

## § 7. Электролиты и неэлектролиты

Еще в начале XIX в. ученые сделали важное наблюдение: электрический ток могут проводить не только металлы, но и растворы многих веществ, например уксусной кислоты, поваренной соли и др.

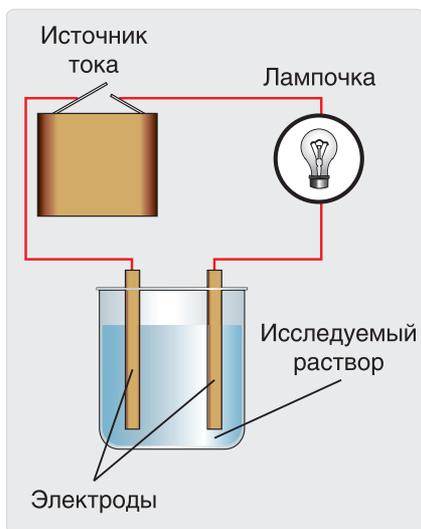


Рис. 14. Схема прибора для определения электропроводности раствора

Электропроводность раствора можно установить с помощью прибора, изображенного на рисунке 14. Два электрода помещают в раствор и соединяют с источником тока. Если раствор проводит электрический ток, то цепь замыкается, о чем свидетельствуют показания вольтметра или загоревшаяся лампочка.

При погружении электродов в дистиллированную воду лампочка не загорается. Чистая вода не проводит электрический ток (рис. 15). Не проводит ток и сухая поваренная соль  $\text{NaCl}$ , если в нее погрузить электроды. Водный раствор этой же соли проводит электрический ток. Можно сделать вывод, что в растворе имеются носители электрического тока — заряженные частицы (ионы). Точно так же ведут себя в растворах и другие соли, а также щёлочи и кислоты. Безводные

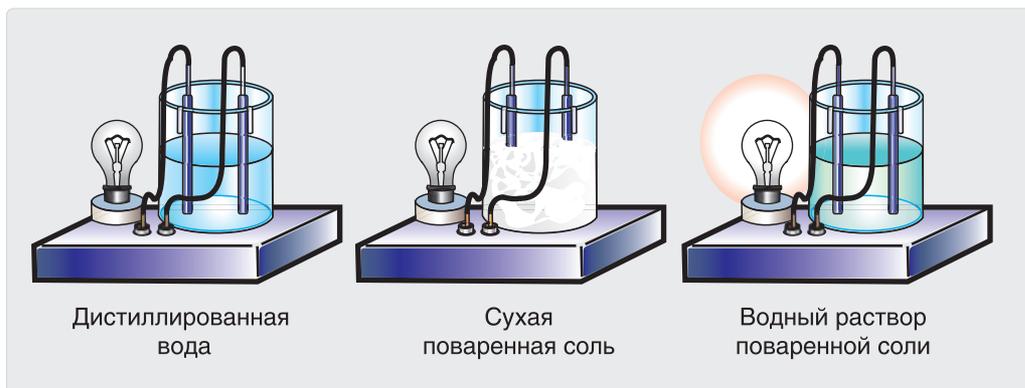


Рис. 15. Определение электропроводности некоторых веществ и их растворов

кислоты — очень плохие проводники электрического тока, но водные растворы многих кислот являются хорошими проводниками. Электропроводными являются также расплавы ионных соединений — солей и щелочей.

Исследуем электропроводность растворов и таких веществ, как сахароза, глюкоза, спирт. Мы видим, что лампочка в приборе не загорается. Следовательно, водные растворы этих веществ не проводят электрический ток. Это объясняется тем, что такие вещества состоят из молекул, которые переходят в раствор, не распадаясь на ионы.

Результаты испытаний электропроводности веществ в исходном (твердом, жидком или газообразном) состоянии и их водных растворов отражены в таблице 10.

