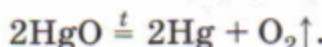


Реакции разложения

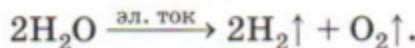
В окружающем мире и внутри нас ежесекундно протекают миллионы реакций. Получить представление о них нам помогает классификация реакций. С одной из классификаций — «по признаку поглощения или выделения теплоты» — мы уже познакомились. Рассмотрим ещё одну классификацию реакций — «по числу и составу исходных веществ и продуктов реакции».

Познакомимся с реакциями разложения. Обратимся к истории химии. В 1774 г. английский химик Дж. Пристли, используя стеклянную двояковыпуклую линзу (большое увеличительное стекло), направил сконцентрированный ею пучок солнечных лучей на оксид ртути (II) и получил кислород (рис. 100). Чтобы подчеркнуть, что кислород — это газ, в уравнении реакции рядом с его формулой записывают стрелку, направленную вверх:



Обратите внимание на следующий признак этой реакции разложения — в ней *вступает одно сложное вещество, а образуются два новых простых вещества*.

Рассмотрим другую аналогичную реакцию: разложение воды электрическим током с помощью специальной установки — электролизёра (рис. 101):



Этот процесс служит одним из способов получения чистого кислорода. Однако в лабораторной практике кислород часто получают разложением другого вещества — пероксида водорода H_2O_2 (в обиходе его часто называют перекисью водорода):



Если подогревать некоторый объём пероксида водорода в пробирке, не доводя его до кипения, то кислород выделяется медленно и его будет недостаточно, чтобы увидеть, как вспыхнет внесённая в верхнюю часть пробирки тлеющая лучинка. В этом случае говорят, что химическая реакция идёт с *небольшой скоростью*. Можно ли увеличить скорость химической реакции?

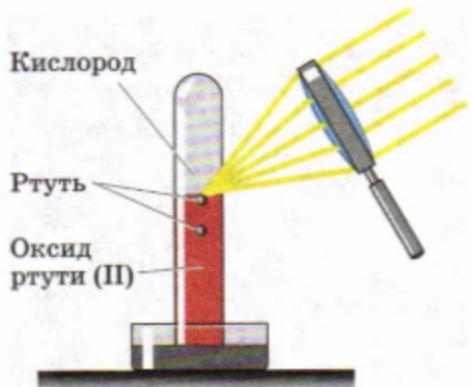
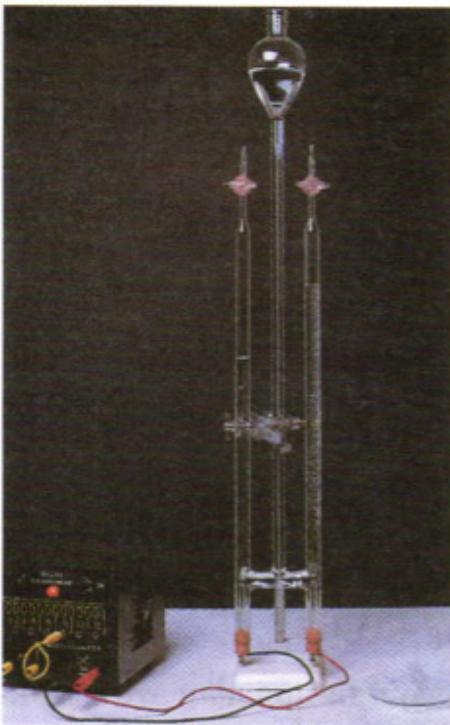
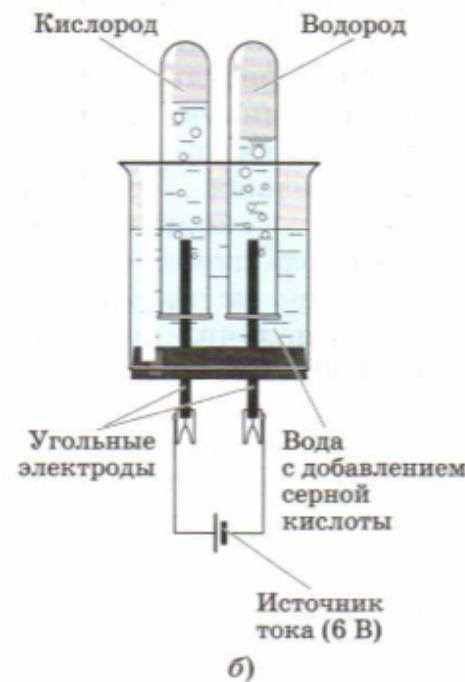


