

3. Какие из оснований, формулы которых NaOH , $\text{Cu}(\text{OH})_2$, $\text{Ba}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, растворимы в воде? Как называются эти основания? Запишите уравнения их электролитической диссоциации.
4. Определите химическое количество ионов, которые образуются при диссоциации: а) фосфата натрия Na_3PO_4 химическим количеством 2 моль; б) сульфата алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ химическим количеством 3 моль.
5. Составьте максимальное число формул веществ, в растворах которых содержатся ионы: Al^{3+} ; Cl^- ; NO_3^- ; Na^+ ; CO_3^{2-} ; Fe^{3+} ; SO_4^{2-} ; Ba^{2+} .
6. Определите число катионов в растворе, содержащем сульфат железа(III) массой 40 г.
7. Вычислите массу сульфата натрия в растворе, если известно, что в нем содержатся ионы SO_4^{2-} химическим количеством 0,2 моль.
8. Вычислите суммарное химическое количество ионов в растворе, полученном при растворении в воде хлороводорода HCl : а) объемом 1,12 дм³ (н. у.); б) массой 73 г. Диссоциацией воды можно пренебречь.

§ 12. Реакции ионного обмена

Познакомившись с диссоциацией солей, кислот и щелочей, мы узнали, что сильные электролиты существуют в растворах только в виде ионов. Следовательно, все реакции, которые происходят между электролитами в растворах, являются реакциями между ионами и называются *ионными реакциями*.



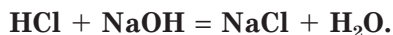
Ионными реакциями называются реакции, протекающие в водных растворах с участием ионов электролитов.

Многие реакции, протекающие в растворах, относятся к реакциям **обмена**. Напомним, что к этому типу относятся реакции между сложными веществами, в результате которых эти вещества обмениваются своими составными частями. Такими составными частями веществ в электролитах являются ионы.

Реакции ионного обмена в растворах электролитов протекают только в том случае, если в результате взаимодействия между ионами образуются **малодиссоциирующие** (вода или другие слабые электролиты), **нерастворимые** (осадки) и **газообразные** вещества.

Реакция ионного обмена, сопровождающаяся образованием слабого электролита (воды)

Вы уже знаете, что реакция между кислотой и основанием называется реакцией *нейтрализации*. В результате такого процесса образуются соль и вода:



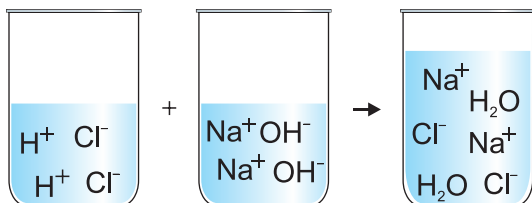


Рис. 29. Реакция нейтрализации

Уравнение реакции, записанное в такой форме, обычно называют **молекулярным** (или уравнением в *молекулярной форме*). Молекулярным уравнением может изображаться любая реакция.

За ходом нейтрализации удобно следить с помощью индикатора, изменение окраски которого свидетельствует об окончании реакции между кислотой и щёлочью.

Три из четырех участников рассматриваемой реакции (HCl , NaOH и NaCl) являются сильными электролитами, т. е. находятся в растворе в виде ионов (рис. 29). Вода — слабый электролит, практически не диссоциирующий на ионы. Поэтому ионное уравнение данной реакции можно записать следующим образом:



Такая запись процесса называется **полным ионным** уравнением. В ионном уравнении все *сильные электролиты* записываются в виде *формул их ионов*. *Твердые, плохо растворимые, газообразные вещества* и *слабые электролиты (включая воду)* записываются в виде их *молекулярных формул*.

Если в правой и левой частях полного ионного уравнения исключить (сократить) одинаковые по химическому составу и числу ионы (Na^+ и Cl^-), то получим **сокращенное (краткое) ионное уравнение**:

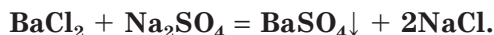


В левой части уравнения такого вида обычно сначала записывается катион, а потом — анион. Уравнение показывает, что реакция нейтрализации сводится к взаимодействию ионов водорода с гидроксид-ионами с образованием малодиссоциирующего вещества, каким является вода.