Таблица 10. Электропроводность некоторых веществ и их растворов

Вещества	В исходном состоянии	В растворе	Э л е к т р о л и т ы
$\text{CuSO}_4$ (тв.)			
$\text{NaCl}$ (тв.)			
$\text{NaOH}$ (тв.)			
$\text{Ba(OH)}_2$ (тв.)			
$\text{H}_2\text{SO}_4$ (конц.)			
$\text{HCl}$ (газ)			
$\text{H}_2\text{O}$ (дист.)			Неэлектролиты
Спирт			
Глюкоза, сахароза			

Известный английский физик Майкл Фарадей предложил разделить все вещества в зависимости от их способности проводить ток в растворенном или расплавленном состоянии на *электролиты* и *неэлектролиты* (рис. 16). Термин «электролит» происходит от греческого слова *литос* — растворенный (разложенный).

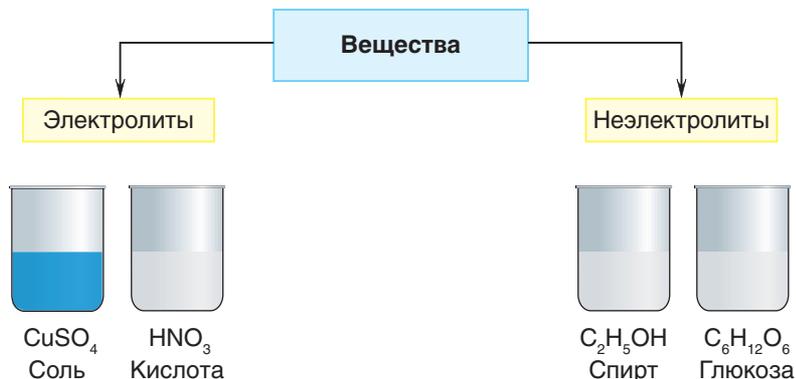


Рис. 16. Схема деления веществ на электролиты и неэлектролиты

**!** Вещества, водные растворы или расплавы которых проводят электрический ток, называются электролитами.

К электролитам относятся соединения с ионным типом связи. Это соли ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{AlBr}_3$ ,  $\text{CuSO}_4$  и др.) и основания ( $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ,  $\text{LiOH}$ ). Кристаллы этих веществ построены из ионов, закономерно расположенных в узлах кристаллической решетки и удерживаемых в таком положении электростатическими силами. В процессе растворения этих электролитов в воде образующие их ионы переходят в раствор.

Электролитами являются и многие кислоты — вещества, образованные молекулами с ковалентными полярными связями ( $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HI}$  и др.).

**!** Вещества, водные растворы или расплавы которых не проводят электрический ток, называются неэлектролитами.

Неэлектролитами является большинство органических веществ, таких как сахароза, спирт, глицерин, простые вещества неметаллов и др. Они существуют в виде неполярных или малополярных молекул, которые при растворении в воде распределяются между ее молекулами.

*По способности проводить электрический ток в растворах и расплавах вещества делятся на электролиты и неэлектролиты.*

*Электролиты — это вещества, водные растворы или расплавы которых проводят электрический ток.*

*Электролитами являются ионные соединения (основания, соли) и большинство кислот.*



### Вопросы и задания

1. Какие вещества называются электролитами? Чем они отличаются от неэлектролитов по строению и свойствам?
2. Какие из перечисленных веществ являются электролитами: а) сульфат калия; б) хлороводород; в) гидроксид калия; г) глюкоза; д) кислород?
3. Из предложенных формул и названий веществ выпишите соответствующие: а) неэлектролиты; б) электролиты с ионной связью; в) электролиты с ковалентной полярной связью:  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ , сахароза,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{AgNO}_3$ , глицерин,  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{HI}$ ,  $\text{O}_2$ , спирт,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{KI}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{Br}_2$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ .
4. Что будет наблюдаться, если погрузить электроды, связанные с источником постоянного тока: а) в раствор серной кислоты, б) в безводную серную кислоту?
5. Как вы считаете, почему в автомобильных аккумуляторах используется не дистиллированная вода, а раствор серной кислоты?
6. Многие вещества молекулярного строения — например иод, сера, нафталин — не растворяются в воде, но растворяются в бензине, бензоле, спирте. Являются ли эти растворы электропроводными? Обоснуйте ваш ответ.
7. К раствору массой 220 г с массовой долей хлорида натрия, равной 0,09, добавили воду массой 120 г. Рассчитайте массовую долю соли в новом растворе.

