

Физические явления в химии

Вы уже знаете, что с телами и веществами происходят различные изменения, которые называют явлениями, и помните, что их делят на *физические и химические*. При *физических явлениях* состав чистых индивидуальных веществ остаётся без изменения, а изменяется лишь его агрегатное состояние или форма и размеры тел.

Физические явления, выражющиеся в изменениях агрегатного состояния вещества или формы и размеров тел, определяют важнейшие области применения их в народном хозяйстве. Так, пластичность алюминия позволяет вытягивать его в проволоку или прокатывать в тонкую фольгу; электропроводность и сравнительная лёгкость алюминия позволяют использовать его в качестве прово-

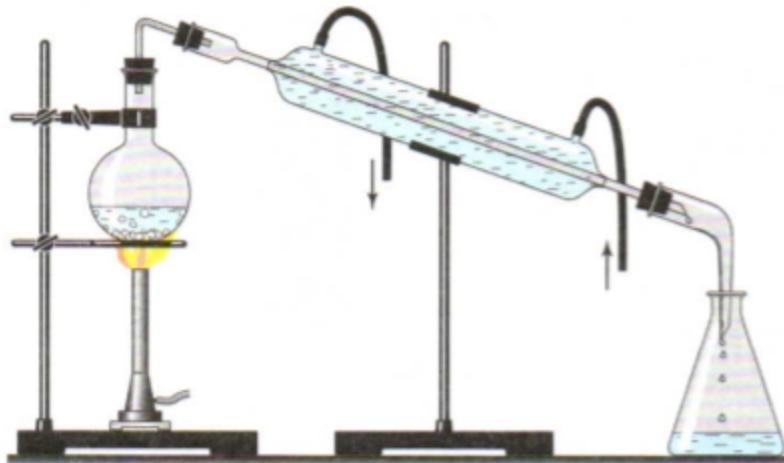


Рис. 84. Дистилляция

дов линий электропередачи, а сплавы — в самолётостроении; теплопроводность, пластичность и неядовитость — при изготовлении посуды и т. д.

Многие способы получения чистых химических веществ, по сути, физические явления. К ним относят перегонку, кристаллизацию, фильтрование, возгонку и др. Например, на различии температур кипения веществ основан *способ дистилляции* (рис. 84), или *перегонки*.

Этим способом получают воду, очищенную от растворённых в ней веществ. Такая вода называется *дистиллированной*. Именно её используют для приготовления лекарственных растворов и для заливки в систему охлаждения автомобилей.

Перегонку как способ разделения жидких смесей применяют для получения из природной нефти отдельных нефтепродуктов. Промышленная установка для непрерывной перегонки нефти состоит из трубчатой печи (рис. 85, 1) для нагревания нефти и разделительной, или ректификационной, колонны (рис. 85, 2), где нефть разделяется на фракции (дистилляты) — отдельные нефтепродукты.

В трубчатой печи в виде змеевика расположен длинный трубопровод. Печь обогревается горя-



Рис. 85. Схема трубчатой установки для непрерывной перегонки нефти: 1 — трубчатая печь; 2 — ректификационная колонна; 3 — холодильник

щим мазутом или газом. По трубопроводу непрерывно подаётся нефть, в нём она нагревается до 320—350 °С и в виде смеси жидкости и паров поступает в ректификационную колонну.

Ректификационная колонна — стальной цилиндрический аппарат высотой около 40 м. Она имеет внутри несколько десятков горизонтальных перегородок с отверстиями, так называемых тарелок. Пары нефти, поступая в колонну, поднимаются вверх и проходят через отверстия в тарелках. Постепенно охлаждаясь при своём движении вверх, они сжижаются на тех или иных тарелках в зависимости от температур кипения и плотности. Углеводороды менее летучие и сжижаются уже на первых тарелках, образуя *газойлевую* фракцию, более летучие углеводороды собираются выше и образуют *керосиновую* фракцию, ещё выше собирается *лигроиновая* фракция, наиболее летучие углеводороды выходят в виде паров из колонны и образуют *бензин*. Внизу собирается густая чёрная жидкость — *мазут*. Его используют в качестве топлива, а также для получения смазочных масел путём дополнительной перегонки.

Способ перегонки жидкого воздуха лежит в основе получения из него отдельных составных частей — азота (он выкипает первым), кислорода и др.