Рис. 100. Опыт Пристли



a)



б)

Рис. 101. Электролиз воды: а — фотография электролизёра; б — схема электролизёра

Нальём в химический стакан на $\frac{1}{3}$ его объёма купленного в аптеке пероксида водорода и с помощью ложечки аккуратно всыпем в него немного порошка оксида марганца (IV) (рис. 102, а). Жидкость в стакане мгновенно «вспыхивает» от бурно выделяющегося кислорода

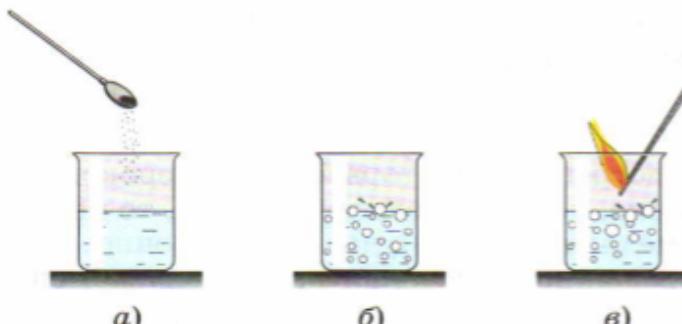


Рис. 102. Разложение пероксида водорода с использованием оксида марганца (IV)

(рис. 102, б). Внесённая в верхнюю часть стакана тлеющая лучинка ярко вспыхивает, доказывая наличие кислорода (рис. 102, в). В этом случае говорят о том, что реакция протекает с **большой скоростью**. Следовательно, **скорость химической реакции** — это быстрота её протекания, т. е. быстрота превращения одних веществ в другие.

Мы научились управлять скоростью химической реакции разложения пероксида водорода, и помог нам в этом оксид марганца (IV) — катализатор этой реакции.

Катализаторы — это вещества, изменяющие скорость химических реакций, но по окончании их остающиеся качественно и количественно неизменёнными.

По окончании химической реакции разложения пероксида водорода ускоривший её протекание оксид марганца (IV) не изменился. Как это можно доказать? Если вылить из химического стакана оставшийся в нём продукт реакции — воду, а затем прилить в него свежую порцию пероксида водорода, то реакция будет протекать снова.

Аналогичный процесс вы могли наблюдать, если полученную вами ранку для её обеззараживания обрабатывали перекисью водорода. Бурное выделение кислорода катализируется в этом случае содержащимся в крови биологическим катализатором — ферментом каталазой.

Биологические катализаторы белковой природы называют ферментами.

Большинство химических процессов в живых организмах протекают с участием ферментов.

Ферменты входят в состав многих стиральных порошков и помогают отстирывать пятна крови, белков, чая и других загрязнителей. С помощью ферментов варят пиво, изготавливают сыры и лекарственные средства.

Обратим внимание на признак реакции разложения пероксида водорода — в реакцию *вступило одно* сложное вещество, а *образовались два* новых — простое и сложное.

Рассмотрим ещё одну разновидность реакций разложения.

Подогреем в пробирке на пламени спиртовки свежеполученный голубой студенистый осадок гидроксида меди (II). Содержимое пробирки чернеет из-за получающегося в результате реакции разложения оксида меди (II):



В этой реакции из одного сложного вещества (гидроксида меди (II)) образовались два новых сложных вещества: оксид меди (II) и вода.

В промышленности разложение минерала известняка, основу которого составляет карбонат кальция, используют для получения негашёной извести (оксида кальция):



Этот производственный процесс называют обжигом известняка. Его также применяют для производства углекислого газа, который имеет большое промышленное значение (*вспомните какое*).

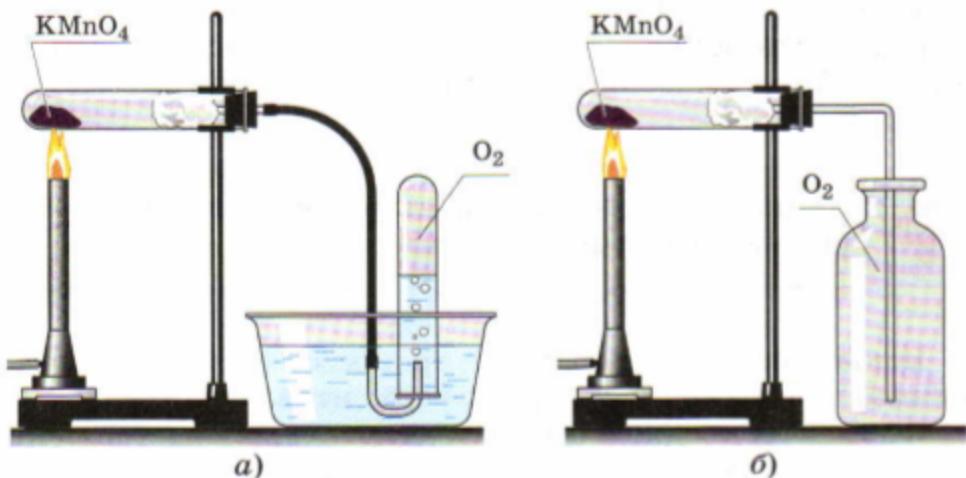


Рис. 103. Получение и собирание кислорода:
а — методом вытеснения воды; б — методом вытеснения воздуха

А может в результате реакции разложения получиться не два, а более двух веществ?

Опять обратимся к эксперименту: получим кислород ещё одним способом — разложением перманганата калия KMnO_4 , в быту называемого марганцовкой:



и соберём его (рис. 103).

В данном случае в реакцию вступило одно сложное вещество, а образовалось три новых вещества — два сложных и одно простое.

Подведём итоги — сформулируем определение понятия «реакция разложения».

 **Реакции разложения** — это такие реакции, в результате которых из одного сложного вещества образуются два и более новых вещества.

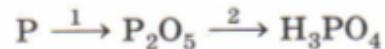
§ 31 Реакции соединения

Понятие «реакции соединения» является антонимом понятия «реакции разложения». Попробуйте, используя приём противопоставления, дать определение понятия «реакции соединения». Верно! У вас получилась следующая формулировка.



Реакции соединения — это такие реакции, в результате которых из одного или нескольких исходных веществ образуется одно сложное вещество.

Рассмотрим этот тип реакций с помощью ещё одной, новой для вас формы записи химических процессов — так называемых цепочек переходов, или превращений. Например, схема



показывает превращение фосфора в оксид фосфора (V) P_2O_5 , который, в свою очередь, затем превращается в фосфорную кислоту H_3PO_4 .

Число стрелок в схеме превращения веществ соответствует минимальному числу химических превращений — химических реакций. В рассматриваемом примере это два химических процесса.

1-й процесс. Получение оксида фосфора (V) P_2O_5 из фосфора. Очевидно, что это реакция соединения фосфора с кислородом.

Поместим немного красного фосфора в ложечку для сжигания веществ и подожжём его. Фосфор горит ярким пламенем с образованием белого дыма, состоящего из маленьких частичек оксида фосфора (V):



2-й процесс. Внесём ложечку с горящим фосфором в колбу. Она заполняется густым дымом из оксида фосфора (V). Вынем ложечку из колбы, прильём в колбу воду и взболтаем содержимое, предварительно закрыв горлышко колбы пробкой. Дым постепенно редеет, растворяется в воде и, наконец, исчезает совсем. Если к полученному в колбе раствору добавить немногого лакмуса, он окрасится в красный цвет, что является доказательством образования фосфорной кислоты:



Реакции, которые проводят для осуществления рассматриваемых переходов, протекают без участия катализатора, поэтому их называют **некаталитическими**. Рассмотренные выше реакции протекают только в одном направлении, т. е. являются **необратимыми**.

Проанализируем, сколько и каких веществ вступало в рассмотренные выше реакции и сколько и каких веществ в них образовалось. В первой реакции из двух простых веществ образовалось одно сложное, а во второй — из двух сложных веществ, каждое из которых состоит из двух элементов, образовалось одно сложное вещество, состоящее уже из трёх элементов.

Одно сложное вещество может также образоваться и в результате реакции соединения сложного и простого веществ. Например, при производстве серной кислоты из оксида серы (IV) получают оксид серы (VI):

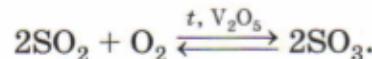


Эта реакция протекает как в прямом направлении, т. е. с образованием продукта реакции, так и в обратном, т. е. происходит разложение продукта реакции на исходные вещества, поэтому в них вместо знака равенства ставят знак обратимости \rightleftharpoons .



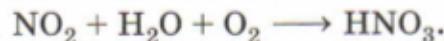
Химические реакции, которые протекают одновременно в двух противоположных направлениях — прямом и обратном, называют **обратимыми**.

В этой реакции участвует катализатор — оксид ванадия (V) V_2O_5 , который указывают над знаком обратимости:



Реакции, протекающие с участием катализатора, называют **катализитическими**, а с участием ферментов — **ферментативными**.
Реакции, протекающие без участия катализатора, называют **некатализитическими**.

Сложное вещество также может быть получено и в реакции соединения трёх веществ. Например, азотную кислоту получают по реакции, схема которой:



Рассмотрим, как подобрать коэффициенты для уравнивания схемы этой химической реакции.

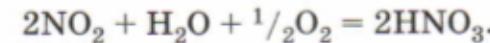
Число атомов азота уравнивать не нужно: и в левой, и в правой частях схемы по одному атому азота. Уравняем число атомов водорода — перед формулой кислоты запишем коэффициент 2:



но при этом нарушится равенство числа атомов азота — в левой части остался один атом азота, а в правой их стало два. Запишем коэффициент 2 перед формулой оксида азота (IV):



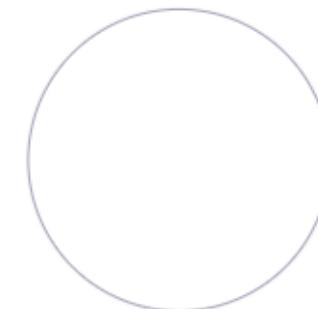
Подсчитаем число атомов кислорода: в левой части схемы реакции их семь, а в правой части — шесть. Чтобы уравнять число атомов кислорода (по шесть атомов в каждой части уравнения), вспомним, что перед формулами простых веществ можно записать дробный коэффициент $1/2$:



Сделаем коэффициенты целыми. Для этого перепишем уравнение, удвоив коэффициенты:



Следует отметить, что почти все реакции соединения относятся к экзотермическим реакциям.



Реакции замещения

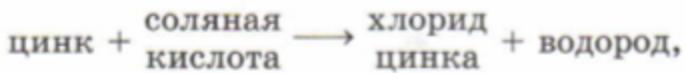
Познакомимся с третьим типом реакций — *реакциями замещения*.

Повторим опыт замечательного английского химика — лорда Г. Кавендиша.

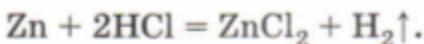
Нальём в пробирку 2—3 мл соляной кислоты, а затем поместим в неё 2—3 гранулы (от греч. *гранула* — зёрнышко) цинка. Заметим выделение газа. Накроем на 3—4 с пробирку-реактор, в которой протекает реакция, другой пробиркой большего диаметра и соберём в неё выделяющийся газ (методом вытеснения воздуха). Это возможно потому, что выделяющийся в результате этой реакции газ — водород — гораздо легче воздуха. Приподняв пробирку с водородом над пробиркой-реактором, быстро поднесём её отверстие к пламени горелки. Раздается взрыв, сопровождающийся характерным «лающим» звуком. Это взрывается смесь водорода с воздухом, которую образно называют «гремучим газом». Точнее, так называют смесь 2 объёмов водорода и 1 объёма кислорода.