### Готовимся к олимпиадам

1. Определите, о каком веществе идет речь в утверждении: «Это бесцветный газ с резким неприятным запахом, в его молекуле массовые доли серы и кислорода одинаковы, а водный раствор этого вещества проводит электрический ток».
2. Оксид натрия массой 93 г растворили в воде объемом  $107 \text{ см}^3$ . Рассчитайте массовую долю вещества в образовавшемся растворе.

## § 8. Электролитическая диссоциация веществ

Почему растворы и расплавы электролитов проводят электрический ток? Для ответа на этот вопрос шведский ученый Сванте Аррениус в 1887 г. детально изучил поведение веществ в водных растворах и выдвинул теорию, которая получила название **теории электролитической диссоциации**. Термин «диссоциация» происходит от латинского слова *dis-sociatio* — разъединение, распад.

### Теория электролитической диссоциации

Электрический ток — это направленное движение заряженных частиц. Какие же частицы являются носителями электрического тока в растворах? В результате многочисленных экспериментов Аррениус установил, что растворы электролитов содержат больше частиц, чем их было в исходном веществе. Например, если в воде растворить хлороводород химическим количеством 1 моль, в растворе суммарное число частиц будет 2 моль, а 1 моль хлорида алюминия образует 4 моль частиц. Учитывая, что кристаллы хлорида алюминия имеют ионное строение, мы можем утверждать, что ионы алюминия и хлорид-ионы в воде переходят в раствор. Объяснения этих наблюдений явились основой теории электролитической диссоциации. Согласно этой теории, при растворении в воде или при расплавлении электролиты распадаются (*диссоциируют*) на ионы — положительно и отрицательно заряженные частицы.



**Электролитическая диссоциация — это распад электролитов на ионы в водных растворах или расплавах.**

При диссоциации электролитов образуются как *простые ионы*, состоящие из одного атома ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $S^{2-}$  и др.), так и *сложные ионы*, состоящие из нескольких атомов ( $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $PO_4^{3-}$  и др.).

#### **Обратите внимание:**

**заряд иона и степень окисления атома записываются по-разному!**

При обозначении заряда иона *справа сверху* от его формулы сначала записывают цифру, а потом знак + или -. При обозначении же степени окисления атома, как вы уже знаете, над символом элемента сначала записывается знак + или -, а потом — число.



Для обозначения заряженных частиц Аррениус использовал термин «ион», предложенный ранее М. Фарадеем. Слово «ион» в переводе с греческого означает «движущийся, идущий, странствующий». В растворах ионы непрерывно перемещаются («странствуют») в различных направлениях.

Главной причиной электролитической диссоциации в водных растворах является *взаимодействие электролитов с молекулами воды*. Такое взаимодействие называется **гидратацией**.

При погружении кристалла ионного соединения в воду полярные молекулы воды (диполи) притягиваются к ионам, находящимся на поверхности кристалла: отрицательными полюсами — к положительно заряженным ионам, а положительными полюсами — к отрицательно заряженным. Под действием молекул воды ионы отрываются от кристалла и переходят в раствор. При этом каждый отдельный ион оказывается окруженным диполями воды (рис. 17). Такие ионы называются *гидратированными ионами*.

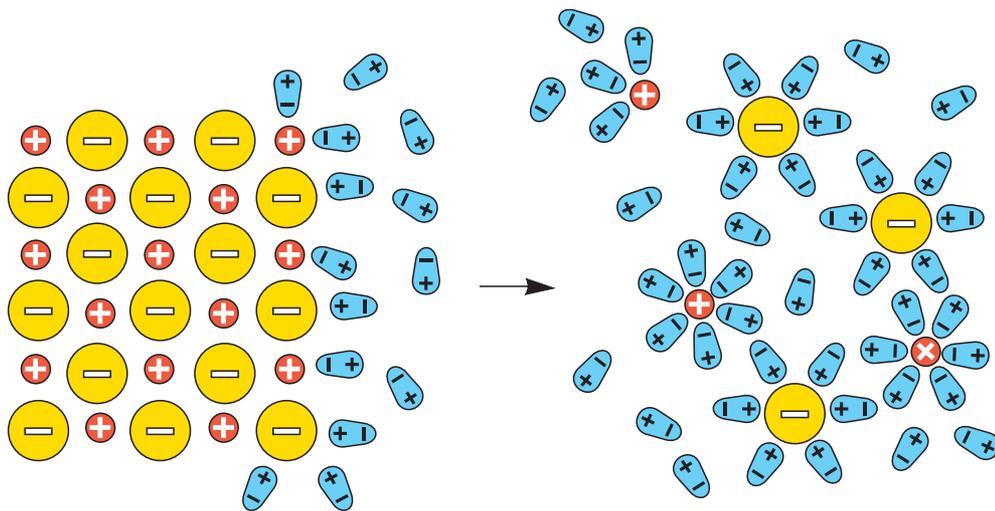


Рис. 17. Схема диссоциации ионного соединения в водном растворе

Процесс электролитической диссоциации изображают химическим уравнением, в котором вместо знака равенства пишут либо одну, либо две противоположно направленные стрелки ( $\rightleftharpoons$ ). Обычно в уравнениях

электролитической диссоциации не указывают формулы молекул воды, связанных с ионами в растворе:



При составлении уравнений электролитической диссоциации руководствуются следующими правилами. В левой части уравнения записывают формулу вещества-электролита, а в правой — формулы ионов, на которые распадается электролит. Их число указывают с помощью коэффициентов:



**Обратите внимание:** сложные ионы, например  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , в процессе диссоциации не разрушаются!

В молекулах с ковалентной связью ионов нет. Если в веществе ковалентная связь является малополярной, то при его растворении в воде разрываются только слабые связи между молекулами, а сами молекулы вещества остаются целыми, т. е. не распадаются на ионы и равномерно распределяются по всему объему раствора. Но что происходит при растворении в воде веществ с сильно полярной ковалентной связью, например газа хлороводорода  $\text{HCl}$ ?

Когда полярная молекула хлороводорода попадает в воду, к той ее части, где сосредоточен положительный заряд, молекулы воды притягиваются своими отрицательными полюсами. К той части молекулы  $\text{HCl}$ , которая заряжена отрицательно, молекулы воды притягиваются положительными полюсами. В результате под действием диполей воды ковалентная полярная связь в молекуле хлороводорода разрывается с образованием гидратированных ионов водорода и хлора, которые переходят в раствор (рис. 18):

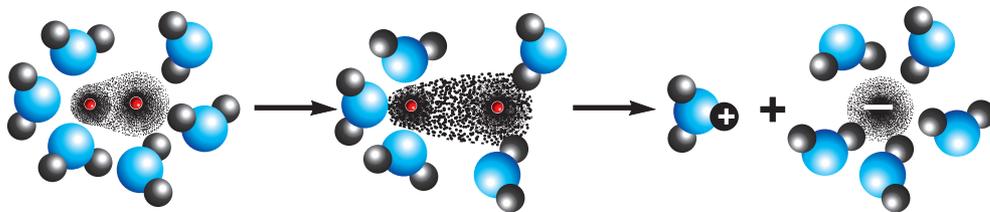


Рис. 18. Схема диссоциации вещества молекулярного строения в водном растворе

При разрыве химической связи электронная пара остается у отрицательно заряженного иона хлора. В растворе вместо каждой нейтральной молекулы  $\text{HCl}$  оказываются по два гидратированных иона: положительно заряженный ион водорода ( $\text{H}^+$ ) и отрицательно заряженный ион хлора ( $\text{Cl}^-$ ). При этом общий заряд положительных ионов равен общему заряду отрицательных ионов.

Диссоциация молекул других кислот (иодоводородной, азотной, серной и др.) протекает в водных растворах сходным образом.

Если атомы в молекулах растворяемых веществ связаны ковалентной малополярной или неполярной связью, то эти вещества в водных растворах не распадаются на ионы. Поэтому такие вещества являются **неэлектролитами**.

**Следовательно, электролитами могут быть только вещества с ионной и ковалентной полярной связью.**

*При растворении в воде электролиты диссоциируют на отдельные ионы, которые в растворе окружены молекулами воды (гидратированы).*

*Распад электролитов на ионы в водном растворе или расплаве называется электролитической диссоциацией.*

*Главной причиной электролитической диссоциации в растворе является взаимодействие электролитов с молекулами воды.*



### Вопросы и задания

1. Дайте определение электролитической диссоциации. Какова роль воды в процессе диссоциации?
2. Объясните процесс диссоциации ионных соединений. Почему электролиты с ионной связью диссоциируют лучше других веществ?
3. Составьте уравнения электролитической диссоциации сульфата калия, нитрата кальция, гидроксида калия, хлорида железа(III).
4. Чем отличается процесс диссоциации соединений с ковалентной полярной связью от процесса диссоциации ионных соединений?
5. Составьте уравнения электролитической диссоциации азотной и иодоводородной кислот.
6. Укажите формулы веществ, которые не подвергаются электролитической диссоциации в водных растворах  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{HBr}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{KI}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{P}_4$ . Почему эти вещества очень мало или практически не растворяются в воде?

7. Вычислите суммарное химическое количество (моль) ионов  $\text{H}^+$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ , образующихся в результате диссоциации в воде сильного электролита — серной кислоты химическим количеством 0,25 моль.
8. Вычислите число гидроксид-ионов ( $\text{OH}^-$ ), которые содержатся в растворе массой 220 г с массовой долей гидроксида бария, равной 20 %.

### Готовимся к олимпиадам

При некоторых заболеваниях в кровь вводят физиологический раствор, представляющий собой водный раствор с массовой долей хлорида натрия  $\text{NaCl}$ , равной 0,9 %. Вычислите: а) массу воды и массу соли, которые необходимо взять для приготовления физиологического раствора массой 10 кг; б) массу соли, которая вводится в организм человека при вливании физиологического раствора массой 200 г; в) химическое количество ионов хлора в физиологическом растворе массой 200 г.

## § 9. Ионы в растворах электролитов

Ионы, образующиеся в процессе диссоциации электролитов в водных растворах, отличаются по своим свойствам от соответствующих нейтральных атомов и молекул.

Как вы уже знаете, при растворении поваренной соли в воде, содержащиеся в ее кристаллах ионы натрия и хлора переходят в раствор:



Сравним свойства атома и иона натрия. Общим, одинаковым в этих частицах является заряд ядра, равный  $11+$ . Отличаются же они строением электронных оболочек, а следовательно, и свойствами (табл. 11).

Таблица 11. Отличия атомов натрия от ионов

Атомы $\text{Na}^0$	Ионы $\text{Na}^+$
1. Содержат по 1 электрону на внешнем (третьем) слое, слой не завершен	1. Не содержат электронов на третьем слое, второй слой завершен
2. Условный радиус равен R	2. Условный радиус меньше R
3. Не имеют заряда, т. е. являются электронейтральными	3. Имеют заряд $1+$
4. Входят в состав простого вещества Na	4. Входят в состав сложных веществ — ионных соединений
5. Реагируют с водой с образованием щёлочи	5. Не реагируют с водой

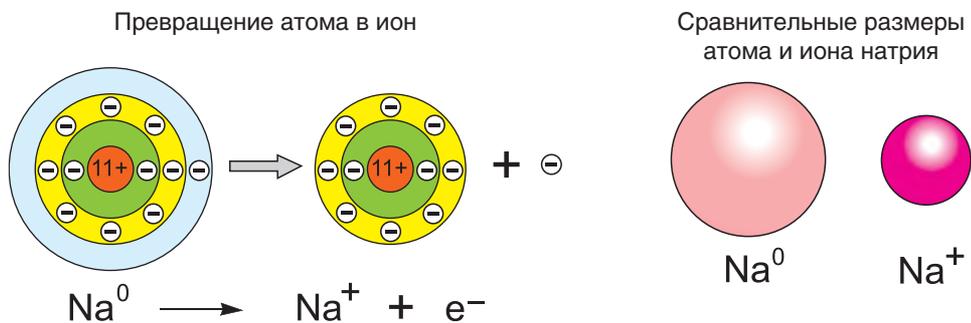


Рис. 19. Схема электронного строения атома и иона натрия

Высокая химическая активность натрия обусловлена тем, что у его атома на внешнем электронном слое находится всего один электрон. При взаимодействии с другими атомами атом натрия отдает этот электрон и превращается в гораздо более устойчивую частицу — ион  $\text{Na}^+$  (рис. 19). Так, атомы натрия взаимодействуют с водой, вытесняя из нее водород, а при растворении поваренной соли в воде водород не выделяется.

Строение и, следовательно, свойства атомов хлора  $\text{Cl}$  также будут отличаться от свойств ионов хлора  $\text{Cl}^-$  (табл. 12).

Таблица 12. Отличия атомов хлора от ионов

Атомы $\text{Cl}^0$	Ионы $\text{Cl}^-$
1. Содержат 7 электронов на внешнем (третьем) слое, слой не завершен	1. Содержат 8 электронов на внешнем (третьем) слое, слой завершен
2. Условный радиус равен $R$	2. Условный радиус больше $R$
3. Не имеют заряда, т. е. являются электронейтральными	3. Имеют заряд $1^-$
4. Входят в состав простого вещества $\text{Cl}_2$	4. Входят в состав сложных веществ — ионных соединений
5. Реагируют с водой с образованием новых веществ	5. Не реагируют с водой

Химическая активность атома хлора связана с нехваткой одного электрона на внешнем электронном слое для его завершения (рис. 20). Этот электрон атом хлора присоединяет при взаимодействии с атомами металлов, превращаясь при этом в устойчивый ион хлора  $\text{Cl}^-$ .

Атомы хлора  $\text{Cl}$  могут соединяться друг с другом ковалентной неполярной связью, образуя молекулу  $\text{Cl}_2$ . Свободный хлор  $\text{Cl}_2$  — ядовитый газ с зеленоватой окраской и характерным запахом, а ионы хлора  $\text{Cl}^-$  бесцветны и не имеют запаха. Раствор поваренной соли, как и сама соль  $\text{NaCl}$ , широко используется при приготовлении пищи, не причиняя вреда организму.

Аналогичным образом различаются свойства атомов водорода  $\text{H}$ , молекулярного водорода  $\text{H}_2$  и ионов водорода  $\text{H}^+$ . Молекулярный водород  $\text{H}_2$  — это газ, который почти не растворяется в воде и горит на воздухе. Ионы водорода  $\text{H}^+$ , напротив, в воде могут находиться в очень большом количестве.

Таким образом, различия в свойствах атомов и ионов одного и того же элемента объясняются разным электронным строением этих частиц.

В растворе ионы находятся в хаотическом движении. Но если опустить в раствор электролита электроды и подать на них электрическое напряжение, то ионы приобретают направленное движение: положительно заряженные ионы перемещаются к *катоде* (отрицательно заряженному электроду), а отрицательно заряженные ионы — к *аноду* (положительно заряженному электроду) (рис. 21). Поэтому положительно заряженные

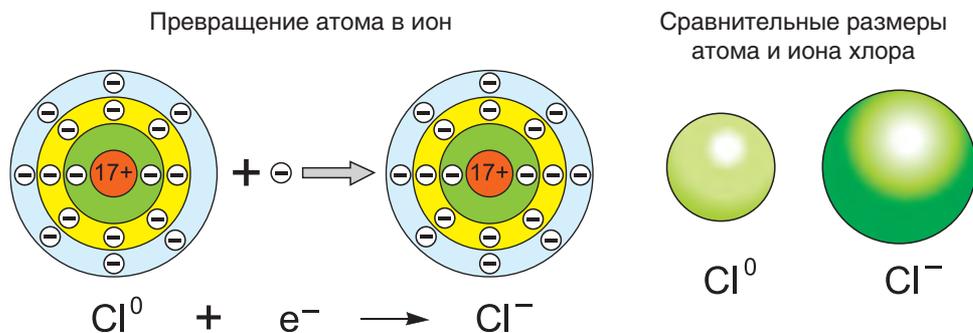


Рис. 20. Схема электронного строения атома и иона хлора

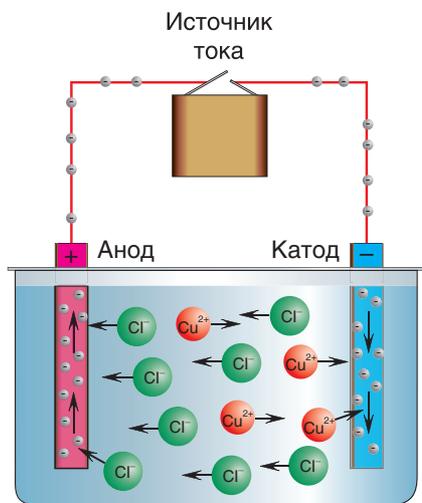


Рис. 21. Движение ионов в электрическом поле



Рис. 22. Ионы в растворах и безводных веществах

ионы получили название **катионы**, а отрицательно заряженные — **анионы**. Следы движения окрашенных ионов (например,  $\text{Ni}^{2+}$ ) можно наблюдать на влажной фильтровальной бумаге, если на нее поместить крупинки соли  $\text{NiSO}_4$ .

Свойства ионов в растворах во многом отличаются и от свойств этих же ионов в безводных веществах. Так, например, катионы меди  $\text{Cu}^{2+}$  в сульфате меди(II) практически бесцветны, а раствор этой соли имеет голубой цвет (рис. 22). Это обусловлено, прежде всего, гидратацией катионов меди  $\text{Cu}^{2+}$ , т. е. их взаимодействием с молекулами воды.



В состав большинства минеральных вод, которые продаются в наших магазинах, входят катионы натрия, кальция, магния, хлорид-анионы, сульфат-анионы, гидрокарбонат-анионы.

*Различия в свойствах атомов и ионов одного и того же элемента объясняются разным электронным строением этих частиц.*

*Положительно заряженные ионы называются катионами, а отрицательно заряженные — анионами.*



### Вопросы и задания

1. Перечислите признаки, по которым атом химического элемента отличается от соответствующего ему иона.
2. Как называются и чем отличаются друг от друга частицы, изображенные символами: а)  $\text{Cl}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Cl}_2$ ; б)  $\text{Na}$ ,  $\text{Na}^+$ ; в)  $\text{H}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{H}_2$ ?
3. Составьте электронные формулы ионов  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{S}^{2-}$ . Атомы каких химических элементов имеют такое же электронное строение, как каждый из ионов?
4. В водопроводной воде обнаруживаются ионы:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ . Напишите формулы веществ, которые могут находиться в этой воде.
5. Какие из указанных ионов —  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{F}^-$  — являются катионами, а какие — анионами?
6. Приведите примеры солей, при диссоциации 1 моль которых образуется: а) 2, б) 3, в) 5 моль ионов.
7. В результате диссоциации иодида металла химическим количеством 1 моль образовалось 2 моль иодид-ионов. Определите заряд иона металла.
8. Определите общее число электронов в сульфат-ионе ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).

### Готовимся к олимпиадам

1. Рассчитайте массу и химическое количество катионов железа, которые содержатся в растворе сульфата железа(II) объемом  $0,5 \text{ дм}^3$  с молярной концентрацией соли, равной  $0,3 \text{ моль/дм}^3$ .
2. Определите, каким ионам соответствуют схемы строения электронных оболочек  $[2, 8, 8]^{2-}$ ,  $[2, 8]^{2+}$ ,  $[2, 8]^{3-}$ ,  $[2, 8, 8]^-$ ,  $[2, 8, 8]^+$ . Составьте формулы всех веществ, которые могут быть образованы данными ионами.

## § 10. Сильные и слабые электролиты

Все ли электролиты диссоциируют одинаково? Каждое вещество обладает определенными свойствами и, возможно, процесс диссоциации разных веществ протекает в различной степени. Действительно, если сравнить электропроводность растворов хлороводородной и угольной кислот, то оказывается, что при их одинаковой молярной концентрации раствор хлороводорода обладает большей электропроводностью. Следовательно, в растворе хлороводородной кислоты больше заряженных частиц (ионов), т. е. молекулы  $\text{HCl}$  диссоциируют лучше.

В зависимости от способности к диссоциации все электролиты условно делят на две группы — сильные и слабые. К **сильным электролитам** относятся вещества, которые при растворении практически полностью диссоциируют на ионы. Это почти все соли, щёлочи ( $\text{LiOH}$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{NaOH}$  и др.), кислоты ( $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$  и др.), которые так и называются —