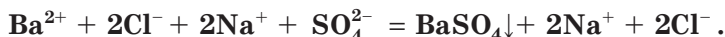
Составьте самостоятельно все три формы уравнений реакции нейтрализации между азотной кислотой и гидроксидом калия. Вы видите, что любая реакция между сильной кислотой и щёлочью сводится к взаимодействию ионов водорода с гидроксид-ионами. Поэтому одно и то же сокращенное ионное уравнение может описывать несколько реакций ионного обмена с участием различных веществ, и ему будут соответствовать несколько уравнений в молекулярном виде.

Реакции ионного обмена, сопровождающиеся образованием осадков

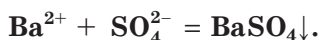
Взаимодействие между водными растворами сульфата натрия Na_2SO_4 и хлорида бария BaCl_2 — пример процесса образования нерастворимого вещества:



Полное ионное уравнение такой реакции имеет вид:



Если в этом уравнении исключить одинаковые ионы в правой и левой частях (это означает, что *такие ионы не участвуют в процессе!*), то получим уравнение в сокращенном ионном виде:



Это уравнение показывает, что при взаимодействии раствора сульфата натрия с раствором хлорида бария происходит связывание ионов бария Ba^{2+} с сульфат-ионами SO_4^{2-} с образованием осадка сульфата бария (рис. 30). Точно такое же сокращенное ионное уравнение будет, если вместо хлорида бария взять, например, нитрат бария $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, а вместо сульфата натрия — сульфат калия K_2SO_4 или серную кислоту H_2SO_4 . Таким образом, одному и тому же сокращенному ионному уравнению будут соответствовать несколько уравнений в молекулярном виде.

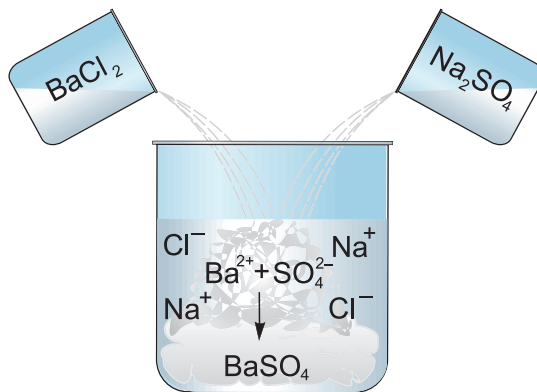
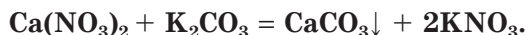


Рис. 30. Реакция хлорида бария с сульфатом натрия

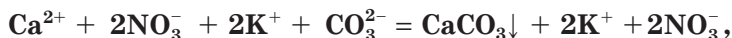
При составлении уравнений реакций обмена с образованием осадка необходимо пользоваться таблицей растворимости (см. форзац II), в которой указана растворимость электролитов в воде.

Например, необходимо определить, будет ли выпадать осадок при смешивании растворов нитрата кальция $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ и карбоната калия K_2CO_3 . Записываем уравнение реакции:

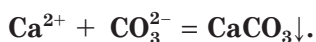


Для определения растворимости карбоната кальция CaCO_3 в таблице растворимости находим столбец катиона Ca^{2+} и строку аниона CO_3^{2-} . В месте их пересечения стоит буква «Н». Это означает, что карбонат кальция нерастворим в воде и выпадает в осадок при смешивании растворов нитрата кальция и карбоната калия.

Аналогичным образом определяем, что нитрат калия KNO_3 в воде растворим. Значит, уравнение реакции записываем так:



а в сокращенном ионном виде:



(Прочерк в таблице растворимости означает, что вещество не существует или разлагается водой.)

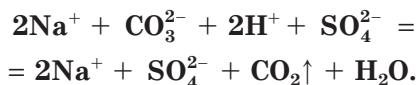
Реакции ионного обмена, сопровождающиеся выделением газов

Связывание ионов приводит и к образованию газообразного продукта, выделяющегося из раствора.

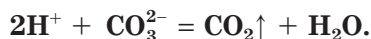
Например, если к раствору соды Na_2CO_3 прилить раствор серной кислоты, то наблюдается выделение пузырьков углекислого газа (рис. 31):



В полной ионной форме это уравнение записывается следующим образом:



Сокращенное ионное уравнение реакции в этом случае такое:



Таким образом, реакции ионного обмена в растворах электролитов протекают **полностью** («до конца»), если соблюдается одно из следующих условий:

- 1) образуется осадок;
- 2) выделяется газообразное вещество;
- 3) образуется вода или другой слабый электролит.