Если же закрыть отверстие пробирки-реактора пальцем и через 5—10 с после того, как почувствуется давление собранного в верхней части пробирки газа на палец, убрать его с одновременным поднесением к отверстию горящей спички, то раздается лёгкий хлопок — результат сгорания чистого водорода. Если несколько капель жидкости, полученной в результате реакции между цинком и соляной кислотой, поместить на часовое стекло и выпарить, то можно заметить образование кристалликов соли — хлорида цинка.

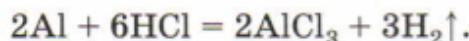
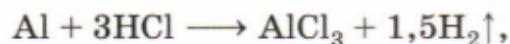
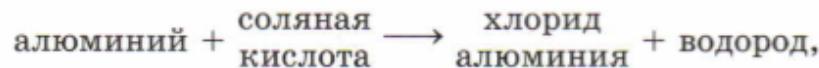
Составим уравнение реакции цинка с соляной кислотой:



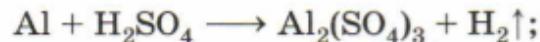
и, наконец,



Аналогичную реакцию можно провести и с другим металлом — алюминием:



С раствором серной кислоты цинк и алюминий образуют уже другие соли — сульфаты, например:



Все ли металлы взаимодействуют с кислотами с образованием соли и водорода?

Обратимся к эксперименту. Нальём в четыре одинаковые пробирки равные объёмы соляной кислоты и поместим в них разные металлы: в 1-ю — кусочек кальция, во 2-ю — магния, в 3-ю — цинка, а в 4-ю — меди (рис. 104). Нетрудно заметить, что интенсивность выделения водорода будет уменьшаться от кальция к цинку, а в пробирке с медью газ вообще не выделяется — там не происходит реакция.

Для прогнозирования возможности протекания реакций между металлами и кислотами обратимся к так

называемому ряду активности (напряжений) металлов:

Li, K, Ba, Ca, Na, Mg, Al, Mn, Zn, Cr, Fe, Co, Sn, Pb, H₂, Cu, Hg, Ag, Au.

Почему же в ряд металлов попал неметалл — водород? Оказывается, каждый из металлов, расположенных в ряду активности металлов до водорода, способен вытеснять его из растворов кислот. А вот медь с

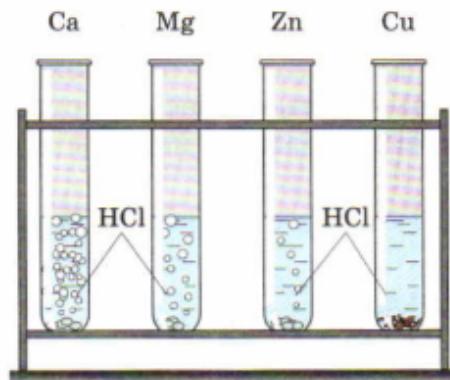
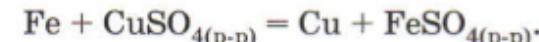


Рис. 104. Взаимодействие различных металлов с соляной кислотой

соляной кислотой не взаимодействует и поэтому находится в ряду активности металлов после водорода. В пробирке с этим металлом и соляной кислотой реакции не наблюдалось. Аналогично не будут вытеснять водород из растворов кислот ртуть, серебро и золото.

Ряд активности металлов можно также использовать для прогнозирования возможности протекания реакций вытеснения одними металлами из растворов их солей другими.

Обратимся к эксперименту: поместим в химический стакан с раствором сульфата меди (II) большой железный гвоздь. Уже через 2—3 мин можно заметить, что та часть гвоздя, которая находится в растворе, покрылась красным налётом выделившейся меди (рис. 105). Произошла реакция, уравнение которой:



Цинк взаимодействует с растворами солей меди и серебра, но не магния или цинка (рис. 106).

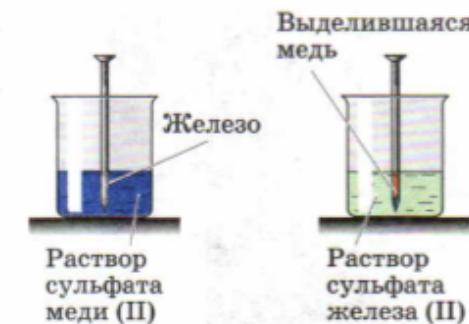


Рис. 105. Реакция замещения меди железом в растворе сульфата меди (II)



Рис. 106. Взаимодействие цинка с растворами различных солей

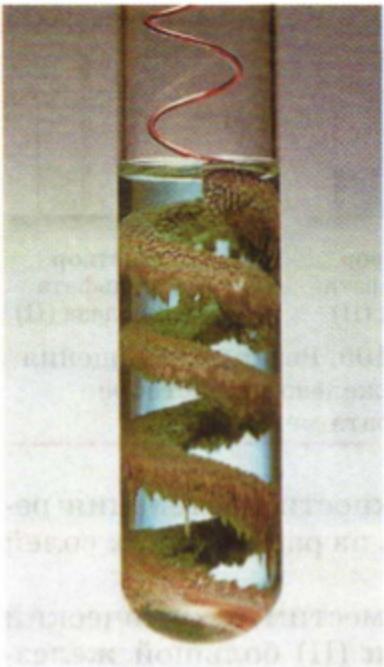
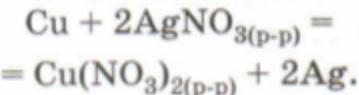


Рис. 107. Кристаллы серебра, выделившиеся на медной проволоке в результате реакции замещения меди в растворе нитрата серебра

Для того чтобы реакция между металлом и раствором соли была практически осуществима, необходимо выполнение следующего условия: металл должен располагаться в ряду активности металлов левее металла, входящего в соль, т. е. быть активнее металла соли. Поэтому медь не вступает в реакцию с раствором соли свинца или железа, но зато вытесняет серебро из раствора нитрата серебра (рис. 107):



Все рассмотренные выше реакции относят к реакциям замещения. Нетрудно заметить, что эти реакции протекают между двумя исходными веществами, одно из которых простое, а другое — сложное, а в результате получаются два новых вещества — новое простое и новое сложное.



Реакции замещения — это такие реакции, в результате которых атомы простого вещества замещают атомы одного из химических элементов в сложном веществе.

§ 33 Реакции обмена

Познакомимся с последним типом реакций по признаку «число и состав исходных веществ и продуктов реакции».

В демонстрационную пробирку нальём раствор щёлочи — гидроксида натрия, а затем добавим к нему раствор соли — сульфата меди (II). Выпадет густой синий осадок нерастворимого в воде гидроксида меди (II) (рис. 108). Если небольшую часть содержимого из пробирки, в которой образовался осадок, профильтровать и выпарить несколько капель полученного раствора на часовом стекле, то нетрудно будет заметить появление белых кристалликов соли, образовавшейся в ходе реакции:



Чтобы подчеркнуть, что в результате реакции образуется осадок нерастворимого в воде гидроксида меди (II), рядом с его формулой в уравнении реакции записывают стрелку, направленную вниз.

Бесспорно, полученная соль может быть только сульфатом натрия Na_2SO_4 :



В результате проведённой реакции два сложных вещества ионного строения — гидроксид натрия и сульфат меди (II) — обменялись своими ионами, т. е. произошла реакция обмена, уравнение которой:



Реакции обмена — это реакции, в результате которых два сложных вещества обмениваются своими составными частями.

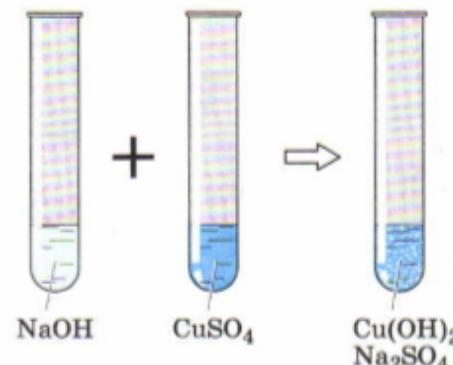
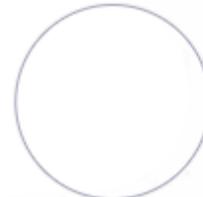


Рис. 108. Взаимодействие гидроксида натрия с сульфатом меди (II)