Для очистки солей используют способ *кристаллизации*. При этом, например, природную соль растворяют в воде и затем фильтруют (рис. 86). В результате

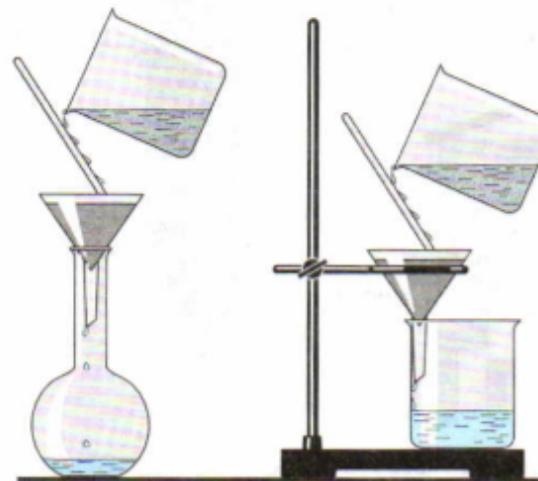


Рис. 86. Фильтрование



Рис. 87. Выпаривание

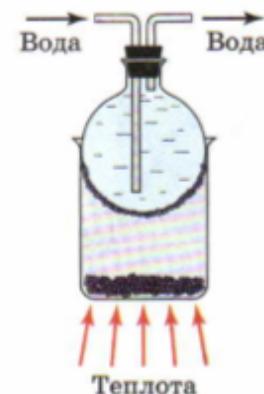


Рис. 88. Возгонка иода

те получают раствор поваренной соли, очищенный от песка, глины и других нерастворимых в воде примесей. Затем соль выделяют из раствора *выпариванием* (рис. 87), вода испаряется, а в фарфоровой чашке остаются кристаллы соли.

Способ *фильтрования* основан на различной пропускной способности пористого материала — *фильтра* по отношению к составляющим смесь частицам. Фильтром для очистки питьевой воды на станциях водоочистки служит слой песка. В пылесосе, который очищает воздух от звешенной в нём пыли, применяют бумажные или матерчатые фильтры; в медицине при уходе за больными или во время хирургической операции используют в качестве фильтра многослойные марлевые повязки.

Для получения чистых иода и серы используют такое физическое явление, как *возгонка (сублимация)*, т. е. переход вещества из твёрдого состояния в газообразное, минуя жидкую фазу (рис. 88). При возгонке в нагреваемой части прибора кристаллическое вещество испаряется, а в охлаждаемой — снова конденсируется с образованием кристаллов. Лёд способен к возгонке, недаром мокрое бельё высыхает и на морозе.

Возгонка определила использование твёрдого углекислого газа CO_2 (как вы знаете, его называют сухим льдом) для хранения продуктов, и в первую очередь мороженого.

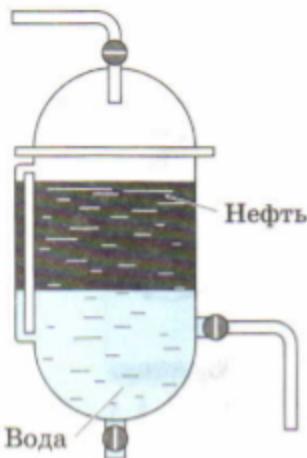


Рис. 89. Нефтеразделяльная колонка



Рис. 90. Делительная воронка

Различная плотность веществ лежит в основе такого способа разделения смесей, как *отстаивание*. Например, смеси нефти и воды, растительного масла и воды быстро расслаиваются и поэтому их легко отделить друг от друга с помощью *делительной воронки* (рис. 89, 90).

Чтобы ускорить процесс разделения смесей, вместо отстаивания в лабораторной практике часто используют *центрифугирование*, которое получило такое название из-за особого прибора — *центрифуги*. В центрифугу



а)

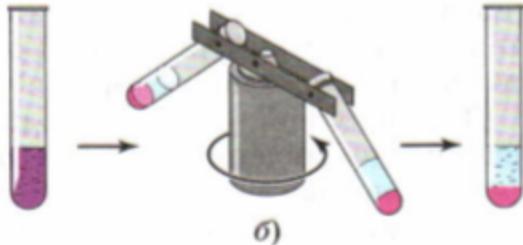


Рис. 91. Центрифугирование: а — фотография центрифуги; б — схема действия центрифуги

помещают пробирки со смесью веществ. Включают прибор, который начинает, подобно карусели, интенсивно раскручивать закреплённые в нём пробирки. Под действием центробежной силы частицы разных веществ получают различное ускорение, так как обладают различной плотностью, и смесь разделяется (рис. 91).

Химические реакции

В отличие от физических явлений при **химических явлениях**, или **химических реакциях**, как вы знаете, происходит превращение одних веществ в другие. Эти превращения сопровождаются внешними признаками: образованием осадка или газа, изменением цвета, выделением или поглощением теплоты, появлением запаха и др.

Вспомните те опыты, которые вам демонстрировал учитель на первых уроках. Взаимодействие мрамора — карбоната кальция CaCO_3 — с соляной кислотой HCl сопровождалось выделением углекислого газа — оксида углерода (IV) CO_2 . А пропускание его через прозрачную известковую воду — раствор гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ — происходило с образованием осадка — карбоната кальция CaCO_3 .

Понаблюдаем за протеканием некоторых химических реакций и установим признаки, которые подтверждают образование новых веществ и появление у них новых свойств — нерастворимости или малой растворимости в воде, запаха, цвета и др.

В пробирку нальём 2 мл раствора хлорида железа (III) FeCl_3 , а затем добавим несколько капель раствора роданида калия KSCN . Мы увидим появление кроваво-красного раствора нового вещества — роданида железа (III) $\text{Fe}(\text{SCN})_3$.

Смешаем порошки железа и серы, новые вещества при этом не появились. Железо из этой смеси будет притягиваться магнитом, а при опускании смеси в воду сера всплывает на поверхность, т. е. смесь можно очень просто разделить. Однако если эту смесь порошков железа и серы нагреть, то начнётся химическая реакция, которая будет продолжаться далее без нагревания с выделением теплоты — мы увидим, как смесь раскалятся. После окончания реакции получится новое вещество — сульфид железа (II) FeS . Оно серого цвета, тонет в воде и не притягивается магнитом (рис. 92).

Подожжём в железной ложечке немного серы — она загорится синеватым пламенем и даст обильный едкий дым сернистого газа — оксида серы (IV) SO_2 . О протека-

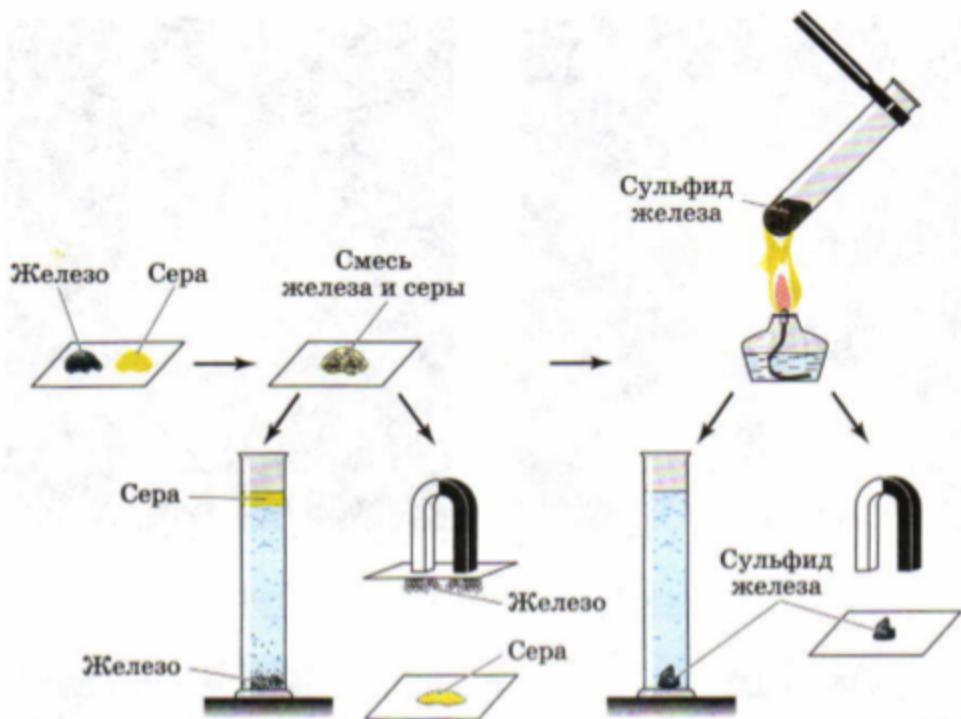


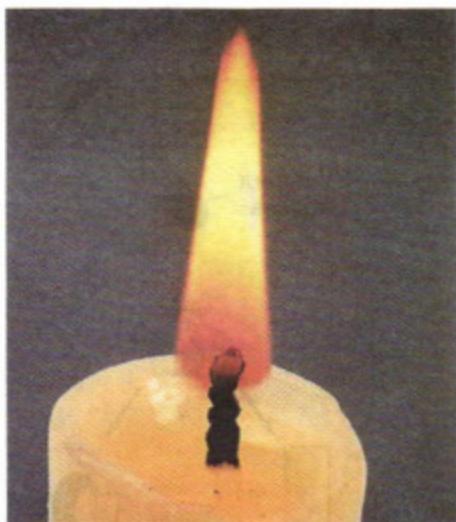
Рис. 92. Разделение смеси порошков железа и серы (слева). Взаимодействие железа с серой (справа)

нии реакции можно судить по изменению цвета, появлению газа с резким запахом, выделению теплоты и света.

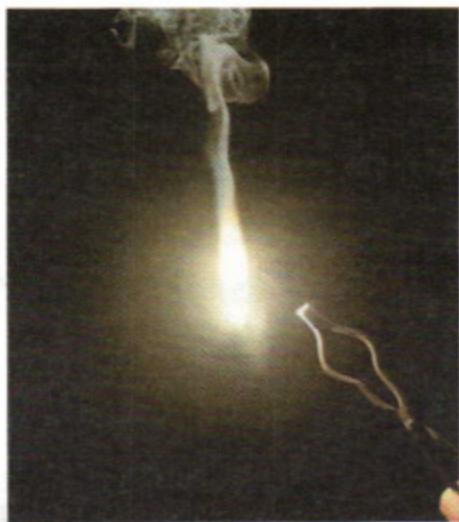
→ Реакции, протекающие с выделением теплоты и света, называют **реакциями горения**.

Реакцию мгновенного горения порошка магния использовали при фотографировании в качестве «вспышки», пока не появилась электрическая лампа. **Реакции горения** — это частный случай большой группы химических реакций, протекающих с выделением теплоты (рис. 93).

→ Реакции, протекающие с выделением теплоты, называют **экзотермическими** (экзо — наружу), а протекающие с поглощением теплоты — **эндотермическими** (эндо — внутрь).



a)



б)

Рис. 93. Реакции горения: *а* — свечи; *б* — магниевой ленты

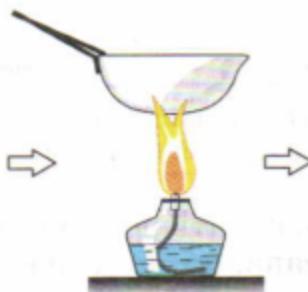


Рис. 94. Разложение оксида ртути (II): *а* — исходное вещество — оксид ртути (II) (красного цвета); *б* — один из продуктов реакции — ртуть (серебристо-белого цвета)

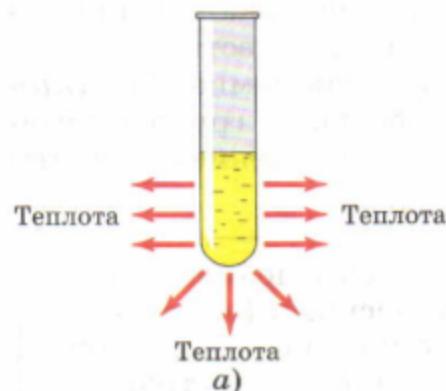
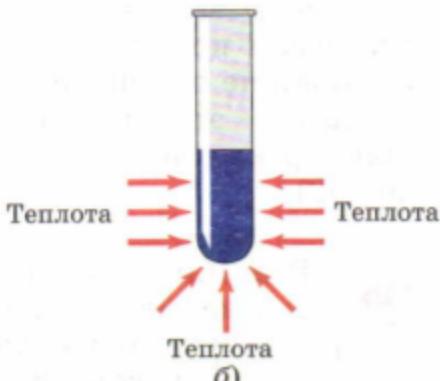


Рис. 95. Реакции: *а* — экзотермическая; *б* — эндотермическая



К последним, например, относят реакцию разложения оксида ртути (II), которую вы можете посмотреть на фотографиях (рис. 94), так как из-за токсичности ртути и её соединений эту реакцию в условиях школы проводить запрещено.

Схематично экзотермические и эндотермические реакции представлены на рисунке 95.

В заключение рассмотрим, какие *условия* должны выполняться, чтобы произошла химическая реакция.

1. Необходимо, чтобы реагирующие вещества соприкоснулись, и чем больше площадь их соприкосновения, тем быстрее идёт химическая реакция. Поэтому твёрдые вещества измельчают и перемешивают, а хорошо растворимые вещества растворяют и растворы сливают.

2. Второе важное условие — нагревание. Некоторые реакции (как правило, экзотермические) идут без нагревания, и только для некоторых экзотермических реакций оно необходимо лишь для того, чтобы реакция началась, а вот для эндотермических реакций необходимо нагревание на протяжении всей реакции.

3. Некоторые реакции протекают под действием электрического тока, света и т. д.

Химические уравнения

Закон сохранения массы веществ, открытый М. В. Ломоносовым в 1748 г., гласит:

massa веществ, вступивших в химическую реакцию, равна массе веществ, получившихся в результате её.

Материальными носителями массы веществ являются атомы химических элементов, из которых состоят как вступившие в реакцию вещества (реагенты), так и образовавшиеся в результате её новые вещества (продукты реакции). Поскольку при химических реакциях атомы не образуются и не разрушаются, а происходит лишь их перегруппировка, то становится очевидным справедливость открытого М. В. Ломоносовым и подтверждённого позднее А. Лавузье закона.

В справедливости закона сохранения массы веществ можно легко убедиться на простом опыте. Поместим в

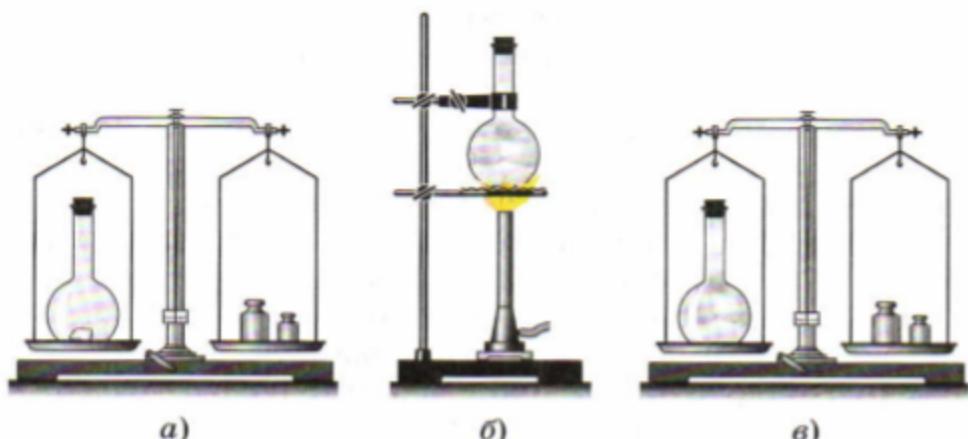


Рис. 96. Экспериментальная проверка закона сохранения массы веществ: а — взвешивание колбы с фосфором до реакции; б — горение фосфора в закрытой колбе; в — взвешивание колбы с продуктом реакции

колбу немногого красного фосфора, закроем её пробкой и взвесим на весах (рис. 96). Затем колбу осторожно нагреем. О том, что произошла химическая реакция, можно определить по появлению в колбе густого белого дыма, состоящего из оксида фосфора (V), который образовался при взаимодействии фосфора с кислородом. При повторном взвешивании колбы с продуктами этой реакции мы убедимся, что масса веществ в колбе не изменилась, хотя и произошло превращение фосфора в его оксид.

Этот же вывод будет нами сделан и при проведении ещё одного простого, но очень наглядного опыта. В специальный сосуд нальём отдельно солянную кислоту и раствор щёлочи, например гидроксида натрия (рис. 97). К раствору щёлочи добавим несколько капель индикатора —

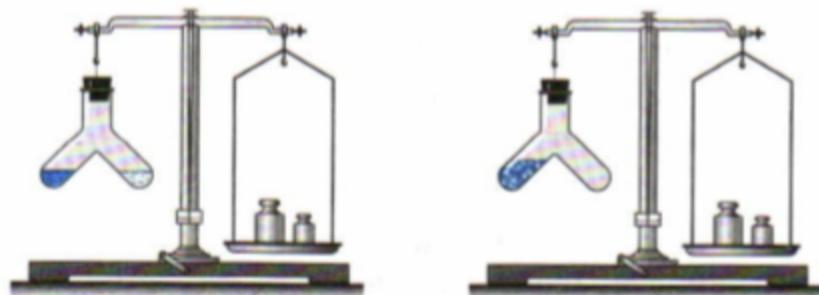


Рис. 97. Опыт, подтверждающий закон сохранения массы вещества

фенолфталеина, отчего раствор окрасится в малиновый цвет. Закроем прибор пробкой, уравновесим гирями на весах, отметим массу, а затем сольём растворы. Малиновая окраска исчезнет, потому что кислота и щёлочь прореагировали друг с другом. Масса же сосуда с полученными продуктами реакции не изменилась.

Аналогичное наблюдение сделал и автор закона сохранения массы веществ М. В. Ломоносов, который проводил опыты в запаянных стеклянных сосудах, «дабы исследовать, прибывает ли вес металла от чистого жару», и обнаружил, что «без пропущения внешнего воздуха вес металлов остаётся в одной мере».

На основании этого закона пишут химические предложения, т. е. составляют уравнения химических реакций с помощью химических слов — формул.



Химическим уравнением называют условную запись химической реакции с помощью химических формул и математических знаков.

В левой части уравнения записывают формулы (формулу) веществ, вступивших в реакцию, соединяя их знаком «плюс». В правой части уравнения записывают формулы (формулу) образующихся веществ, также соединённых знаком «плюс». Между частями уравнения ставят стрелку. Затем находят коэффициенты — числа, стоящие перед формулами веществ, чтобы число атомов одинаковых элементов в левой и правой частях уравнения было равным.

Запишем, например, уравнение реакции водорода с кислородом. Сначала составим схему реакции — укажем формулы веществ, вступающих в реакцию (водород H_2 и кислород O_2) и образующихся в результате её (вода H_2O), и соединим их стрелкой:



Так как число атомов кислорода в левой части вдвое больше, чем в правой, запишем перед формулой воды коэффициент 2:

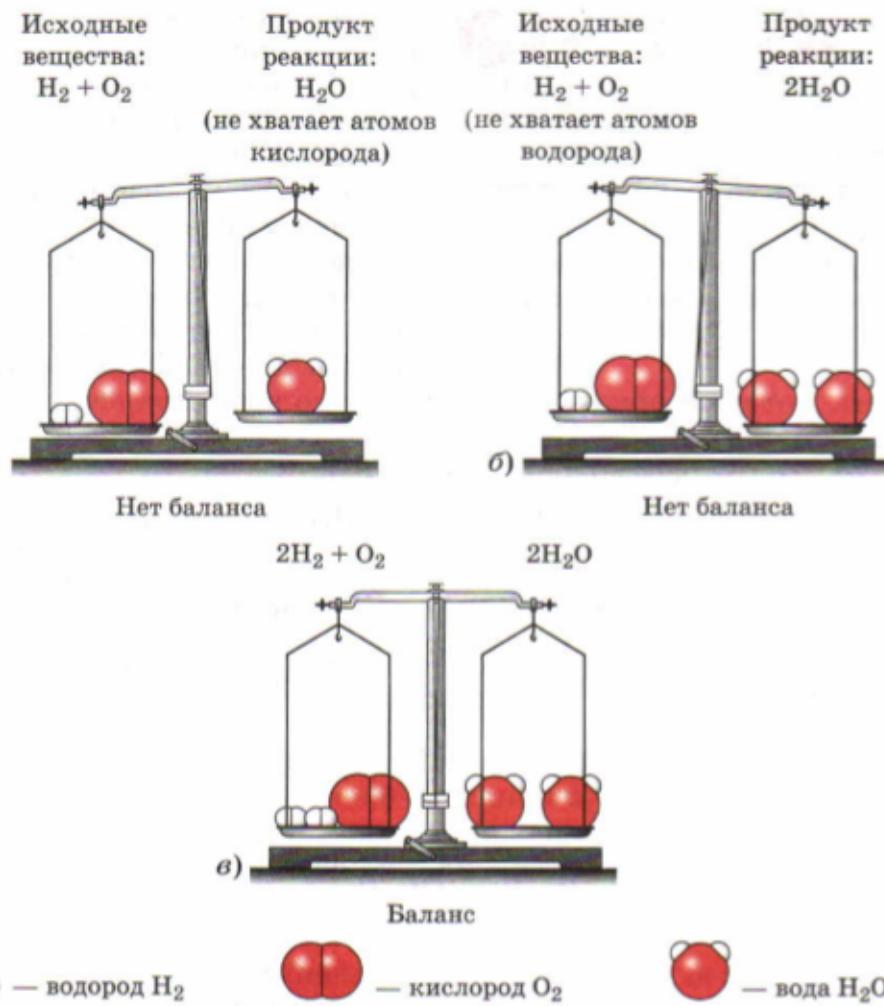


Рис. 98. Составление уравнения реакции взаимодействия водорода и кислорода

Но теперь в правой части уравнения стало четыре атома водорода, а в левой их осталось два. Чтобы уравнять число атомов водорода, запишем перед его формулой в левой части коэффициент 2. Так как мы уравняли число атомов каждого элемента в левой и правой частях уравнения, заменим стрелку на знак равенства:



Теперь, наверное, вам понятно, почему такую запись называют уравнением (рис. 99).

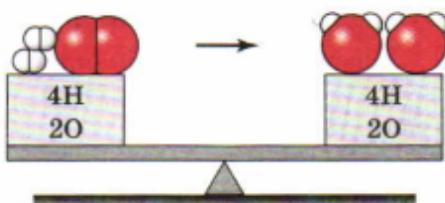


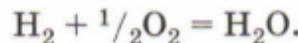
Рис. 99. Закон сохранения массы веществ на примере реакции, уравнение которой $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$

ент, который показывает количество вещества реагирующих и образующихся веществ.

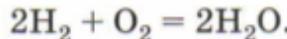
Так, для рассмотренного выше примера:



число атомов кислорода в правой и левой частях уравнения можно сделать равными с помощью коэффициента $\frac{1}{2}$, поставив его перед формулой кислорода:



Но так как коэффициент показывает не только количество вещества, но и число молекул (атомов), а половину молекулы взять невозможно, лучше переписать приведённое уравнение, удвоив все коэффициенты в нём:



Приведём ещё пример составления уравнения реакции горения этана C_2H_6 , содержащегося в природном газе. Известно, что в результате этого процесса образуются углекислый газ и вода. Схема этой реакции:



Уравняем число атомов углерода и водорода:



Теперь в правой части уравнения реакции 7 атомов кислорода, а в левой — только 2. Уравняем число атомов кислорода, записав перед формулой O_2 коэффициент 3,5 ($7 : 2 = 3,5$):



Для составления уравнений химических реакций, кроме знания формул реагентов и продуктов реакции, необходимо верно подобрать коэффициенты. Это можно сделать, используя несложные правила.

1. Перед формулой простого вещества можно записывать дробный коэффици-

И наконец, перепишем полученное уравнение реакции, удвоив коэффициенты перед формулами всех участников реакции:



2. Если в схеме реакции есть формула соли, то вначале уравнивают число ионов, образующих соль.

Например, взаимодействие серной кислоты и гидроксида алюминия описывают схемой:



Образующаяся в результате реакции соль — сульфат алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ — состоит из ионов алюминия Al^{3+} и сульфат-ионов SO_4^{2-} . Уравняем их число, записав перед формулами H_2SO_4 и $\text{Al}(\text{OH})_3$ соответственно коэффициенты 3 и 2:



Чтобы уравнять число атомов водорода и кислорода, воспользуемся третьим правилом.

3. Если участвующие в реакции вещества содержат водород и кислород, то атомы водорода уравнивают в предпоследнюю очередь, а атомы кислорода — в последнюю.

Следовательно, уравняем число атомов водорода. В левой части схемы реакции 12 атомов водорода, а в правой — только 2, поэтому перед формулой воды запишем коэффициент 6:



Индикатором верности расстановки коэффициентов является равенство числа атомов кислорода в левой и правой частях уравнения реакции — по 24 атома кислорода. Поэтому заменим стрелку на знак равенства:



4. Если в схеме реакции имеется несколько формул солей, то необходимо начинать уравнивание с ионов, входящих в состав соли, содержащей большее их число.

Например, взаимодействие растворов фосфата натрия и нитрата кальция описывают схемой:



Наибольшее число ионов содержит один из продуктов реакции — фосфат кальция $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, поэтому уравнивают ионы, которыми образована эта соль, — Ca^{2+} и PO_4^{3-} :



и, наконец, ионы Na^+ и NO_3^- :



Расчёты по химическим уравнениям

По химическим уравнениям можно рассчитать массу, объём и количество реагирующих и образующихся веществ.

Для расчётов очень важно выбрать соответствующие друг другу единицы измерения массы, объёма и количества веществ. С этой целью можно воспользоваться таблицей 7.

Для того чтобы решить расчётную задачу по химии, можно воспользоваться следующим алгоритмом.

1. Составить уравнение химической реакции.
2. Перевести данные задачи (массу или объём) в количество вещества (моль, кмоль, ммоль).

Если по условию задачи в реакцию вступают вещества, содержащие примеси, то сначала надо определить массу чистого вещества, а затем рассчитать его количество; если в задаче речь идёт о растворе, то сначала надо вычислить массу растворённого вещества, которое затем перевести в количество вещества.

СООТНОШЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ЕДИНИЦ
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Т а б л и ц а 7

| Единица измерения | Мас-са (m) | Кол-во в-ва (n) | Моляр-ная масса (M) | Объём (V) | Моляр-ный объём (V_m) | Число частиц (N) |
|---|----------------|---------------------|-------------------------|---------------|---------------------------|---|
| Наиболее часто применяемая при изучении химии | г | моль | г/моль | л | л/моль | $6 \cdot 10^{23}$ (число Авогадро — N_A) |
| В 1000 раз большая | кг | кмоль | кг/кмоль | m^3 | $m^3/\text{кмоль}$ | $6 \cdot 10^{26}$ |
| В 1000 раз меньшая | мг | ммоль | мг/ммоль | мл | мл/ммоль | $6 \cdot 10^{20}$ |

3. Над соответствующей формулой в уравнении записать найденное количество вещества, а количества над формулами искомых веществ обозначить через x и y .

4. Найти количества искомых веществ, зная, что качественные отношения между веществами соответствуют коэффициентам перед их формулами в уравнении реакции.

5. Перевести найденные количества веществ в массу или объём.

6. Оформить ответ.

Задача 1. Рассчитайте объём водорода (н. у.), который потребуется для взаимодействия с 480 кг оксида железа (III). Вычислите количество вещества воды, которое при этом образуется.

Дано:

$$m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \\ = 480 \text{ кг}$$

Решение:

1. Запишем уравнение химической реакции:



$$V(\text{H}_2) = ?$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = ?$$

2. а) Для того чтобы найти количество вещества оксида железа (III), сначала рассчитаем его молярную массу (в данном случае киломолярную, так как масса оксида железа (III) дана в килограммах (см. табл. 7)):

$$M_r(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 56 \cdot 2 + 16 \cdot 3 = 160;$$

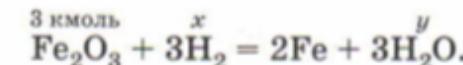
$$M(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 160 \text{ кг/кмоль.}$$

б) Найдём количество вещества оксида железа (III) в киломолях, так как исходное данное в задаче предложено в килограммах:

$$n(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \frac{m(\text{Fe}_2\text{O}_3)}{M(\text{Fe}_2\text{O}_3)};$$

$$n(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \frac{480 \text{ кг}}{160 \text{ кг/кмоль}} = 3 \text{ кмоль.}$$

3. Над формулой исходного вещества — оксида железа (III) — в уравнении реакции запишем найденное количество вещества — 3 кмоль, а количества веществ водорода и воды обозначим над их формулами соответственно через x и y :



4. а) Согласно уравнению реакции 1 кмоль оксида железа (III) взаимодействует с 3 кмоль водорода. Следовательно, 3 кмоль оксида железа (III) соответствует в три раза большее количество вещества водорода, т. е. $x = 9$ кмоль.

б) Рассчитаем объём водорода по найденному количеству вещества:

$$V(\text{H}_2) = n(\text{H}_2) \cdot V_m;$$

$$V(\text{H}_2) = 9 \text{ кмоль} \cdot 22,4 \text{ м}^3/\text{кмоль} = 201,6 \text{ м}^3.$$

5. Согласно уравнению реакции из 1 кмоль оксида железа (III) образуется 3 кмоль воды, а из 3 кмоль оксида железа (III) — в три раза большее количество вещества воды, т. е. $y = 9$ моль.

Ответ: $V(\text{H}_2) = 201,6 \text{ м}^3$; $n(\text{H}_2\text{O}) = 9$ кмоль.