Рис. 31. Реакция с образованием газообразного вещества

С точки зрения теории электролитической диссоциации это означает, что в реакции образуются вещества, полученные в результате связывания ионов в осадок, газ или малодиссоциирующее вещество.

Многие реакции между растворами электролитов являются реакциями между ионами, т. е. ионными реакциями.

Реакции ионного обмена происходят только в том случае, если в результате образуются малорастворимые, газообразные или малодиссоциирующие вещества.

Уравнения реакций, отражающие взаимодействие между ионами в растворе, называются ионными уравнениями — полными или сокращенными.



Вопросы и задания

1. По каким признакам можно определить, что реакция ионного обмена протекает до конца?
2. Укажите отличия сокращенного и полного ионного уравнений.
3. Составьте молекулярные, полные и сокращенные ионные уравнения реакций между растворами:
 - а) хлорида калия и нитрата серебра(I);
 - б) гидроксида натрия и сульфата меди(II);
 - в) сульфата алюминия и хлорида бария.
4. Напишите полные и сокращенные ионные уравнения возможных реакций между попарно сливаемыми растворами солей: Na_2CO_3 и BaCl_2 ; AgNO_3 и Na_3PO_4 .
5. Дополните уравнения химических реакций формулами веществ, расставьте коэффициенты и, пользуясь таблицей растворимости, составьте полные и сокращенные ионные уравнения следующих реакций:
 - а) $\text{KOH} + \text{HNO}_3 = \text{KNO}_3 + \dots$;
 - б) $\text{K}_2\text{CO}_3 + \dots \rightarrow \text{KCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$;
 - в) $\dots + \text{Fe}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{NaNO}_3$;
 - г) $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{K}_2\text{CO}_3 \rightarrow \dots + \text{KNO}_3$;
 - д) $\text{FeCl}_3 + \text{KOH} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + \dots$;
 - е) $\text{FeCl}_2 + \dots \rightarrow \text{Fe}(\text{NO}_3)_2 + \text{AgCl}$.
6. Составьте молекулярные уравнения реакций, выраженных сокращенными ионными уравнениями:
 - а) $\text{Fe}^{2+} + 2\text{OH}^- = \text{Fe}(\text{OH})_2 \downarrow$;
 - б) $\text{Mg}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+ = \text{Mg}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$.

7. Определите массу раствора с массовой долей серной кислоты, равной 20 %, необходимого для нейтрализации раствора гидроксида натрия массой 200 г, в котором массовая доля гидроксида натрия составляет 0,1.
8. Составьте максимально возможное число уравнений реакций между ионами Cu^{2+} , Fe^{3+} , OH^- , S^{2-} , H^+ , SO_4^{2-} , Ba^{2+} . К трем из них подберите молекулярные уравнения реакций.
9. В растворе гидроксида натрия химическое количество катионов равно 0,2 моль. К раствору приливали серную кислоту до его полной нейтрализации. Рассчитайте массу образовавшейся при этом соли.
10. Гидроксид железа(III) массой 267,5 г растворили в азотной кислоте. Рассчитайте массу образовавшейся при этом соли и химическое количество ионов железа(III) в полученном растворе.

Готовимся к олимпиадам

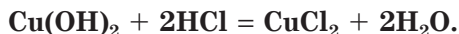
Рассчитайте, хватит ли раствора карбоната натрия массой 220 г с массовой долей соли, равной 30 %, для полного осаждения ионов кальция из раствора массой 200 г, в котором массовая доля хлорида кальция составляет 25 %. Чему будет равна масса осадка, который образуется в результате осаждения?

§ 13. Расчеты по уравнениям химических реакций, протекающих в растворах электролитов

Как вы уже знаете, реакции с участием электролитов осуществляются за счет взаимодействия ионов, содержащихся в их растворах. В таких реакциях могут участвовать также слабодиссоциирующие и малорастворимые вещества и неэлектролиты, например оксиды. При написании ионных уравнений реакций формулы таких веществ записываются в молекулярном виде. Последовательность действий рассмотрим на конкретных примерах.

Пример 1. *Взаимодействие гидроксида меди(II) с соляной кислотой.*

а) Записываем молекулярное уравнение реакции:



б) Составляем полное ионное уравнение. Для этого определяем, какие вещества являются сильными электролитами (HCl и CuCl_2), и записываем их формулы в ионном виде. Малорастворимые и слабодиссоциирующие вещества ($\text{Cu}(\text{OH})_2$ и H_2O) записываем в молекулярном виде:

