорость химической реакции. Химическое равновесие 217

Скорость химической реакции	—
Зависимость скорости реакций от концентраций реагирующих веществ	219
Зависимость скорости реакций от поверхности соприкосновения веществ	223
Зависимость скорости реакции от температуры	—
Влияние катализатора на скорость реакции	225
Замедление реакции действием стабилизаторов (замедлителей, ингибиторов)	226
Химическое равновесие	—
Влияние концентрации реагирующих веществ на химическое равновесие	—

Влияние температуры на химическое равновесие	227
Влияние давления на равновесие реакций, идущих с участием газообразных веществ	229

Глава XI. Галогены 231

Хлор	—
Обращение с хлором	—
Сосуды для опытов с хлором и их наполнение	—
Способы получения хлора и наполнение им сосудов	235
Физические свойства хлора	242
Химические свойства хлора	243
Хлороводород	256
Получение хлороводорода	—
Свойства хлороводорода	257
Соляная кислота	263
Получение соляной кислоты	—
Свойства соляной кислоты и ее солей	267
Кислородные соединения хлора	—
Получение и свойства кислородных соединений хлора	—
Бром	273
Получение паров брома и бромной воды	274
Получение жидкого брома	275
Свойства брома	276
Получение и свойства бромоводорода	277
Иод	278
Свойства иода	—
Получение иодоводорода. Реактив на ион I^-	282
Фтор	284
Свойства фтороводорода и плавиковой кислоты	—

Глава XII. Сера и ее соединения 286

Сера	—
Сероводород	289
Получение сероводорода	—
Свойства сероводорода	—
Оксид серы SO_2	292
Получение оксида серы SO_2 и сернистой кислоты	—
Свойства оксида серы SO_2 и сернистой кислоты	296
Оксид серы SO_3	298
Получение оксида серы SO_3 контактным способом. Свойства оксида серы SO_3	—
Серная кислота	305
Получение серной кислоты контактным способом	—
Свойства серной кислоты	307

Глава XIII. Азот и его соединения 312

Азот	—
Содержание азота в воздухе	—
Состав воздуха	—
Получение и свойства азота	—
Аммиак	313
Получение аммиака	—
Свойства аммиака	317
Соли аммония	320
Получение и свойства аммония	—
Оксиды азота	322
Получение оксидов азота	—
Азотная кислота	331
Получение азотной кислоты	—
Свойства азотной кислоты	334
Соли азотной кислоты	337
Свойства солей азотной кислоты	—

Глава XIV. Фосфор и его соединения 339

Фосфор	—
Хранение фосфора и обращение с ним	—
Свойства фосфора	340
Соединения фосфора	—

Глава XV. Углерод и его соединения 343

Термическое разложение древесины	—
Свойства древесного угля	344
Оксид углерода CO_2	347
Получение оксида углерода CO_2	—
Свойства оксида углерода CO_2	348
Оксид углерода CO	351
Получение и свойства оксида углерода CO	—

Глава XVI. Металлы 354

Физические свойства металлов	—
Получение металлов	356
Химические свойства металлов	360
Коррозия металлов	361
Щелочные металлы	363
Магний	364
Щелочноземельные металлы	—
Алюминий	365
Хром	366
Марганец	368
Железо	370
Алфавитный указатель	372

Вадим Никандрович Верховский

Авенир Дмитриевич Смирнов

ТЕХНИКА ХИМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

ТОМ II

Редактор Л. И. Соколова

Художник Б. Л. Николаев

Художественный редактор Г. А. Жегин

Технический редактор И. В. Квасницкая

Корректоры К. А. Иванова, П. Т. Нигель

Сдано в набор 18/IV 1974 г. Подписано к печати 3/IV 1975 г. 60×90^{1/8}. Бумага тип. № 3. Печ. л. 24. Уч.-изд. л. 27,51. Тираж 80 500 экз. А05411. Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Просвещение» Государственного комитета Совета Министров РСФСР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41. Заказ № 1555.

Ордена Трудового Красного Знамени Ленинградское производственно-техническое объединение «Печатный Двор» имени А. М. Горького Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 197136, Ленинград, П-136, Гатчинская ул., 26.

Цена без переплета 74 к., переплет 24 к.