Рис. 109. Взаимодействие иодида натрия с нитратом свинца (II)

Аналогично обмениваются ионами в результате реакции обмена иодид натрия и нитрат свинца (II) в растворе. В итоге выпадает жёлтый осадок иодида свинца (II) (рис. 109):



В демонстрационную пробирку нальём раствор щёлочи и добавим к нему несколько капель фенолфталеина. Содержимое пробирки окрасится в малиновый цвет, что свидетельствует о щелочной среде раствора. Если же теперь к содержимому пробирки прилить немного раствора кислоты, окраска исчезнет, раствор обесцветится, что является признаком химической реакции (рис. 110). Если несколько капель жидкости, полученной в результате реакции, выпарить на часовом стекле, то на нём образуются кристаллики соли. Ещё одним продуктом проведённой реакции является вода:



Обратите внимание, взаимодействуют два сложных вещества: щёлочь, состоящая из ионов металла и гидроксид-ионов, и кислота — молекулярное соединение, которое в растворе образует ионы водорода и кислотного остатка. В итоге образуются два новых сложных вещества: ионное соединение — соль и молекулярное — вода.

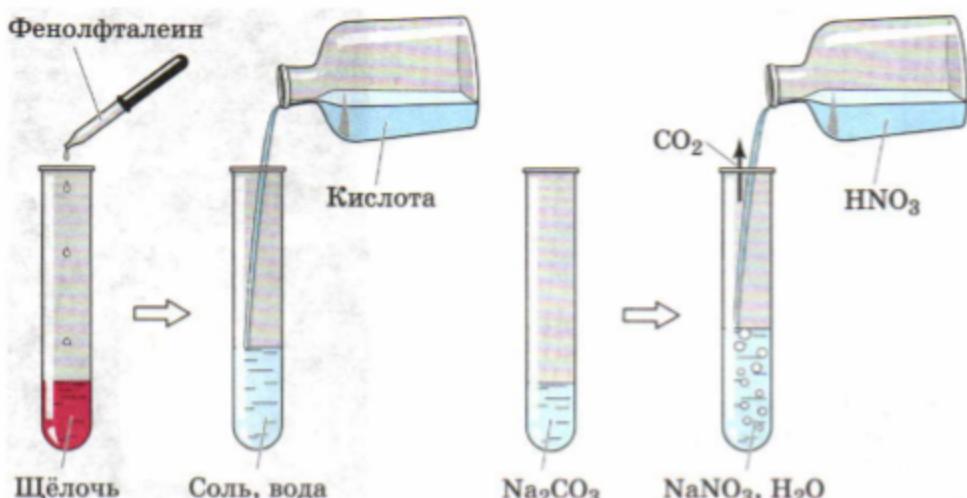
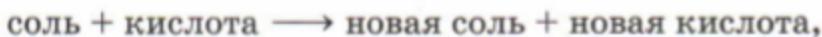


Рис. 110. Взаимодействие растворов щёлочи и кислоты

Рис. 111. Взаимодействие карбоната натрия с азотной кислотой

В каждом из двух взаимодействующих растворов была своя среда, соответственно щелочная и кислотная. В результате реакции среда стала нейтральной. Поэтому реакцию обмена между кислотами и щелочами называют **реакцией нейтрализации**.

В демонстрационную пробирку нальём прозрачный бесцветный раствор карбоната натрия и добавим к нему немного раствора азотной кислоты. Признаком химической реакции послужит «вспышка» раствора из-за выделившегося в результате её углекислого газа (рис. 111):



А откуда взялся углекислый газ? Вероятно, вы вспомните, что угольная кислота — непрочное соединение, которое распадается на углекислый газ и воду:



поэтому уравнение реакции следует записать так:



Сформулируем правило, согласно которому протекают реакции обмена между растворами веществ.



Реакции обмена, протекающие в растворах, идут до конца только в том случае, если в результате их образуется осадок, газ или вода.

Если к раствору хлорида натрия прилить раствор гидроксида калия, то никаких признаков реакции нельзя будет заметить — реакция не идёт, так как в результате её не образуется ни осадка, ни газа, ни воды:

