

П. П. Попель, Л. С. Крикля

ХИМІЯ

Учебник

для общеобразовательных
учебных заведений

9 класс



Рекомендовано

Министерством образования и науки Украины



Киев
Издательский центр «Академия»
2009

ББК 24.я721
П57

Рекомендовано Министерством образования и науки Украины

(Приказ Министерства образования и науки Украины от 02.02.2009 г. № 56)

Издано за счет государственных средств

Продажа запрещена

Эксперты, рекомендовавшие учебник к изданию:

доктор химических наук, профессор кафедры органической химии Таврийского национального университета им. В. И. Вернадского *А. Е. Земляков*;

кандидат педагогических наук, доцент, заведующий кафедрой теории и методики Днепропетровского ОИППО *Л. М. Зламанюк*;

доктор химических наук, профессор Института химии поверхности им. А. А. Чуйко НАН Украины, член-корреспондент НАН Украины *Н. Т. Картель*;

кандидат химических наук, учитель Донецкого лицея «Коллеж» *И. Ю. Старовойтова*;

заведующий УМК химии Кировоградского ОИППО им. В. Сухомлинского *В. П. Шевчук*;

кандидат педагогических наук, заведующий лабораторией дидактики Института педагогики АПН Украины *В. И. Кизенко*

Ответственные за подготовку учебника к изданию:

главный специалист МОН Украины *С. С. Фицайло*;

заведующая сектором Института инновационных технологий и содержания образования *Е. А. Дубовик*

ISBN 978-966-580-299-0

© Попель П. П., Крикля Л. С., 2009

© ИЦ «Академия», оригинал-макет, 2009

Дорогие девятиклассники!

На уроках химии в 8 классе вы узнали много нового и интересного о химических элементах и различных веществах. Вам стало известно, что в химии порции веществ оценивают по количеству содержащихся в них частиц — атомов, молекул, ионов. Читая учебник и выполняя опыты, вы изучали свойства и способы получения важнейших неорганических соединений — оксидов, оснований, кислот, солей.

Теперь вы знаете, как был открыт периодический закон — основной закон химии, устанавливающий зависимость химического характера элементов, свойств их простых и сложных веществ от заряда ядер атомов.

Все вещества существуют благодаря способности атомов, молекул, ионов соединяться друг с другом. Такое взаимодействие частиц называют химической связью. Зная строение вещества, можно прогнозировать его свойства.

В 9 классе продолжится ваше знакомство с основами химии. Вы узнаете о процессах, происходящих в водных растворах различных веществ, о типах химических реакций и особенностях их протекания, а во втором семестре — о важнейших органических соединениях, в том числе и о тех, которые содержатся в растениях, животных и организме человека.

Как и раньше, вы будете выполнять различные опыты на уроках химии, а также во внеурочное время и дома, предварительно получив разрешение родителей.

При проведении химического эксперимента важно записывать свои действия и наблюдения. Старайтесь всегда находить объяснение увиденному во время опытов и делать соответствующие выводы.

Напоминаем, что к практическим работам нужно готовиться заранее. Вариант практической работы, задания и опыты, которые вам следует выполнить, укажет учитель.

В 9 классе вы также должны соблюдать правила работы и техники безопасности при выполнении химических опытов.

Этот учебник поможет вам изучать химию. В начале каждого параграфа указано, какое значение имеет изложенный учебный материал, а в конце параграфа сформулированы выводы. Текст,

отмеченный слева вертикальной цветной линией, адресован ученикам, желающим расширить и углубить свои знания по химии. Дополнительная информация и интересные факты размещены на полях. Основные определения выделены цветом, а новые термины, важные утверждения и слова с логическим ударением — курсивом. Текст к лабораторным опытам и практическим работам размещен на цветном фоне.

После каждого параграфа приведены задания, упражнения и задачи различных типов; они расположены преимущественно по возрастанию сложности. В конце учебника имеются ответы к некоторым задачам и упражнениям, словарь основных терминов, а также предметный указатель. Он поможет быстро найти страницу учебника, на которой идет речь об определенном термине, веществе, явлении и т. п. Кроме того, для учеников, которые интересуются химией, предлагается список соответствующей литературы и названия интернет-сайтов.

Вдумчивая работа с учебником поможет вам глубже осознать связи, которые существуют между составом, строением и свойствами веществ, научиться прогнозировать и объяснять химические превращения.

Химию изучают для того, чтобы понимать, как устроен мир, по каким законам он развивается, чтобы использовать различные вещества, не нанося вреда себе и окружающей среде.

Желаем вам успехов в изучении химии.

Авторы

1 раздел

Вода. Растворы

Каждый из вас, услышав слово «раствор», наверное, представит себе прозрачную жидкость — бесцветную или окрашенную, а также вспомнит о воде, которая входит в состав многих растворов.

Почему вода растворяет то или иное вещество? Существует ли связь между способностью вещества растворяться и его строением? Что происходит при образовании раствора? Ответы на эти и другие вопросы вы найдете, внимательно прочитав параграфы первого раздела учебника. Узнаете и о том, какие частицы существуют в растворах, поймете суть химических реакций с участием растворенных веществ. Кроме того, вы научитесь готовить растворы и проводить соответствующие вычисления.

1 Вода

Материал параграфа поможет вам:

- узнать о распространенности воды в природе;
- выяснить строение молекулы воды;
- понять суть водородной связи.

Распространенность в природе. Вода — наиболее распространенное соединение на нашей планете. Она покрывает свыше $\frac{2}{3}$ поверхности Земли (рис. 1). Приблизительно 97 % всей воды

Рис. 1.
Вода
на поверхности Земли

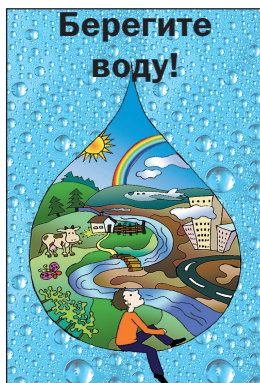
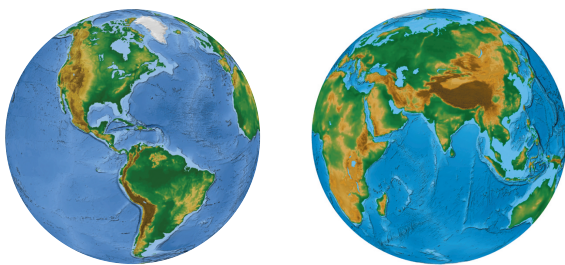


Рис. 2.
Вода — наше
богатство

находится в морях и океанах. Такая вода содержит многие растворенные вещества. На пресную воду приходится 3 %. Почти вся она сконцентрирована в снегах и льдах Антарктиды, Арктики, регионах с вечной мерзлотой. Реки и озера содержат лишь 0,03 % всей воды, имеющейся на планете. Именно эту воду человек использует для своих потребностей. Поэтому охрана водных ресурсов планеты от загрязнений является одной из важных задач, стоящих перед человечеством (рис. 2).

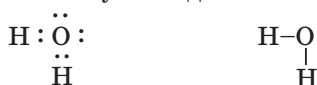
Вода в незначительном количестве содержится в атмосфере, причем — в трех агрегатных состояниях: газообразном (водяной пар обуславливает влажность воздуха), жидком и твердом (туман, облака). Атмосферные осадки (дождь, снег), выпадая на земную поверхность, захватывают с собой пыль, некоторые растворившиеся газы и тем самым очищают воздух.

Вода содержится и в твердой оболочке планеты — литосфере, причем как в «свободном» состоянии (подземные воды), так и в «химически связанном» — в составе различных природных соединений и минералов.

Массовая доля воды в живых организмах составляет от 50 до 99 %, а в организме взрослого человека — около 65 %.

Природная вода всегда содержит примеси. Сравнительно чистую воду получают перегонкой. Ее называют дистиллированной и используют в научных исследованиях, некоторых производствах, для приготовления лекарств.

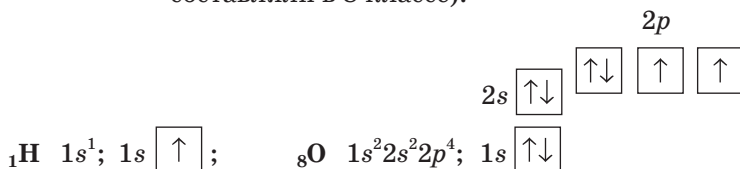
Строение молекулы. Химическая формула воды H_2O известна каждому из вас. Это — молекулярное вещество. Электронная и графическая формулы молекулы воды



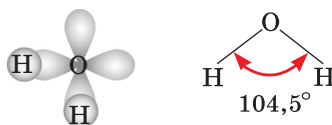
указывают на то, что два атома Гидрогена соединены с атомом Оксигена простыми ковалентными связями.

► Какую связь называют ковалентной? Какая особенность электронного строения атома «позволяет» ему образовывать такую связь с другим атомом?

Обратим внимание на строение атомов Гидрогена и Оксигена (их электронные формулы вы составляли в 8 классе):



Каждая связь в молекуле воды образована s -электроном атома Гидрогена и одним p -электроном атома Оксигена. Два p -электрона атома Оксигена, участвующие в этих связях, являются неспаренными и находятся в разных орбиталях. Поскольку p -орбитали расположены перпендикулярно друг другу, молекула воды имеет угловое строение¹. Правда, угол между прямыми, соединяющими центры атомов Гидрогена и Оксигена, составляет не 90° , а $104,5^\circ$:



На рисунке 3 изображены две модели молекулы воды. В шаростержневой модели стержни имитируют простые ковалентные связи между

¹ Такое объяснение строения молекулы воды является упрощенным.

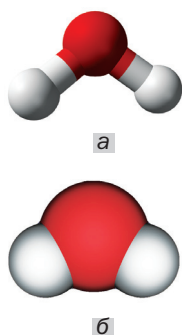
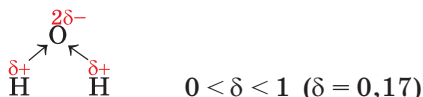


Рис. 3.
Модели
молекулы воды:
а — шаро-
стержневая;
б — масштаб-
ная. Белые
шарики —
атомы
Гидрогена,
красные —
атомы
Оксигена

атомами, а в масштабной модели соблюдено соотношение размеров атомов и молекулы.

Поскольку Оксиген — более электроотрицательный элемент, чем Гидроген, то общие электронные пары смещены от двух атомов Гидрогена к атому Оксигена. Связи О–Н являются полярными. На атоме Оксигена сосредоточен небольшой отрицательный заряд, а на каждом из двух атомов Гидрогена — положительный:



Итак, молекула воды со стороны атома Оксигена заряжена отрицательно, а с противоположной стороны, где размещены атомы Гидрогена, — положительно. Такую молекулу называют полярной; она является диполем¹, т. е. имеет два разноименно заряженных полюса. Ее условно изображают эллипсом, в который вписаны знаки «+» и «-» без указания величин зарядов:



Полярность молекулы воды существенно влияет на свойства этого вещества.

Водородная связь. Молекулы-диполи воды могут притягиваться друг к другу, а именно, атом Н одной молекулы воды — к атому О другой.

Электростатическое взаимодействие между молекулами с участием атомов Гидрогена называют водородной связью.

Водородную связь принято обозначать тремя точками: Н · · · О. Эта связь значительно слабее ковалентной. Обязательное условие ее образования — наличие в молекуле атома Гидрогена, соединенного с атомом одного из наиболее электроотрицательных элементов (Флуора, Оксигена, Нитрогена).

Водородные связи существуют и в жидкой воде, и во льду. Каждая молекула воды соедине-

¹ Термин происходит от греч. di(s) — дважды и polos — полюс.

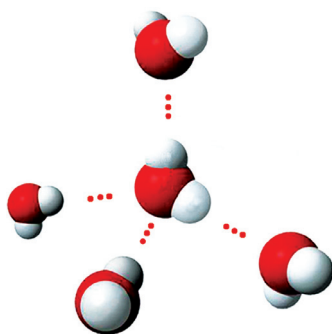


Рис. 4.
Водородные связи
между молекулами воды



Рис. 5.
Снежинка

на водородными связями с четырьмя другими (рис. 4). Это является причиной характерной формы снежинок (рис. 5). В жидкой воде часть водородных связей постоянно разрушается, но одновременно образуются новые связи.

ВЫВОДЫ

Вода — одно из наиболее распространенных в природе соединений. Ее молекула содержит ковалентные полярные связи $O-H$, имеет угловую форму и является полярной. На каждом атоме Гидрогена молекулы воды сосредоточен небольшой положительный заряд, а на атоме Оксигена — небольшой отрицательный заряд.

Молекулы воды притягиваются друг к другу вследствие электростатического взаимодействия между атомами Гидрогена и Оксигена разных молекул. Такое взаимодействие называют водородной связью.



1. Почему в природе нет чистой воды? Какие примеси могут быть в ней?
2. Как должен действовать каждый человек в быту, на отдыхе, чтобы лозунг «Берегите воду!» воплощался в жизнь?

3. Подготовьте по материалам Интернета небольшое сообщение на одну из таких тем:
 - а) обеспеченность пресной водой различных регионов Украины;
 - б) источники загрязнения природной воды;
 - в) вода в народном творчестве (половицы, поговорки и т. п.);
 - г) интересное о воде.
4. Объясните, почему молекула воды имеет угловую форму.
5. Каково различие между шаростержневой и масштабной моделями молекулы?
6. Что такое водородные связи? Почему они образуются между молекулами воды?
7. Рассчитайте число атомов Гидрогена и число атомов Оксигена в 1 мг воды.
8. Дейтерий — природный нуклид Гидрогена. Ядро атома этого нуклида состоит из одного протона и одного нейтрона. Найдите массовую долю Дейтерия в тяжелой воде D_2O .
9. Вычислите массу молекулы воды в граммах.

2 Свойства воды

Материал параграфа поможет вам:

- выяснить и объяснить физические свойства воды;
- вспомнить, с какими веществами реагирует вода.

Физические свойства. Каждому известно, что вода — бесцветная жидкость без вкуса и запаха, которая замерзает при температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, а закипает при $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (при давлении 760 мм рт. ст.). Вода имеет плотность $1,00\text{ г/см}^3$ (при $4\text{ }^{\circ}\text{C}$), незначительную теплопроводность, почти не проводит электрический ток.

Температуры плавления льда и кипения воды значительно выше, чем, например, метана CH_4 — сходного по составу соединения, молекула которого имеет почти такую же массу, что и молекула H_2O . Причина — наличие водородных

связей между молекулами воды¹. Чтобы разрушить эти связи, нужно израсходовать энергию, т. е. нагреть вещество.



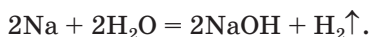
Рис. 6.
В реке, покрытой льдом, жизнь продолжается

Лед немного легче воды; его плотность составляет $0,92 \text{ г/см}^3$. (Другие вещества в твердом состоянии имеют большую плотность, чем в жидком.) Все молекулы во льду соединены водородными связями (§ 1). Это вещество имеет ажурную структуру со многими пустотами. При плавлении льда некоторые водородные связи разрываются, и «освободившиеся» молекулы воды заполняют пустоты. Вследствие этого вещество «уплотняется».

Лед не тонет в воде, и зимой водоемы обычно не промерзают до дна. Это спасает рыбу, других обитателей рек и озер от гибели (рис. 6).

Химические свойства. Вода проявляет достаточную химическую активность. Она реагирует со многими веществами — и простыми, и сложными.

Реакции с простыми веществами. Вам известно, что вода взаимодействует с наиболее активными металлами — щелочными (рис. 7) и щелочноземельными. Продуктами каждой реакции является основание (щелочь) и водород:



С магнием вода реагирует при нагревании.

► Напишите уравнение реакции магния с водой.

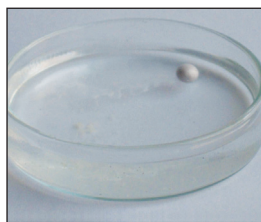
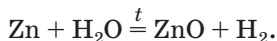


Рис. 7.
Реакция натрия с водой

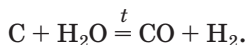
С водой взаимодействуют и некоторые менее активные металлы, но при достаточ-

¹ Водородные связи между молекулами метана CH_4 не образуются, поскольку ковалентная связь C-H почти неполярна. Поэтому в обычных условиях метан является газом. Он превращается в жидкость при охлаждении до -164°C (при нормальном давлении).

но высокой температуре (реагентом является водяной пар). При этом вместо гидроксидов металлических элементов образуются оксиды:

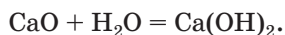
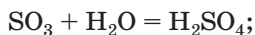


Вода реагирует и с некоторыми неметаллами. Взаимодействием водяного пара с раскаленным углем получают смесь газов, которую используют как топливо:



Реакции со сложными веществами. Среди соединений, с которыми реагирует вода, — немало оксидов и солей.

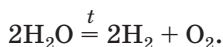
Вода взаимодействует с некоторыми основными оксидами и почти со всеми кислотными. Такие химические превращения вы изучали в 8 классе. Все они являются реакциями соединения. Кислотные оксиды, взаимодействуя с водой, образуют соответствующие оксигенсодержащие кислоты, а оксиды щелочных и щелочноземельных элементов — основания (щелочи):



Из известных вам кислотных оксидов лишь один не вступает в реакцию с водой; его формула — SiO_2 . Инертны по отношению к воде все амфотерные оксиды и многие основные оксиды.

Вода реагирует с некоторыми солями. Часть этих химических превращений, которые являются реакциями соединения, рассмотрим в следующем параграфе.

Разложение воды. Вода — термически устойчивое вещество. Ее молекулы начинают разрушаться при очень высокой температуре. При 2500°C разлагается приблизительно 11 % всех молекул, а при 1000°C — лишь 0,03 %. Продукты разложения воды — водород и кислород:



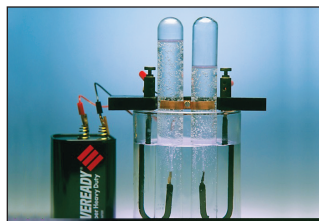
Воду можно разложить и с помощью электрического тока.

Это интересно

Водяной пар в особых условиях реагирует с несолесодержащим оксидом CO:
$$\text{H}_2\text{O} + \text{CO} \xrightarrow{t, k} \text{H}_2 + \text{CO}_2.$$

- Учитывая уравнение реакции разложения воды, укажите, в какой пробирке на рисунке 8 накапливается водород, а в какой — кислород.

Рис. 8.
Разложение воды
постоянным
электрическим током



ВЫВОДЫ

Вода при обычных условиях — бесцветная жидкость с плотностью $1,00 \text{ г/см}^3$, не имеющая вкуса и запаха, которая кипит при 100°C и замерзает при 0°C . Лед немного легче воды.

Вода взаимодействует со щелочными и щелочноземельными металлами, оксидами щелочных и щелочноземельных элементов, кислотными оксидами. При очень высокой температуре или действии постоянного электрического тока вода разлагается на водород и кислород.



10. Охарактеризуйте физические свойства воды.
11. Допишите схемы реакций и превратите их в химические уравнения:
а) $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \dots$; в) $\text{I}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \dots$;
б) $\text{Na}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \dots$; г) $\text{MgO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \dots$.
Укажите среди реагентов кислотные и основные оксиды, а среди продуктов реакций — кислоты и основания.
12. Какие из приведенных оксидов реагируют с водой: Li_2O , FeO , N_2O_3 , SiO_2 , Al_2O_3 ? Ответ обоснуйте.
13. Напишите уравнения реакций оксидов с водой, в результате которых образуются такие соединения:
а) стронций гидроксид $\text{Sr}(\text{OH})_2$; в) перхлоратная кислота HClO_4 ;
б) селенатная кислота H_2SeO_4 ; г) лантан гидроксид $\text{La}(\text{OH})_3$.

14. Происходят ли реакции между водой и такими веществами: литием, золотом, кислородом, барий оксидом, никель(II) оксидом, фосфор(V) оксидом, аргентум хлоридом? Составьте уравнения тех реакций, которые возможны.
15. Какие объемы водорода и кислорода образуются в нормальных условиях при полном разложении 1 л воды постоянным электрическим током?
16. Достаточно ли для гашения определенной массы негашеной извести взять такую же массу воды? (Считайте, что негашеная известь — это кальций оксид, не содержащий примесей.) Ответ обоснуйте.

3

Кристаллогидраты

Материал параграфа поможет вам:

- выяснить, какие соединения называют кристаллогидратами;
- решать задачи, в которых речь идет о кристаллогидратах.

Вода вступает в реакции соединения с некоторыми солями. При этом образуются вещества (тоже — соли), которые, кроме соответствующих катионов и анионов, содержат молекулы воды.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ № 1

Реакция купрум(II) сульфата с водой

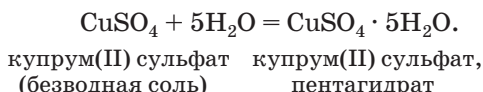
В маленькую фарфоровую чашку поместите немного порошка купрум(II) сульфата (соединение белого цвета) и добавьте несколько капель воды. Что наблюдаете?

Добавляйте к веществу воду (небольшими порциями) при перемешивании до его полного растворения.

Поставьте фарфоровую чашку на кольцо лабораторного штатива, зажгите спиртовку и осторожно выпаривайте из раствора воду до появления мелких голубых кристаллов¹.

В этом опыте купрум(II) сульфат превращается в новое вещество. Его химическая формула — $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (читается «купрум-эс-о-четыре-на-пять-аш-два-о»). Тривиальное название соединения — медный купорос², а химическое — купрум(II) сульфат, пентагидрат. В названиях таких веществ к слову «гидрат» добавляют приставку, которая происходит от греческого названия числа: моно- (1), ди- (2), три- (3), тетра- (4), пента- (5), гекса- (6), гепта- (7), окта- (8), нона- (9)³, дека- (10) и т. д. Точка в химической формуле означает, что медный купорос является соединением купрум(II) сульфата и воды, а не смесью этих веществ и не водным раствором купрум(II) сульфата. В соединении на каждую пару ионов — Cu^{2+} и SO_4^{2-} — приходится 5 молекул воды.

Уравнение реакции образования медного купороса:



Кристаллические вещества, в состав которых входят молекулы воды, называют кристаллогидратами.

Кристаллогидрат $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Известно много кристаллогидратов. Среди них — гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (рис. 9), железный купорос $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, горькая соль $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, кристаллическая сода $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.
---	---

¹ Выпаривание можно проводить на предметном стекле. Необходимо нанести на него 2—3 капли раствора и держать стекло над пламенем.

² Соединение применяют в сельском хозяйстве для борьбы с вредителями и болезнями растений.

³ Эта приставка происходит от латинского названия числа.



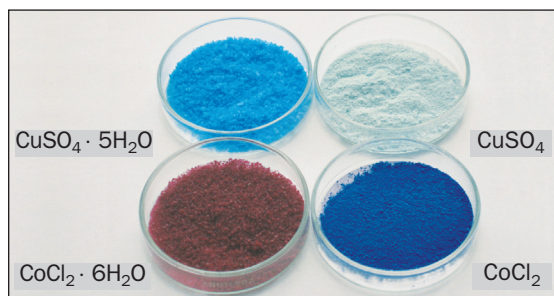
Рис. 9.
Природные
кристаллы гипса

► Дайте химические названия кристаллогидратам, указанным выше.

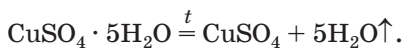
Воду, которая содержится в кристаллогидратах, называют кристаллизационной.

Часто кристаллогидраты и соответствующие безводные соединения имеют различную окраску (рис. 10).

Рис. 10.
Некоторые
кристаллогидраты и
безводные соли



При нагревании кристаллогидраты разлагаются с выделением воды:



Решение задач. При использовании кристаллогидратов нередко возникает потребность в различных расчетах.

ЗАДАЧА 1. Найти массовую долю воды в медном купоросе.

Дано:



$w(\text{H}_2\text{O})$ — ?

Решение

1-й способ

1. Вычисляем молярную массу медного купороса:

$$\begin{aligned} M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) &= M(\text{CuSO}_4) + 5M(\text{H}_2\text{O}) = \\ &= 160 + 5 \cdot 18 = 160 + 90 = 250 \text{ (г/моль)}. \end{aligned}$$

2. Составляем пропорцию и находим массовую долю воды в кристаллогидрате:

250 г (масса 1 моль кристаллогидрата) — 1 (или 100 %),
90 г (масса 5 моль воды) — x ;

$$x = w(\text{H}_2\text{O}) = \frac{90 \cdot 1}{250} = 0,36$$

$$(\text{или } x = w(\text{H}_2\text{O}) = \frac{90 \cdot 100 \%}{250} = 36 \%).$$

2-й способ

1. Вычисляем молярную массу медного купороса:

$$M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = M(\text{CuSO}_4) + 5M(\text{H}_2\text{O}) = \\ = 160 + 5 \cdot 18 = 160 + 90 = 250 \text{ (г/моль)}.$$

2. Находим массовую долю воды в кристаллогидрате по соответствующей формуле:

$$w(\text{H}_2\text{O}) = \frac{5M(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})} = \frac{90}{250} = 0,36, \text{ или } 36 \% .$$

Ответ: $w(\text{H}_2\text{O}) = 0,36$, или 36% .

ЗАДАЧА 2. Какие массы кристаллизационной воды и безводной соли содержатся в 25 г медного купороса?

Дано:

$$m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 25 \text{ г}$$

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

$$m(\text{CuSO}_4) = ?$$

Решение

1-й способ

1. Вычислив молярную массу медного купороса (см. задачу 1), находим массу кристаллизационной воды:

$$\text{в } 250 \text{ г } \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \text{ содержится } 90 \text{ г } \text{H}_2\text{O},$$

$$\text{в } 25 \text{ г } \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \quad \quad \quad \text{—} \quad \quad \quad x \text{ г } \text{H}_2\text{O};$$

$$x = m(\text{H}_2\text{O}) = 9 \text{ г}.$$

2. Рассчитываем массу безводной соли:

$$m(\text{CuSO}_4) = m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) - m(\text{H}_2\text{O}) = \\ = 25 - 9 = 16 \text{ (г)}.$$

2-й способ

1. Вычисляем количество вещества кристаллогидрата:

$$n(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})}{M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})} = \\ = \frac{25}{250} = 0,1 \text{ (моль)}.$$

2. Находим количество вещества кристаллизационной воды в 0,1 моль кристаллогидрата:

$$n(\text{H}_2\text{O}) = 5 \cdot n(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = \\ = 5 \cdot 0,1 = 0,5 \text{ (моль)}.$$

3. Рассчитываем массу кристаллизационной воды:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = n(\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{H}_2\text{O}) = \\ = 0,5 \cdot 18 = 9 \text{ (г)}.$$

4. Вычисляем массу безводной соли:

$$m(\text{CuSO}_4) = m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) - m(\text{H}_2\text{O}) = \\ = 25 - 9 = 16 \text{ (г)}.$$

Ответ: $m(\text{H}_2\text{O}) = 9 \text{ г}$; $m(\text{CuSO}_4) = 16 \text{ г}$.

ВЫВОДЫ

Кристаллические вещества, в состав которых входят молекулы воды, называют кристаллогидратами. При нагревании они разлагаются с образованием безводных соединений и воды.



17. Что такое кристаллогидрат? Приведите примеры таких соединений.
18. Запишите формулу кристаллогидрата, формульная единица которого состоит из одного иона Be^{2+} , двух ионов Cl^- и четырех молекул воды. Назовите этот кристаллогидрат.
19. Выполните расчеты для соединения $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и заполните таблицу:

$M(\text{CuCl}_2)$	$2M(\text{H}_2\text{O})$	$M(\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$	$w(\text{CuCl}_2)$	$w(\text{H}_2\text{O})$

20. Какая масса барий гидроксида содержится в его кристаллогидрате массой 6,3 г? Примите во внимание, что в составе формульной единицы кристаллогидрата — восемь молекул воды.
21. Вычислите приблизительное соотношение масс воды и безводной соли в кристаллогидрате $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$.
22. Кристаллическая сода $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ при нагревании разлагается на кальцинированную соду Na_2CO_3 и воду, которая выделяется в виде пара. Какая масса кристаллической соды разложилась, если масса твердого вещества в результате реакции уменьшилась на 9 г?
23. Массовая доля воды в кристаллогидрате $\text{ZnSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ составляет 43,9 %. Выведите формулу этого соединения.
24. Определите щелочной элемент, образующий соединение $\text{MOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$, если массовая доля Гидрогена в кристаллогидрате составляет 7,14 %.

4 Растворы. Образование раствора

Материал параграфа поможет вам:

- понять, что происходит при образовании раствора;

- объяснять тепловые эффекты, наблюдаемые при растворении различных веществ;
- выяснить, какие растворы называют коллоидными.

Смеси веществ. Что общего у воздуха, морской воды, нефти, гранита, молока, ювелирного сплава, зубной пасты? Это — смеси веществ.

Вам известно, что смеси бывают однородными и неоднородными.

В неоднородной смеси можно увидеть невооруженным глазом или с помощью микроскопа твердые частицы, капельки отдельных веществ, пузырьки газов. Некоторые смеси этого типа имеют общие названия. Неоднородную смесь жидкости и газа называют *пеной*. Она образуется, например, когда в стакан наливают из бутылки газированный напиток. Хорошо взболтанную смесь двух жидкостей, которые не растворяются друг в друге, называют *эмульсией*. Примером эмульсии является молоко; его главные компоненты — вода и жидкие жиры. Если перемешать жидкость с нерастворимым в ней, хорошо измельченным твердым веществом, получим *суспензию*. Суспензиями являются смеси воды с порошком мела, мукой, некоторые лекарственные препараты.

Растворы. Однородные смеси отличаются от неоднородных тем, что в них равномерно распределены мельчайшие частицы веществ — атомы, молекулы, ионы. Эти частицы нельзя обнаружить даже с помощью мощного микроскопа.

Однородные смеси веществ называют *растворами*.

Наверное, каждый из вас полагает, что раствор — это жидкость. Но, кроме жидких растворов, существуют твердые и газообразные растворы (рис. 11).

Раствор содержит по меньшей мере два вещества. Это — его компоненты. Один из них называют *растворителем*, а остальные — *растворенными веществами*. Растворителем считают вещество, которое находится в таком же агрегатном состоянии, что и раствор.

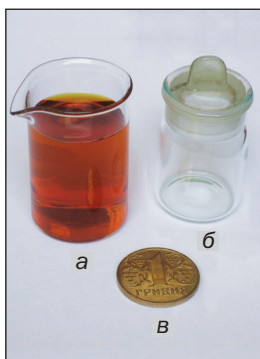


Рис. 11.
Растворы
(однородные
смеси):
а — водный
раствор FeCl_3 ;
б — воздух;
в — сплав
меди и
алюминия

► Назовите растворитель и растворенное вещество в таких однородных смесях: а) водный раствор сахара; б) хлоридная кислота.

Если агрегатное состояние всех веществ, образовавших раствор, одинаково, то растворителем считают вещество, масса которого наибольшая. Правда, для водных растворов существует традиция именно воду называть растворителем.

Вода растворяет многие вещества; это — лучший растворитель.

Различают *концентрированные* и *разбавленные* растворы. Разбавленный раствор содержит значительно больше растворителя, чем растворенного вещества, а концентрированный — наоборот.

Свойства раствора отличаются от свойств его компонентов. Например, водный раствор поваренной соли замерзает при температуре несколько ниже 0°C , закипает при температуре, превышающей 100°C , и, в отличие от воды и кристаллов натрия хлорида, хорошо проводит электрический ток.

Образование раствора. Процесс образования раствора часто сопровождается не только физическими явлениями, но и химическими.

Рассмотрим, как происходит растворение в воде *ионного вещества*. При попадании кристалла такого вещества в воду к каждому иону, находящемуся на его поверхности, притягиваются молекулы воды своими противоположно заряженными частями (рис. 12). Если силы такого взаимодействия преобладают над силами притяжения между катионами и анионами в кристалле, ионы постепенно отделяются друг от друга и переходят в воду. Кристалл растворяется. В образовавшемся растворе находятся ионы растворенного вещества, соединенные с молекулами воды. Такие частицы называют *гидратированными*¹.

¹ Растворение натрия хлорида в воде можно проиллюстрировать такой схемой:



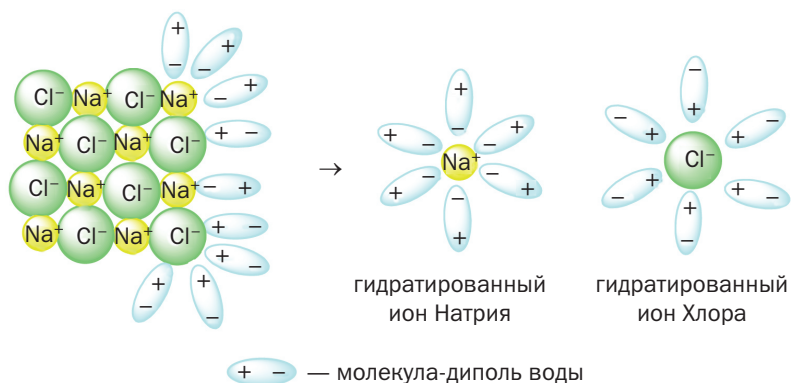


Рис. 12.

Растворение ионного кристалла в воде

► Изобразите в тетради гидратированные катион Бария и гидроксид-ион.

Образование гидратированных ионов обуславливает существование кристаллогидратов.

Растворение *молекулярных веществ* в воде может происходить по-разному. Если, например, молекулы кислорода, спирта, сахара, попадая в воду, остаются неизменными, то молекулы хлороводорода, сульфатной кислоты распадаются на ионы (§ 8). А растворение углекислого газа в воде сопровождается химической реакцией — образованием карбонатной кислоты. Правда, с водой реагирует лишь незначительная часть карбон(IV) оксида.

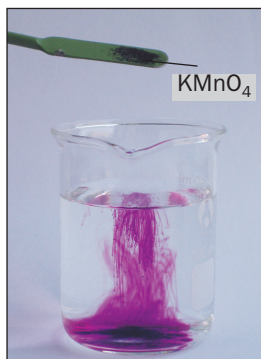


Рис. 13.

Диффузия окрашенных ионов MnO_4^- в воде при растворении калий перманганата

Процесс образования водного раствора можно разделить на три стадии:

1. Взаимодействие частиц вещества и молекул воды.
2. Отделение частиц вещества (молекул, ионов) друг от друга под действием молекул воды.
3. Взаимная диффузия вещества и воды, т. е. проникновение частиц одного вещества между частицами другого (рис. 13).

При растворении газа в воде вторая стадия отсутствует.

Для того чтобы твердое вещество растворялось быстрее, его измельчают, увеличивая таким образом поверхность будущего контакта частиц вещества с растворителем. Кроме того, растворение проводят при перемешивании, а иногда и при нагревании.

Тепловой эффект при растворении. Образование раствора сопровождается выделением или поглощением теплоты.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ № 2

Тепловой эффект при растворении вещества

В пробирку поместите приблизительно 1/2 чайной ложки натрий нитрата и добавьте 5 мл воды. Содержимое пробирки перемешивайте стеклянной палочкой для ускорения процесса растворения. Прикоснитесь рукой ко дну пробирки. Что ощущаете?

Появление теплового эффекта при растворении можно объяснить следующим образом. Взаимодействие частиц вещества и молекул воды (это — первая стадия растворения) происходит с выделением теплоты, а разъединение молекул или ионов вещества (вторая стадия растворения) — с поглощением теплоты. Если на первой стадии растворения выделяется больше теплоты, чем ее поглощается на второй, то происходит разогревание раствора. А если наоборот — раствор охлаждается.

Смешав спирт или сульфатную кислоту с водой, мы зафиксируем повышение температуры раствора (во втором случае — очень сильное). Причина состоит в том, что на второй стадии растворения этих веществ поглощается мало теплоты, так как взаимодействие между молекулами спирта или кислоты является довольно слабым.



Рис. 14.
Правильное
приготовление
разбавленного
раствора
сульфатной
кислоты

Существует правило приготовления разбавленного раствора сульфатной кислоты из концентрированного. Концентрированный раствор добавляют в воду (рис. 14), причем медленно,

небольшими порциями, постоянно перемешивая и охлаждая сосуд водопроводной водой. Если же добавлять воду в концентрированную кислоту, то образующийся раствор может даже закипеть, а брызги кислоты — попасть на кожу и вызвать сильные ожоги.

Иногда при образовании раствора обнаружить тепловой эффект не удастся (например, при растворении поваренной соли в воде). На самом деле он есть, но незначительный.

Коллоидные растворы. Водные растворы крахмала и натрия хлорида внешне не отличаются друг от друга, они бесцветны и прозрачны. Но если на каждый раствор направить пучок света, то лишь в растворе крахмала мы увидим его «путь» (рис. 15). Свет рассеивают очень большие молекулы этого вещества; каждая из них содержит тысячи соединенных атомов¹. Подобное явление наблюдается при прохождении солнечных лучей сквозь туман (рис. 16) или запыленный воздух. В первом случае свет отражают мелкие капельки воды, во втором — пылинки.

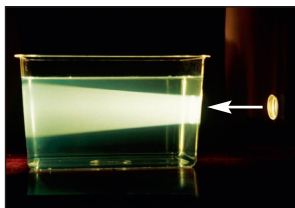


Рис. 15.
Прохождение света
через раствор
крахмала

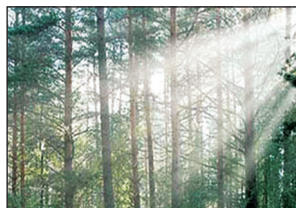


Рис. 16.
Солнечные лучи
в лесу

Растворы, содержащие большие частицы растворенных веществ, скопления многих атомов или молекул, называют *коллоидными*, а те, в которых находятся мельчайшие частицы веществ (отдельные атомы, молекулы, ионы), — *истинными*.

¹ О крахмале пойдет речь в § 31.

Это интересно

Размер
молекулы
воды —
0,25 нм.

Размеры частиц растворенных веществ в коллоидных растворах составляют от 1 до 100 нм ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$), тогда как в истинных растворах они не превышают 1 нм.

Коллоидные растворы довольно устойчивы; частицы растворенных веществ в них длительное время не оседают. Одна из причин этого — наличие на их поверхности одноименных зарядов (частицы отталкиваются друг от друга и не «слипаются»). Вызвать осаждение частиц можно нагреванием коллоидного раствора или растворением в нем какой-либо соли (например, натрий хлорида).

Коллоидные растворы очень распространены в живой природе. Ими являются кровь, плазма крови, межклеточные жидкости, соки растений.

Общее научное название неоднородных смесей и коллоидных растворов — *дисперсные системы*.

Значение растворов. Вещества, растворяясь в природной воде, «путешествуют» по планете, попадают на земную поверхность, участвуют в химических реакциях с образованием минералов, компонентов почвы. Растворы поступают в растения через корни и листву, а в организмы животных и человека — вместе с пищевыми продуктами, поставляя необходимые вещества.

Химические реакции в живых организмах протекают только в водных растворах (в основном, — коллоидных). В процессе пищеварения принимают участие слюна, желудочный сок, желчь. Вместе с мочой и потом из организма выводятся продукты жизнедеятельности, а иногда — и токсичные вещества.

Вода, которую мы пьем, в действительности является очень разбавленным раствором. В ней растворены ничтожно малые количества различных веществ¹, которые придают воде едва ощутимый вкус. При наличии в природной воде некоторых веществ и ионов она может иметь лечебные свойства, восстанавливать солевой

¹ Пить только чистую (дистиллированную) воду нельзя, так как организм не будет получать некоторые элементы и из него будут «вымываться» нужные вещества.

баланс в организме. Жидкие лекарства в основном являются водными растворами.

Живые существа дышат кислородом, входящим в состав воздуха. А воздух — это природный газовый раствор. Если бы мы дышали чистым кислородом, то процессы окисления в организме происходили очень интенсивно, а этого наш организм не выдержал бы.

Без растворов не могут работать металлургические и химические заводы, предприятия легкой и пищевой промышленности, бытового обслуживания, медицинские учреждения.

ВЫВОДЫ

Смеси веществ бывают однородными и неоднородными. В однородных смесях (растворах) равномерно распределены атомы, молекулы или ионы веществ.

При образовании раствора происходят физические и химические явления. Химические явления обусловлены взаимодействием частиц растворенного вещества и растворителя.

Процесс растворения вещества сопровождается выделением или поглощением теплоты.

Коллоидные растворы отличаются от обычных (истинных) тем, что содержат очень большие молекулы или скопления частиц растворенного вещества.



25. В пять стаканов налили небольшие порции воды. В первый стакан добавили немного глины, во второй — спирта, в третий — фруктового сиропа, в четвертый — керосина и в пятый — питьевой соды. Каждую смесь хорошо перемешали. В каких стаканах образовались растворы?
26. В строительстве применяют так называемый цементный раствор. Его компонентами являются цемент, песок и вода. Можно ли называть эту смесь раствором с научной точки зрения? Почему?

27. Какое вещество следует назвать растворителем, если раствор образуют:
- а) расплавленные металлы — медь массой 3 г и золото массой 7 г;
 - б) вода объемом 1 л и хлороводород (газ) объемом 300 л;
 - в) спирт массой 10 г и ацетон массой 25 г;
 - г) вода массой 8 г и сульфатная кислота массой 92 г?
- Ответы обоснуйте.
28. Можно ли утверждать, что соки клубники, черной смородины являются растворами и содержат несколько растворенных веществ?
29. Раствор, который состоит из 100 г спирта и 10 г воды, один ученик назвал концентрированным, а другой — разбавленным. Кто, на ваш взгляд, прав? Почему?
30. Назовите частицы, которые содержатся в водном растворе поваренной соли.
31. Какие явления происходят при растворении вещества в воде? Охарактеризуйте каждое из них.
32. В двух сосудах без этикеток находятся вода и раствор поваренной соли. Как экспериментально различить эти жидкости, не используя других веществ или растворов?
33. Объясните, в чем состоит различие между растворением сахара в воде и цинка в хлоридной кислоте.
34. В каком случае при растворении вещества происходит: а) выделение теплоты; б) поглощение теплоты? Должен ли зависеть тепловой эффект растворения вещества от его агрегатного состояния? Ответ поясните.
35. Какие растворы называют коллоидными? Чем они отличаются от истинных растворов?

ЭКСПЕРИМЕНТИРУЕМ ДОМА

Тепловой эффект при растворении вещества в воде

Насыпьте в пластмассовый стаканчик чайную ложку кальцинированной соды. Долейте к веществу приблизительно 10 мл воды и сразу перемешивайте смесь деревянной или пластмассовой палочкой в течение 15—20 секунд. Взяв стаканчик в ладонь, определите, повышается или понижается температура смеси при растворении соединения.

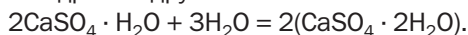
Аналогичный эксперимент проведите с аммиачной селитрой (минеральное удобрение).

Тепловой эффект при образовании кристаллогидрата

Насыпьте в пластмассовый стаканчик 2—3 чайные ложки алебаstra. Добавьте 2 чайные ложки воды и сразу хорошо перемешайте

смесь деревянной или пластмассовой палочкой. Нагревается или охлаждается смесь веществ?

Заметим, что во время эксперимента происходит превращение одного кристаллогидрата в другой:



алебастр

гипс

5

Растворимость веществ

Материал параграфа поможет вам:

- понять, что такое растворимость вещества;
- выяснить, от каких факторов зависит растворимость веществ в воде.

Растворимость. Характеризуя физические свойства какого-либо вещества, обычно указывают, растворяется ли оно в воде, спирте, других растворителях.

Свойство вещества образовывать с другим веществом раствор называют *растворимостью*.

Сульфатная и нитратная кислоты, этиловый спирт, ацетон смешиваются с водой в любых соотношениях с образованием растворов. Эти вещества имеют неограниченную растворимость в воде. Но для многих других веществ существует предел растворения.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ № 3 Обнаружение ограниченной растворимости вещества в воде

Налейте в пробирку 2 мл воды и растворяйте в ней калий нитрат небольшими порциями при перемешивании стеклянной

палочкой. Каждую порцию вещества добавляйте после полного растворения предыдущей. Зафиксируйте момент, когда растворение соли прекращается.

Оставьте пробирку со смесью веществ для следующего опыта.



Рис. 17.
Насыщенный
раствор калий
бромата KBrO_3
в воде

Раствор, в котором при данных условиях вещество больше не растворяется, называют *насыщенным* (рис. 17), а тот, в котором еще можно растворить определенную порцию вещества, — *ненасыщенным*.

► Для каких растворимых веществ не существует насыщенных растворов?

Растворимость большинства веществ можно оценить количественно. Для этого указывают максимальную массу вещества, которая может раствориться в 100 г растворителя при определенной температуре¹. Соответствующую физическую величину принято обозначать буквой *S* (от латинского слова *solvere* — растворять).

Сведения о растворимости многих соединений в воде имеются в таблице, размещенной на форзаце II.

Веществ, абсолютно нерастворимых в воде, не существует. Если в серебряный сосуд налить воды, то ничтожное количество металла со временем растворится. Полученная «серебряная» вода имеет антимикробные свойства и, в отличие от обычной, может храниться неограниченное время.

Способность вещества растворяться в воде зависит от его строения, т. е. от типа частиц, из которых состоит вещество, а также от внешних условий — температуры, давления.

¹ Для газа обычно указывают его максимальный объем, растворяющийся в 100 г или 1 л растворителя при определенных температуре и давлении.

Зависимость растворимости веществ от их строения. Большинство ионных веществ хорошо растворяется в воде. Таким свойством обладают и вещества, которые, как и вода, состоят из полярных молекул. Вещества с неполярными молекулами, например азот N_2 , метан CH_4 , имеют небольшую растворимость в воде либо нерастворимы в ней. Со времен алхимиков существует правило: *подобное растворяется в подобном*. Это правило используют и сейчас, хотя известны исключения из него.



Рис. 18.
Выделение
пузырьков
растворенного
воздуха
из нагретой
водопроводной
воды

Зависимость растворимости веществ от температуры. Влияние температуры на растворимость вещества большей частью определяется его агрегатным состоянием.

Если в стакан налить холодной водопроводной воды и оставить в теплом месте, то спустя некоторое время на его стенках появятся пузырьки воздуха, который был растворен в воде (рис. 18). В теплой воде растворимость газов меньше, и «лишний» воздух выделяется из нее.

Растворимость газов в воде с повышением температуры уменьшается.

Определим с помощью эксперимента, как влияет температура на растворимость твердого вещества в воде.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ № 4

Влияние температуры на растворимость твердого вещества

Осторожно нагревайте пробирку со смесью калий нитрата и его насыщенного раствора (эта смесь осталась после лабораторного опыта № 3). Содержимое пробирки периодически перемешивайте. Что наблюдаете?

Сделайте вывод относительно влияния температуры на растворимость калий нитрата в воде.

Растворимость большинства твердых веществ в воде с повышением температуры увеличивается.

Некоторые соединения, в частности кальций гидроксид $\text{Ca}(\text{OH})_2$, кальций сульфат CaSO_4 , литий сульфат Li_2SO_4 , при нагревании уменьшают свою растворимость в воде.

Зависимость растворимости вещества от температуры часто представляют графически — в виде *кривой растворимости* (рис. 19). На горизонтальной оси такого графика обозначают температуру, а на вертикальной — растворимость, т. е. максимальную массу вещества, которая растворяется при данной температуре в 100 г воды.

Точки на кривой растворимости отвечают составу насыщенных растворов, а область под кривой — ненасыщенным раствором.

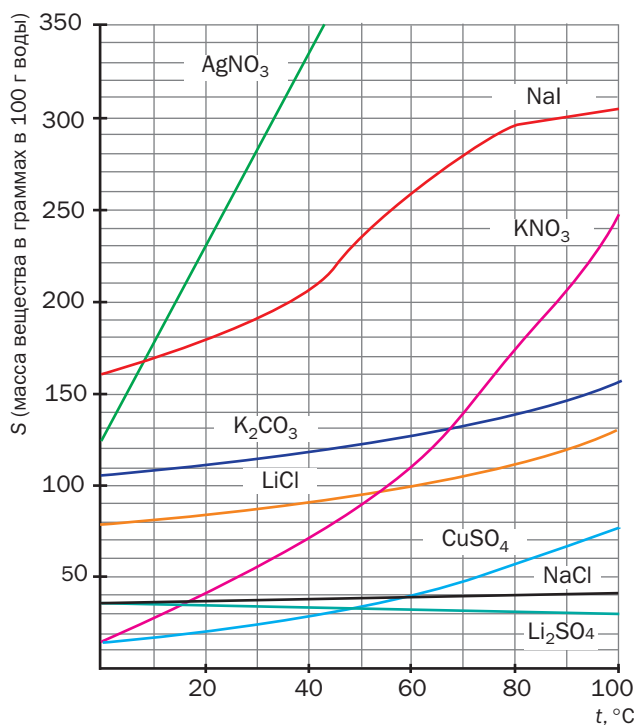


Рис. 19.
Кривые растворимости некоторых солей в воде

► Согласуется ли результат лабораторного опыта № 4 с характером кривой растворимости для калий нитрата?

- Воспользовавшись рисунком 19, определите растворимость калий нитрата при температуре 60°C .

Зависимость растворимости газов от давления. Если открыть бутылку с газированным напитком, то углекислый газ, который был растворен в жидкости при повышенном давлении, начнет из нее быстро выделяться; жидкость вспенивается. Причина этого состоит в том, что раствор попадает в условия обычного давления, при котором растворимость газа намного меньше.

Растворимость газов в воде с повышением давления увеличивается.

Растворимость большинства газов в воде прямо пропорциональна давлению; соответствующий график является прямой линией. Если давление увеличить в несколько раз, то растворимость газа в воде возрастет во столько же раз (рис. 20).

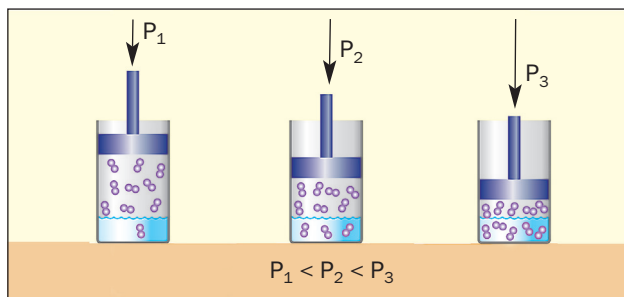


Рис. 20.
Влияние
давления на
растворимость
газа в воде

На растворимость в воде твердых и жидких веществ давление не влияет.

ВЫВОДЫ

Свойство вещества образовывать с другим веществом раствор называют растворимостью.

Большинство веществ имеет ограниченную растворимость в воде. Ее выражают максималь-

ной массой вещества, которая может раствориться при определенной температуре (для газов — еще и при определенном давлении) в 100 г воды. Раствор, в котором содержится максимально возможное количество растворенного вещества, называют насыщенным.

Растворимость большинства твердых веществ в воде с повышением температуры возрастает, а от давления не зависит. Газы увеличивают растворимость в воде с понижением температуры и повышением давления.



36. Что такое растворимость вещества? От каких факторов зависит растворимость веществ в воде?
37. После постепенного добавления в воду нескольких порций соли образовалась неоднородная смесь. Что представляет собой жидкость над кристаллами соли? Как превратить эту смесь в однородную, т. е. в раствор?
38. Предложите эксперимент, с помощью которого можно различить насыщенный и ненасыщенный растворы натрия хлорида.
39. Определите растворимость литий хлорида при температуре 40 °С, воспользовавшись кривой растворимости соединения (рис. 19).
40. В 10 мл воды при 20 °С растворили 20 г аргентум нитрата AgNO_3 . Какой раствор был приготовлен — разбавленный или концентрированный, насыщенный или ненасыщенный? Для ответа воспользуйтесь кривой растворимости соединения (рис. 19).
41. Какой объем азота растворяется при нормальных условиях в 1 л воды, если растворимость газа в этих условиях составляет 2,8 мг в 100 г воды?
42. В 20 г воды при 80 °С растворили 22 г калий карбоната K_2CO_3 . Растворится ли в приготовленном растворе при указанной температуре дополнительная порция соединения? Если да, то вычислите ее максимальную массу. Воспользуйтесь кривой растворимости соединения (рис. 19).
43. По кривой растворимости (рис. 19) определите:
 - а) минимальную массу воды, в которой растворится калий нитрат KNO_3 массой 20 г при 70 °С;
 - б) максимальную массу калий нитрата, которую можно растворить в 80 г воды при 50 °С.

44. Какая масса натрий иодида выделится из 100 г насыщенного при 70 °С раствора соединения после охлаждения его до 10 °С? Воспользуйтесь кривой растворимости натрий иодида (рис. 19).
45. Постройте в тетради кривую растворимости для калий хлорида по таким данным:

t, °C	0	20	40	60	80
S (масса KCl в граммах /100 г воды)	27,6	34,0	40,0	45,5	51,1

Составьте условие задачи с использованием кривой растворимости соединения.

ЭКСПЕРИМЕНТИРУЕМ ДОМА

Сравнение растворимости веществ в воде

Насыпьте в небольшой стакан полную чайную ложку сахара, а в другой стакан — столько же соли. (Будем считать, что чайная ложка содержит одинаковые массы этих веществ.) Добавляйте по очереди в каждый стакан по столовой ложке воды, перемешивая смеси.

Какое вещество растворилось первым? Что лучше растворяется в воде — сахар или соль?

ВНЕУРОЧНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Выращивание кристаллов медного купороса¹

Приготовьте насыщенный раствор медного купороса. Для этого насыпьте в стеклянный сосуд чайную ложку соединения и доливайте небольшими порциями, постоянно перемешивая, горячую воду до растворения кристаллов. В случае необходимости горячий раствор профильтруйте. Накройте сосуд листом бумаги и оставьте раствор охлаждаться до комнатной температуры.

На следующий день вы увидите на дне сосуда кристаллы вещества; над ними будет насыщенный раствор. Достаньте пластмассовым пинцетом кристалл правильной формы, без дефектов, и положите его на

¹ Можно также выращивать кристаллы алюмокалиевых квасцов $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$.

бумагу. Слейте насыщенный раствор с оставшихся кристаллов в другой сосуд и осторожно положите на дно этого сосуда отобранный кристалл. Его можно подвесить на тонкой нити (рис. 21). Сосуд ничем не накрывайте и оставьте на несколько дней.

Вода будет постепенно испаряться из насыщенного раствора, на дне стакана появятся новые кристаллы вещества и вырастет тот, который был помещен в раствор. Удаляя мелкие кристаллы и переворачивая отобранный на разные грани для равномерного роста (делайте это с интервалом в несколько дней), можно вырастить красивый кристалл величиной в несколько сантиметров. Периодически добавляйте в сосуд новые порции холодного насыщенного раствора соединения.

Если мелкие кристаллы из сосуда не удалять, то образуются друзы — группы кристаллов, сросшихся друг с другом (рис. 22).

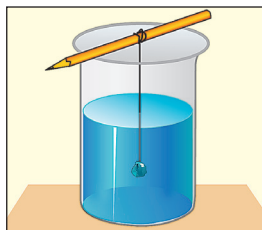


Рис. 21.
Выращивание кристалла
медного купороса из
насыщенного раствора



Рис. 22.
Друзы кристаллов
различных солей

6 Количественный состав раствора. Массовая доля растворенного вещества

Материал параграфа поможет вам:

- выяснить, что такое массовая доля растворенного вещества;
- научиться вычислять массовую долю растворенного вещества.

Человек использует в своей жизни много растворов. Среди них — спиртовой раствор иода, водные растворы аммиака и перекиси

водорода, столовый уксус и уксусная эссенция (рис. 23). Обратите внимание на этикетки, имеющиеся на бутылках с этими растворами. Вы заметите возле названия растворенного вещества цифру и знак процента (%). Это — значение массовой доли растворенного вещества в растворе. Оно соответствует *массе вещества (в граммах), которая содержится в 100 г раствора*.



Рис. 23.
Водные
растворы,
используемые
в быту

Столовый уксус является водным раствором уксусной кислоты. Согласно этикетке на бутылке¹, в каждых 100 г уксуса содержится 9 г уксусной кислоты. Масса воды в 100 г уксуса составляет $100 \text{ г} - 9 \text{ г} = 91 \text{ г}$.

► Назовите массу растворенного вещества и массу воды, которые содержатся в 100 г каждого из растворов, приведенных на рисунке 23.

Для обозначения массовой доли растворенного вещества в растворе, как и массовой доли элемента в соединении, используют латинскую букву w (дубль-ве).

Вам известно, что массовую долю выражают не только в процентах, но и положительным числом, которое меньше единицы.

Формула для вычисления массовой доли растворенного вещества в растворе:

$$w(\text{р. в-ва}) = \frac{m(\text{р. в-ва})}{m(\text{р-ра})} (\cdot 100 \%) = \frac{m(\text{р. в-ва})}{m(\text{р. в-ва}) + m(\text{р-ля})} (\cdot 100 \%),$$

где $m(\text{р. в-ва})$ — масса растворенного вещества, $m(\text{р-ра})$ — масса раствора, $m(\text{р-ля})$ — масса растворителя.

¹ Если растворителем является вода, то на этикетках обычно не указывают слова «водный раствор».

Массовая доля растворенного вещества в растворе — это отношение массы вещества к массе раствора.

Решение задач. В повседневной жизни (например, при консервировании) нередко возникает необходимость приготовить водный раствор с определенной массовой долей растворенного вещества. Для этого обычно используют вещество и воду. Иногда разбавляют водой концентрированный раствор вещества, в частности уксусную эссенцию. В любом случае перед приготовлением раствора проводят необходимые расчеты.

Рассмотрим, как решают задачи на вычисление массовой доли растворенного вещества в растворе, а также задачи, в которых используют эту величину. Один из способов решения основан на составлении пропорции, другой предполагает расчет по соответствующей математической формуле.

ЗАДАЧА 1. В 144 г воды растворили 6 г щелочи. Рассчитать массовую долю щелочи в растворе.

Дано:

$$m(\text{воды}) = 144 \text{ г}$$

$$m(\text{щел.}) = 6 \text{ г}$$

$$w(\text{щел.}) = ?$$

Решение

1-й способ

1. Находим массу раствора:

$$\begin{aligned} m(\text{р-ра}) &= m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{щел.}) = \\ &= 144 \text{ г} + 6 \text{ г} = 150 \text{ г}. \end{aligned}$$

2. Определяем массу щелочи, которая содержится в 100 г раствора. Для этого составляем пропорцию и решаем ее:

в 150 г раствора содержится 6 г щелочи,
в 100 г раствора — x г щелочи;

$$x = m(\text{щел.}) = \frac{6 \text{ г} \cdot 100 \text{ г}}{150 \text{ г}} = 4 \text{ г}.$$

Отсюда $w(\text{щел.}) = 4 \%$, или 0,04.

2-й способ

Вычисляем массовую долю щелочи в растворе по соответствующей формуле:

$$\begin{aligned} w(\text{щел.}) &= \frac{m(\text{щел.})}{m(\text{щел.}) + m(\text{воды})} = \frac{6 \text{ г}}{(6 + 144) \text{ г}} = \\ &= 0,04, \end{aligned}$$

или $0,04 \cdot 100 \% = 4 \%$.

Ответ: $w(\text{щел.}) = 0,04$, или 4 %.

ЗАДАЧА 2. Какие массы соли и воды нужно взять для приготовления 400 г раствора соли с массовой долей растворенного вещества 0,2?

Дано:

$$m(\text{р-ра}) = 400 \text{ г}$$

$$w(\text{соли}) = 0,2$$

$$m(\text{соли}) — ?$$

$$m(\text{воды}) — ?$$

Решение

1. Вычисляем массу соли, воспользовавшись формулой для массовой доли растворенного вещества:

$$w(\text{соли}) = \frac{m(\text{соли})}{m(\text{р-ра})};$$

$$\begin{aligned} m(\text{соли}) &= w(\text{соли}) \cdot m(\text{р-ра}) = \\ &= 0,2 \cdot 400 \text{ г} = 80 \text{ г}. \end{aligned}$$

2. Находим массу воды:

$$\begin{aligned} m(\text{воды}) &= m(\text{р-ра}) - m(\text{соли}) = \\ &= 400 \text{ г} - 80 \text{ г} = 320 \text{ г}. \end{aligned}$$

Ответ: $m(\text{соли}) = 80 \text{ г}$; $m(\text{воды}) = 320 \text{ г}$.

ЗАДАЧА 3. К 200 г водного раствора сахара с массовой долей растворенного вещества 10 % добавили 50 г воды. Вычислить массовую долю сахара в образовавшемся растворе.

Дано:

$$m(\text{р-ра}) = 200 \text{ г}$$

$$w(\text{сах.}) = 10 \%,$$

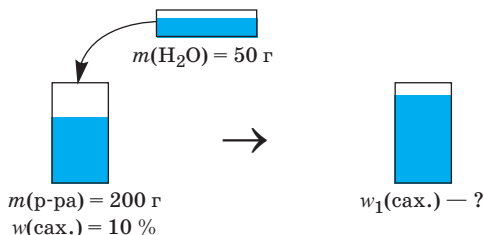
$$\text{или } 0,1$$

$$m(\text{воды}) = 50 \text{ г}$$

$$w_1(\text{сах.}) — ?$$

Решение

Условие задачи проиллюстрируем рисунком:



1. Вычисляем массу сахара в 200 г раствора:

$$\begin{aligned} m(\text{сах.}) &= w(\text{сах.}) \cdot m(\text{р-ра}) = \\ &= 0,1 \cdot 200 \text{ г} = 20 \text{ г}. \end{aligned}$$

2. Находим массу образовавшегося раствора:

$$\begin{aligned} m(\text{обр. р-ра}) &= m(\text{р-ра}) + m(\text{воды}) = \\ &= 200 \text{ г} + 50 \text{ г} = 250 \text{ г}. \end{aligned}$$

3. Рассчитываем массовую долю сахара в образовавшемся растворе по соответствующей формуле:

$$\begin{aligned} w_1(\text{сах.}) &= \frac{m(\text{сах.})}{m(\text{обр. р-ра})} = \frac{20 \text{ г}}{250 \text{ г}} = 0,08, \\ \text{или } 0,08 \cdot 100 \% &= 8 \%. \end{aligned}$$

Ответ: $w_1(\text{сах.}) = 0,08$, или 8 %.

ЗАДАЧА 4. Какой объем воды нужно добавить к 45 г уксусной эссенции (раствор с массовой долей уксусной кислоты 80 %), чтобы приготовить 9 %-й раствор уксусной кислоты?

Дано:

$m(80\% \text{ -го р-ра}) = 45 \text{ г}$
 $w(\text{к-ты}) = 80\%$
 $w_1(\text{к-ты}) = 9\%$

$V(\text{воды}) = ?$

Решение

1. Рассчитываем массу уксусной кислоты в 45 г уксусной эссенции:

$$m(\text{к-ты}) = w(\text{к-ты}) \cdot m(\text{р-ра}) = 0,8 \cdot 45 \text{ г} = 36 \text{ г}.$$

2. Вычисляем массу 9 %-го раствора, в котором будет находиться 36 г кислоты:

в 100 г раствора содержится 9 г кислоты,
 в x г раствора — 36 г кислоты;

$$x = m(9\% \text{ -го р-ра}) = \frac{36 \text{ г} \cdot 100\%}{9\%} = 400 \text{ г}.$$

3. Рассчитываем массу воды, которую нужно добавить к уксусной эссенции:

$$m(\text{воды}) = m(9\% \text{ -го р-ра}) - m(80\% \text{ -го р-ра}) = 400 \text{ г} - 45 \text{ г} = 355 \text{ г}.$$

4. Находим объем воды:

$$V(\text{воды}) = \frac{m(\text{воды})}{\rho(\text{воды})} = \frac{355 \text{ г}}{1 \text{ г/мл}} = 355 \text{ мл}.$$

Ответ: $V(\text{воды}) = 355 \text{ мл}$.

ЗАДАЧА 5. Какие массы медного купороса $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ и воды необходимо взять для приготовления 200 г раствора с массовой долей купрум(II) сульфата CuSO_4 0,05?

Дано:

$m(\text{р-ра}) = 200 \text{ г}$
 $w(\text{CuSO}_4) = 0,05$

$m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = ?$
 $m(\text{воды}) = ?$

Решение

1. Находим массу купрум(II) сульфата, которая будет находиться в 200 г раствора:

$$m(\text{CuSO}_4) = w(\text{CuSO}_4) \cdot m(\text{р-ра}) = 0,05 \cdot 200 \text{ г} = 10 \text{ г}.$$

2. Вычисляем массу медного купороса, в которой содержатся 10 г CuSO_4 :

$$M(\text{CuSO}_4) = 160 \text{ г/моль};$$

$$M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 250 \text{ г/моль};$$

160 г CuSO_4 содержатся в 250 г $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$,
 10 г CuSO_4 — в x г $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$;

$$x = m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = \frac{10 \text{ г} \cdot 250 \text{ г}}{160 \text{ г}} = 15,6 \text{ г}.$$

3. Рассчитываем массу воды:

$$m(\text{воды}) = m(\text{р-ра}) - m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 200 \text{ г} - 15,6 \text{ г} = 184,4 \text{ г}.$$

Ответ: $m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 15,6 \text{ г}$; $m(\text{воды}) = 184,4 \text{ г}$.

Состав раствора, образованного двумя жидкостями, часто представляют соотношением их объемов. В химической лаборатории на бутылках с растворами кислот можно увидеть надписи «1 : 2», «1 : 4». Они свидетельствуют о том, что растворы приготовлены смешиванием одного объема кислоты с двумя или четырьмя объемами воды.

ВЫВОДЫ

Количественный состав раствора характеризуют массовой долей растворенного вещества.

Массовая доля растворенного вещества является отношением массы вещества к массе раствора. Значение массовой доли, выраженное в процентах, численно равно массе растворенного вещества (в граммах), которая содержится в 100 г раствора.



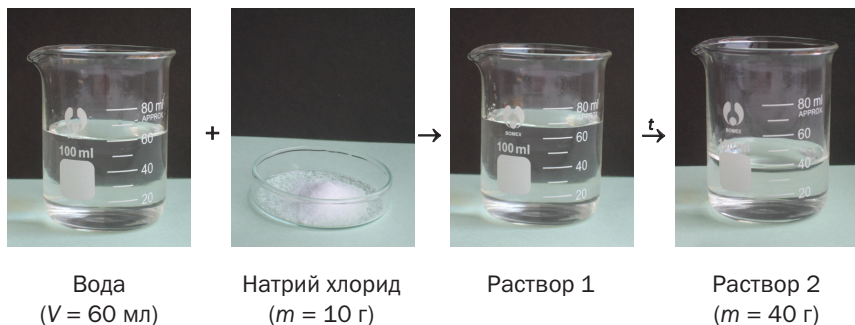
46. Как вы понимаете термин «количественный состав раствора»?
47. Что такое массовая доля растворенного вещества? Имеет ли размерность эта величина?
48. Какая масса вещества содержится в 300 г его раствора с массовой долей вещества 0,02? (Устно.)
49. Порцию сахара массой 50 г растворили в 200 г воды. Вычислите массовую долю сахара в приготовленном растворе. (Устно.)
50. Сделайте (устно) соответствующие расчеты и заполните таблицу:

$m(\text{р-ра}), \text{г}$	$m(\text{р. в-ва}), \text{г}$	$m(\text{воды}), \text{г}$	$w(\text{р. в-ва}), \%$
400	8		
500		460	

51. В какой массе воды необходимо растворить 6 г калий нитрата, чтобы приготовить раствор с массовой долей растворенного вещества 0,05?
52. Раствор натрия хлорида с массовой долей соли 0,9 % (так называемый физиологический раствор) используют в медицине. Какую

массу соли и какой объем дистиллированной воды нужно взять для приготовления 2 кг такого раствора?

53. К 200 г раствора соли с ее массовой долей 0,2 сначала добавили 30 мл воды, а затем растворили еще 20 г соли. Вычислите массовую долю соли в полученном растворе.
54. Составьте условие задачи, отвечающее приведенным рисункам, и решите ее.



55. Какая масса натрия гидроксида содержится в 20 мл раствора с массовой долей щелочи 32 %, если плотность раствора составляет $1,25 \text{ г/см}^3$?
56. Кристаллогидрат $\text{Li}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ массой 16 г растворили в 94 г воды. Вычислите массовую долю литий сульфата Li_2SO_4 в приготовленном растворе.
57. По кривой растворимости купрум(II) сульфата (рис. 19) определите массовую долю соли в ее насыщенном растворе при 60°C .

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

Приготовление водного раствора соли с определенной массовой долей растворенного вещества

ВАРИАНТ I

Задание. Приготовить 40 г водного раствора калий хлорида с массовой долей соли 0,05.

ВАРИАНТ II

Задание. Приготовить водный раствор натрия нитрата с массовой долей соли 4 % из 2 г соединения.

Перед выполнением работы сделайте необходимые расчеты. Их результаты, а также исходные данные запишите в таблицу:

Вариант	$m(\text{р-ра})$, г	$w(\text{соли})$	$m(\text{соли})$, г	$m(\text{воды})$, г	$V(\text{воды})$, мл
Для приготовления водного раствора соли необходимо взять: $m(\text{соли}) = \dots \text{ г}, \quad V(\text{воды}) = \dots \text{ мл}$					



Взвесьте на весах необходимую массу соли (рис. 24) и поместите ее в химический стакан (колбу). Наберите в мерный цилиндр рассчитанный объем воды и вылейте в сосуд с солью. Перемешивайте смесь до полного растворения соли. При необходимости раствор профильтруйте.

Рис. 24
Порция соли, взвешенная на электронных весах

?

58. Как из 5 г медного купороса приготовить водный раствор, в котором массовая доля купрум(II) сульфата составит 8 %?
59. Ученик, выполняя вариант I практической работы, вместо 40 г раствора с массовой долей калий хлорида 0,05 приготовил такую же массу 4 %-го раствора. Какую массу соли необходимо добавить в этот раствор, чтобы ее массовая доля стала равной 0,05?
60. Ученик, выполняя вариант II практической работы, вместо 4 %-го раствора приготовил из 2 г натрия нитрата раствор с массовой долей соли 0,05. Как ему исправить свою ошибку, используя приготовленный раствор?

7 Электролиты и неэлектролиты

Материал параграфа поможет вам:

- понять, почему растворы и расплавы некоторых веществ проводят электрический ток;
- узнать о том, как можно обнаружить ионы в растворе.

Общеизвестно, что металлы проводят электрический ток. Такое их свойство обусловлено наличием в металлах электронов, которые не удерживаются «своими» атомами и свободно перемещаются в веществе. Если соединить металлическую проволоку или пластину с батареей (аккумулятором), то эти электроны начнут перемещаться к положительно заряженному полюсу батареи. В веществе возникнет электрический ток.

Соли, основания, основные и амфотерные оксиды содержат заряженные частицы иного типа — ионы. Выясним с помощью эксперимента, способны ли вещества ионного строения проводить электрический ток.

Перед проведением опытов соберем прибор, состоящий из стакана, двух электродов¹, лампочки и батарейки (рис. 25). Будем погружать электроды в твердые вещества, их расплавы, водные растворы. Обнаружим, что лампочка горит лишь тогда, когда электроды находятся в жидкости — расплаве или растворе ионного вещества (рис. 26).

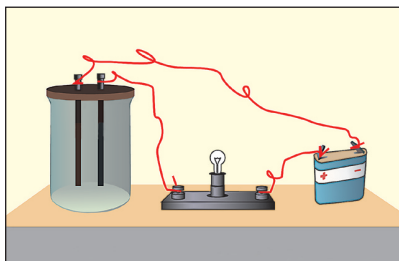


Рис. 25.
Прибор для исследования электропроводности веществ, растворов, расплавов



Рис. 26.
Обнаружение способности водных растворов и воды проводить электрический ток

Объясним результаты опытов.

В твердом веществе ионы соединены друг с другом. Поэтому вещество не проводит электрический ток. В жидкости (расплаве, растворе) ионы движутся хаотически (рис. 27). Если в нее погрузить электроды, соединенные с источником

¹ Электродом может служить стержень или пластина из электропроводящего материала — металла или графита.

постоянного тока, движение ионов станет направленным. Положительно заряженные ионы (катионы) будут перемещаться к отрицательно заряженному электроду (катоде), а отрицательно заряженные (анионы) — к положительно заряженному электроду (аноду) (рис. 28).

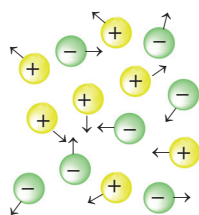


Рис. 27.
Хаотическое движение ионов в расплаве или растворе ионного соединения

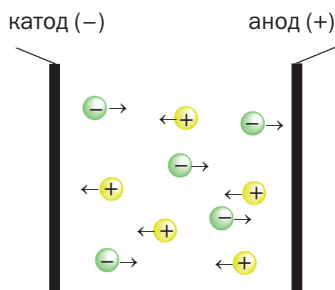


Рис. 28.
Направленное движение ионов к электродам в расплаве или растворе ионного соединения

Электропроводными являются не только расплавы и водные растворы ионных веществ, но и водные растворы некоторых молекулярных веществ — кислот. Причина состоит в том, что во время растворения кислоты в воде часть ее молекул разрушается с образованием ионов. Этот процесс рассмотрим в следующем параграфе.

Соединения, водные растворы и расплавы которых проводят электрический ток, называют *электролитами*¹.

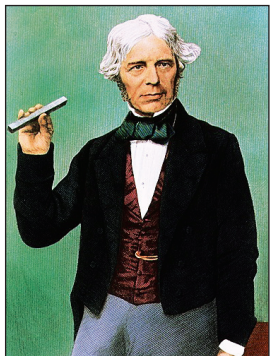
Электролиты
(в водном растворе):
соли,
щелочи,
кислоты

Общее название веществ, растворы и расплавы которых не проводят ток, — *неэлектролиты*. К ним относятся многие молекулярные вещества, а также все вещества атомного строения.

Значительный вклад в исследование электропроводности водных растворов сделал в начале XIX в. английский ученый Майкл Фарадей.

¹ Термин происходит от греческого слова *lytos* — разлагаемый.

Майкл Фарадей
(1791—1867)



Выдающийся английский физик и химик, член Лондонского королевского общества (Английской академии наук), почетный член Петербургской академии наук. Открыл законы, устанавливающие зависимость между количеством электричества и массами веществ, разлагающихся или образующихся при действии электрического тока (1833—1834). Усовершенствовал способ сжижения газов и получил в жидком состоянии хлор, сероводород, аммиак, карбон(IV) оксид, nitrogen(IV) оксид. Одним из первых начал изучать реакции, происходящие в присутствии катализаторов. Выполнил фундаментальные исследования по электричеству, магнетизму, сделал немало открытий в физике. Не имел высшего образования.

Электролиты
(в расплавленном состоянии):
соли, щелочи, ионные оксиды

То, что ионы в растворе движутся к электродам, соединенным с батареей, можно доказать с помощью такого эксперимента. Лист фильтровальной бумаги помещают на стеклянную или полимерную пластину и смачивают бесцветным раствором электролита (например, натрий хлорида). Затем в центр листа наносят несколько капель раствора соли, которая содержит окрашенные катионы (купрум(II) сульфат CuSO_4 , никель(II) сульфат NiSO_4 , кобальт нитрат $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$, феррум(III) хлорид FeCl_3) или анионы (калий перманганат KMnO_4 , калий дихромат $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$). На бумагу с обеих сторон от центра кладут два электрода и соединяют их проволочками с батареей (рис. 29). Цветное пятно начинает смещаться к одному из электродов.

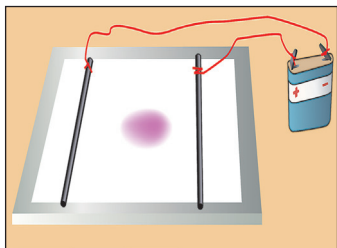


Рис. 29.
Опыт по обнаружению движения ионов в растворе к электродам

► К какому электроду — положительно или отрицательно заряженному —

будут перемещаться катионы Cu^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Fe^{3+} , анионы MnO_4^- , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$?

ВЫВОДЫ

Соединения, водные растворы и расплавы которых проводят электрический ток, называют электролитами. К электролитам относятся все ионные вещества — щелочи, соли, основные и амфотерные оксиды, а также часть молекулярных веществ — кислоты (они проводят ток только в водном растворе). Другие вещества являются неэлектролитами.



61. Какие вещества в твердом состоянии проводят электрический ток? Назовите частицы, которые обуславливают электропроводность этих веществ.
62. Какие вещества называют электролитами? Приведите несколько примеров.
63. Объясните, почему водный раствор натрия хлорида проводит электрический ток.
64. Назовите все классы соединений, которые являются электролитами:
 - а) только в водных растворах;
 - б) в водных растворах и в жидком (расплавленном) состоянии.
65. Водопроводная вода, в отличие от дистиллированной, проводит электрический ток. Как это объяснить?
66. Электропроводность какой воды выше — морской или речной? Почему?
67. В списке веществ укажите те, которые проводят электрический ток в жидком (расплавленном) состоянии: барий оксид, сера, хлороводород, магний хлорид, калий гидроксид, сера(VI) оксид. Объясните свой выбор.
68. Рассчитайте суммарное число ионов:
 - а) в 11,7 г натрия хлорида;
 - б) в 20,4 г алюминия оксида;
 - в) в 41 г кальция нитрата.

8

Электролитическая диссоциация

Материал параграфа поможет вам:

- выяснить, какой процесс называют электролитической диссоциацией;
- понять, как образуются ионы в растворах кислот;
- узнать о ступенчатой диссоциации кислот;
- выяснить причину изменения окраски индикаторов в водных растворах кислот и щелочей.

Способность растворов или расплавов некоторых веществ проводить электрический ток обусловлена наличием ионов в этих жидкостях.

Распад вещества на ионы при его растворении или плавлении называют *электролитической диссоциацией*¹.

Теорию электролитической диссоциации веществ в растворах создал шведский ученый Сванте-Август Аррениус в 1887 году.

Вы уже знаете, что вещества, которые распадаются в растворе или расплаве на ионы, называют электролитами. Среди них есть соединения ионного и молекулярного строения.

Электролитическая диссоциация ионных веществ. О сути процесса растворения ионного вещества в воде шла речь в § 4. Молекулы воды благодаря электростатическому взаимодействию с ионами, расположенными на поверхности кристаллов, постепенно извлекают эти частицы из вещества (рис. 12). Кристаллы разрушаются, вещество растворяется. Оставаясь соединенными с молекулами воды, катионы и анионы электролита вместе с другими молекулами воды образуют раствор.

Электролитическую диссоциацию вещества, как и химическую реакцию, можно отобразить

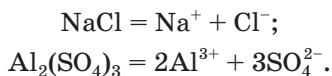
¹ Термин происходит от латинского слова dissociatio — разъединение.

Сванте-Август Аррениус
(1859—1927)



Выдающийся шведский ученый, академик Королевской академии наук Швеции, почетный член Петербургской академии, академий наук СССР и многих других стран. Один из основателей физической химии. Сделал значительный вклад в исследования растворов и химических реакций. Автор теории электролитической диссоциации (1887), за создание которой ученому была присуждена Нобелевская премия (1903). Объяснил зависимость скорости реакции от температуры, выдвинув представление об «активных молекулах» (1889). Математическая формула этой зависимости названа уравнением Аррениуса. Автор многих научных работ по химии, биологии, геологии, физике.

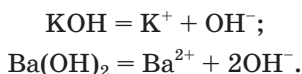
с помощью химического уравнения. Запишем уравнения электролитической диссоциации натрия хлорида и алюминия сульфата в водном растворе:



Водные растворы солей содержат ионы, из которых состоят эти вещества.

Соли — электролиты, которые диссоциируют в водных растворах или расплавах на катионы металлических элементов и анионы кислотных остатков.

В водных растворах щелочей содержатся катионы металлических элементов и гидроксид-ионы OH^- . Уравнения электролитической диссоциации калий гидроксида и барий гидроксида:



Основания — электролиты, которые диссоциируют в водных растворах или расплавах с образованием анионов одного типа — гидроксид-ионов OH^- .

ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ № 5

Обнаружение гидроксид-ионов в растворах щелочей с помощью индикатора

В двух пробирках находятся разбавленные растворы натрия гидроксида и барий гидроксида. Нанесите с помощью пипетки или стеклянной палочки каплю раствора из каждой пробирки на полоску универсальной индикаторной бумаги¹. Что наблюдаете? Сделайте соответствующий вывод.

Наличие гидроксид-ионов в водных растворах щелочей обуславливает общие химические свойства этих соединений. Так, щелочи одинаково действуют на определенный индикатор: фенолфталеин окрашивается в малиновый цвет, метилоранж — в желтый, лакмус — в синий, универсальный индикатор — в сине-зеленый. Таким образом, с помощью индикатора можно обнаружить в водном растворе щелочи ионы OH^- , но не само вещество.

Нерастворимые основания на индикаторы не действуют.

В химии часто используют словосочетание «щелочная среда». Оно указывает на присутствие в растворе гидроксид-ионов.

Электролитическая диссоциация молекулярных веществ. В электролитах молекулярного строения — кислотах — ионы отсутствуют. Они образуются только при растворении веществ в воде.

Рассмотрим, как происходит этот процесс в водном растворе хлороводорода HCl — хлоридной кислоте.

В молекуле HCl существует полярная ковалентная связь. Общая электронная пара смещена к более электроотрицательному атому Хлора ($\text{H}:\text{Cl}$). На атоме Хлора сосредотачивается небольшой отрицательный заряд (δ^-), а на атоме

¹ Учитель может предложить другой индикатор.

Это интересно

Заряд на атоме
Водорода в
молекуле HCl
равен +0,2,
а на атоме
Хлора -0,2.

Водорода — положительный заряд (δ^+). Таким образом, молекула хлороводорода является диполем: $\overset{\delta^+}{\text{H}}-\overset{\delta^-}{\text{Cl}}$.

При растворении хлороводорода молекулы HCl и H_2O притягиваются друг к другу своими противоположно заряженными частями (рис. 30). Вследствие этого ковалентные связи во многих молекулах HCl разрываются, и они распадаются, но не на атомы, а на ионы. Общая электронная пара, которая была смещена к атому Хлора, при разрушении молекулы HCl переходит в его «собственность»; атом Хлора превращается в ион Cl^- . Атом Водорода теряет свой единственный электрон и становится ионом H^+ . Образовавшиеся ионы остаются окруженными молекулами воды, т. е. гидратированными.

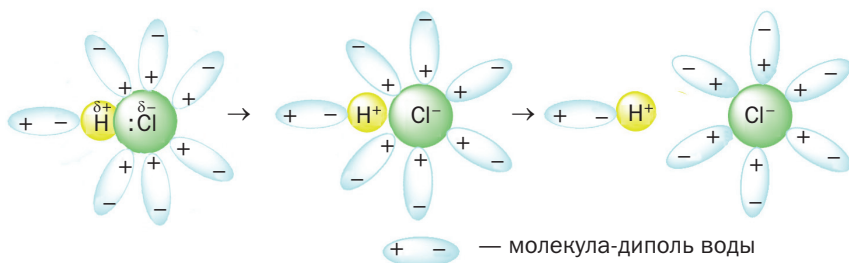


Рис. 30.

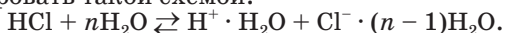
Образование ионов из молекулы HCl в водном растворе

Некоторые ионы H^+ и Cl^- вследствие электростатического притяжения снова соединяются в молекулы. Поэтому уравнение электролитической диссоциации хлороводорода в водном растворе имеет такой вид¹:



Знак обратимости $\rightleftharpoons$ указывает на одновременное протекание двух процессов — прямого (слева направо) и обратного (справа налево). Эти процессы при неизменных концентрации раство-

¹ Участие воды в процессе электролитической диссоциации можно проиллюстрировать такой схемой:



ра и температуре происходят с одинаковой скоростью. Поэтому число молекул и ионов в растворе со временем не изменяется.

В хлоридной кислоте и водных растворах других кислот содержатся, кроме молекул воды, катионы Гидрогена H^+ , анионы кислотных остатков, а также молекулы кислот.

Кислоты — электролиты, которые диссоциируют в водных растворах с образованием катионов одного типа — ионов Гидрогена H^+ .

Наличие ионов H^+ в водных растворах обуславливает общие химические свойства кислот, например, одинаковое действие на индикатор.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ № 6 Обнаружение катионов Гидрогена в растворах кислот с помощью индикатора

В двух пробирках находятся разбавленные хлоридная и сульфатная кислоты. Нанесите с помощью пипетки или стеклянной палочки каплю раствора из каждой пробирки на полоску универсальной индикаторной бумаги¹. Что наблюдаете? Сделайте соответствующий вывод.

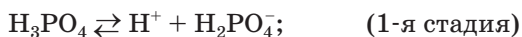
Таким образом, с помощью индикатора можно обнаружить в водном растворе ионы H^+ , но не определенную кислоту.

Нерастворимые кислоты на индикаторы не действуют.

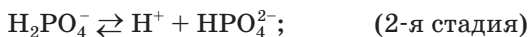
Выражение «кислая среда» означает, что в растворе присутствуют катионы Гидрогена.

Диссоциация многоосновных кислот имеет ступенчатый характер; она происходит в несколько стадий. Рассмотрим этот процесс на примере трехосновной ортофосфатной кислоты H_3PO_4 . Молекула этой кислоты содержит три атома Гидрогена. Сначала от молекулы отделяется один из них, превращаясь в ион H^+ :

¹ Учитель может предложить другой индикатор.



затем, уже от иона H_2PO_4^- , — второй:



и, наконец, — третий (от иона HPO_4^{2-}):



Обратите внимание: заряд иона в левой части второго (или третьего) уравнения равен сумме зарядов ионов в правой части.

На каждой стадии диссоциирует только часть молекул или ионов. Водный раствор ортофосфатной кислоты содержит, кроме молекул воды, молекулы H_3PO_4 , катионы Гидрогена и различное количество анионов трех видов.

► Из скольких стадий состоит процесс диссоциации сульфатной кислоты? Напишите соответствующие уравнения.

Щелочи и соли, в отличие от кислот, диссоциируют не ступенчато $[\text{Ba}(\text{OH})_2 \rightleftharpoons \text{BaOH}^+ + \text{OH}^-; \text{BaOH}^+ \rightleftharpoons \text{Ba}^{2+} + \text{OH}^-]$, а в одну стадию и полностью:



В раствор переходят ионы, из которых состоят эти соединения.

Названия ионов. Название каждого иона состоит из двух слов.

Почти все катионы являются простыми (одноатомными)¹. Их образуют металлические элементы, а также Гидроген. Первое слово в названии катиона — «ион» (или «катион»), а второе — название элемента в родительном падеже:

Na^+ — ион Натрия;

H^+ — катион Гидрогена²;

Fe^{3+} — ион Феррума(III).

¹ Существуют и сложные катионы, например ион аммония NH_4^+ .

² Название «ион Гидрогена» неоднозначно, так как Гидроген — единственный элемент, образующий и катион, и анион. В то же время название «ион Натрия» соответствует только катиону; Натрий как металлический элемент анионов не образует.

Это интересно

Известны простые анионы, содержащие по два или три одинаковых атома, — O_2^{2-} , S_2^{2-} , N_3^- .
Примеры соответствующих ионных соединений: BaO_2 , Na_2S_2 , $Pb(N_3)_2$.

Анионы бывают простыми и сложными. Простые анионы образуют только неметаллические элементы. Один из вариантов составления названия простого аниона — такой же, как и для катиона:

Cl^- — ион Хлора; H^- — анион Гидрогена.

В другом варианте первое слово названия аниона состоит из корня названия элемента и суффикса «ид»; второе слово «ион» пишут после дефиса:

Cl^- — хлорид-ион; H^- — гидрид-ион;

O^{2-} — оксид-ион; S^{2-} — сульфид-ион.

Названия сложных (многоатомных) анионов происходят от химических названий соответствующих кислот:

SO_3^{2-} — сульфит-ион;

$H_2PO_4^-$ — дигидрогенортофосфат-ион.

Название аниона OH^- — гидроксид-ион.

Выводы

Распад вещества на ионы при его растворении или плавлении называют электролитической диссоциацией. В случае растворения ионного вещества (щелочи, соли) этот процесс заключается в переходе ионов из вещества в раствор. Электролитическая диссоциация молекулярного вещества (кислоты) происходит вследствие распада молекул на ионы.

Соли диссоциируют на катионы металлических элементов и анионы кислотных остатков, основания — с образованием гидроксид-ионов, а кислоты — с образованием катионов Гидрогена.

Не все молекулы кислоты распадаются в растворе на ионы. Электролитическая диссоциация многоосновных кислот происходит в несколько стадий.

Индикаторы обнаруживают в растворе ионы OH^- и H^+ , но не конкретное вещество — щелочь или кислоту.



69. Дайте определение соли, щелочи и кислоты как электролитов.
70. Могут ли быть электролитами простые вещества? Ответ обоснуйте.
71. Составьте формулу соли и запишите уравнение ее электролитической диссоциации, если в растворе соединения присутствуют такие ионы: а) K^+ и CO_3^{2-} ; б) Fe^{3+} и NO_3^- ; в) Mg^{2+} и Cl^- .
72. Запишите уравнения электролитической диссоциации в водном растворе соединений с такими формулами: $LiOH$, HNO_3 , $CuSO_4$, Na_2S , K_3PO_4 . Назовите ионы, которые образуются при диссоциации каждого соединения.
73. Какая кислота диссоциирует ступенчато — HBr , H_2S или HNO_2 ? Напишите уравнения ее электролитической диссоциации.
74. Почему, на ваш взгляд, кальций хлорид диссоциирует в одну стадию и полностью ($CaCl_2 = Ca^{2+} + 2Cl^-$), а не ступенчато — в две стадии?
75. Рассчитайте число катионов и число анионов в растворе, содержащем 2,9 г калий сульфата.
76. По данным химического анализа в 1 л минеральной воды содержится 60 мг ионов Ca^{2+} и 36 мг ионов Mg^{2+} . Сопоставьте количества этих ионов (попробуйте это сделать на основании устных вычислений) и выберите правильный ответ:
- а) ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} — одинаковое количество;
 - б) ионов Ca^{2+} больше, чем ионов Mg^{2+} ;
 - в) ионов Mg^{2+} больше, чем ионов Ca^{2+} .
77. Газ хлороводород объемом 560 мл (н. у.) растворили в 100 мл воды. Предположив, что соединение диссоциирует полностью, рассчитайте массовые доли ионов в растворе.
78. В 800 г воды растворили 1 моль натрия сульфата и 2 моль натрия гидроксида. Вычислите массовую долю каждого иона в растворе.

9

Степень электролитической диссоциации. Вода как электролит

Материал параграфа поможет вам:

- выяснить, что называют степенью электролитической диссоциации;
- понять, как происходит электролитическая диссоциация воды.

Степень электролитической диссоциации. Ионные вещества диссоциируют в водном растворе полностью, а молекулярные — частично. Во втором случае для количественной характеристики этого процесса используют величину, которую называют *степенью электролитической диссоциации*. (Для упрощения второе слово в названии термина далее указывать не будем.)

Степень диссоциации — это отношение числа молекул электролита, распавшихся на ионы, к общему числу его молекул до диссоциации.

Степень диссоциации обозначают греческой буквой α (альфа). Эту физическую величину выражают долей от единицы или в процентах:

$$\alpha = \frac{N(\text{дис.})}{N(\text{общ.})}; \quad \alpha = \frac{N(\text{дис.})}{N(\text{общ.})} \cdot 100 \, \%.$$

В приведенных формулах $N(\text{дис.})$ — число молекул электролита, распавшихся на ионы; $N(\text{общ.})$ — число молекул электролита до диссоциации.

Интервалы значений степени диссоциации:

$$0 < \alpha < 1, \text{ или } 0 \, \% < \alpha < 100 \, \%.$$

► Чему равна степень диссоциации фторидной кислоты в растворе, если из каждых восьми молекул HF одна распалась на ионы?

В приведенных выше формулах число продиссоциировавших молекул можно заменить числом образовавшихся катионов или анионов. Учитывая, например, что каждая молекула нитратной кислоты при диссоциации дает один ион H^+ и один ион NO_3^-



получаем:

$$\alpha(\text{HNO}_3) = \frac{N(\text{дис.})}{N(\text{общ.})} = \frac{N(\text{H}^+)}{N(\text{общ.})} = \frac{N(\text{NO}_3^-)}{N(\text{общ.})}.$$

В формулу для степени диссоциации можно записать и количество вещества электролита (то, которое продиссоциировало, — в числителе, и общее, т. е. до диссоциации, — в знаменателе):

$$\alpha = \frac{n(\text{дис.})}{n(\text{общ.})} (\cdot 100 \%).$$

► Обоснуйте эту формулу.

ЗАДАЧА. В растворе кислоты HA на каждую пару ионов H^+ и A^- приходится четыре молекулы соединения. Вычислить степень диссоциации кислоты.

Дано:

$$N(\text{H}^+) = N(\text{A}^-) = 1$$

$$N(\text{HA}) = 4$$

$$\alpha(\text{HA}) = ?$$

Решение

Пара ионов (H^+ и A^-) образовалась из одной молекулы кислоты:



Значит, до диссоциации молекул кислоты HA было

$$4 + 1 = 5.$$

Вычисляем степень диссоциации кислоты:

$$\alpha(\text{HA}) = \frac{N(\text{дис.})}{N(\text{общ.})} = \frac{1}{5} = 0,2,$$

$$\text{или } 0,2 \cdot 100 \% = 20 \%.$$

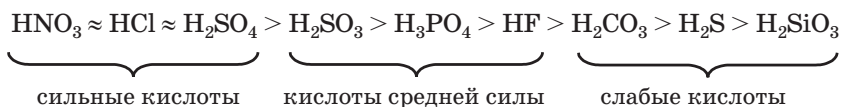
Ответ: $\alpha(\text{HA}) = 0,2$, или 20 %.

Слабые и сильные электролиты. Если значение степени диссоциации равно, например, 0,01 или 0,001 (1 % или 0,1 %), то соединение незначительно распадается на ионы в растворе. Его называют *слабым электролитом*. Если же значение α приближается к единице, или к 100 % (составляет, скажем, 90 % или 99 %), то соединение почти полностью диссоциирует. Это — *сильный электролит*.

Вам известно, что ионные вещества — щелочи и соли — находятся в растворах только в виде соответствующих ионов. Для этих соединений $\alpha = 1$ (100 %), и все они относятся к сильным электролитам.

Что касается кислот (молекулярных веществ), то некоторые из них распадаются на ионы в растворах почти полностью, а другие — незначительно. Первые называют *сильными кислотами*, вторые — *слабыми*. Существуют и *кислоты средней силы*.

Приводим примеры важнейших кислот каждого типа; их формулы записаны в порядке уменьшения степени диссоциации соединений в растворах (см. также форзац II):



В 8 классе мы назвали сильными кислотами те, которые активно взаимодействуют со многими веществами. Теперь вы знаете, что в растворах таких кислот содержится наибольшее количество катионов Гидрогена. Значит, *химическая активность кислоты зависит от количества ионов H^+ в ее растворе*.

В предыдущем параграфе отмечалось, что многоосновные кислоты диссоциируют в несколько стадий. Каждую стадию можно охарактеризовать соответствующей степенью диссоциации:



Кислота диссоциирует по первой стадии полнее, чем по второй: $\alpha_1 > \alpha_2$. Это обусловлено двумя причинами:

- иону H^+ легче отделиться от электронейтральной частицы — молекулы H_2SO_4 (1-я стадия диссоциации), чем от противоположно заряженной — иона HSO_4^- (2-я стадия);
- двухзарядный ион SO_4^{2-} прочнее соединяется с катионом H^+ (это уменьшает диссоциацию по 2-й стадии), чем однозарядный ион HSO_4^- .

Вода как электролит. Результаты опытов свидетельствуют о том, что чистая вода (например, дистиллированная, в которой нет растворенных электролитов) имеет чрезвычайно низкую электропроводимость. Это объясняется наличием в воде ничтожно малого количества ионов H^+ и OH^- . Такие ионы образуются вследствие разрыва одной из полярных ковалентных связей в молекуле H_2O (§ 1).

Итак, вода — очень слабый электролит. Она диссоциирует согласно уравнению



Ученые выяснили, что при температуре 25 °C только одна молекула воды из каждых 555 миллионов молекул распадается на ионы. Степень электролитической диссоциации воды составляет

$$\alpha(\text{H}_2\text{O}) = \frac{1}{555\,000\,000} \approx 1,8 \cdot 10^{-9}, \text{ или } 1,8 \cdot 10^{-7} \, \%.$$

ВЫВОДЫ

Степень диссоциации — это отношение числа молекул электролита, распавшихся на ионы, к общему числу его молекул. Степень диссоциации также выражают в процентах.

Если электролит распадается на ионы в незначительной мере, его называют слабым, а если полностью или почти полностью, — сильным. Среди кислот имеются электролиты всех типов, а щелочи и соли являются сильными электролитами, поскольку состоят из ионов.

Вода — очень слабый электролит.



79. Что такое степень электролитической диссоциации? На какие группы делят электролиты в зависимости от значений этой физической величины?
80. Среди приведенных слов и словосочетания выберите то, которое пропущено в предложении «Вещества, состоящие из ионов, проявляют свойства ... электролитов»:
 - а) сильных;
 - б) слабых;
 - в) как сильных, так и слабых.
81. Среди приведенных слов и словосочетаний выберите то, которым следует закончить предложение «Вещества, проявляющие в водных растворах свойства сильных электролитов, состоят из ... »:
 - а) ионов;
 - б) молекул;
 - в) ионов, а иногда — из молекул;
 - г) молекул, а иногда — из ионов.

82. Запишите различные математические выражения для расчета степени диссоциации хлоридной кислоты.
83. Вычислите степень диссоциации кислоты HA , если известно, что в ее растворе из каждых 20 молекул не распались на ионы 13 молекул.
84. Раствор нитритной кислоты HNO_2 содержит столько молекул кислоты, сколько и всех ионов. Какова степень диссоциации соединения?
85. Степень диссоциации цианидной кислоты HCN в растворе составляет 0,2 %. Сколько молекул кислоты, которые не подверглись диссоциации, приходится в растворе на одну пару ионов H^+ и CN^- ?
86. Каких частиц растворенного вещества в водном растворе сульфатной кислоты больше всего, а каких — меньше всего: молекул H_2SO_4 , ионов SO_4^{2-} , HSO_4^- , H^+ ? Ответ обоснуйте.
87. Рассчитайте число ионов H^+ и число ионов OH^- в капле воды объемом 0,1 мл.
88. Вычислите массовые доли ионов H^+ и ионов OH^- в воде.

10

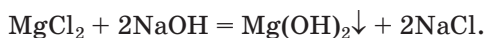
Ионно-молекулярные уравнения. Реакции обмена между электролитами в растворе

Материал параграфа поможет вам:

- выяснить, какие химические уравнения называют ионно-молекулярными;
- составлять ионно-молекулярные уравнения;
- прогнозировать возможность протекания реакции обмена.

Ионно-молекулярные уравнения. Уравнения реакций с участием растворов электролитов — щелочей, кислот, солей, которые вы составляли в 8 классе, не передают сути химических превращений, поскольку в них записаны формулы веществ, а не формулы ионов.

Что же происходит на самом деле при взаимодействии электролитов в растворе? Выясним это, рассмотрев реакцию между растворами магний хлорида MgCl_2 и натрия гидроксида NaOH :



Раствор исходной соли содержит катионы Магния и анионы Хлора



а раствор щелочи — катионы Натрия и гидроксид-ионы:

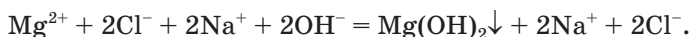


В результате реакции ионы Mg^{2+} и OH^- , соединяясь, образуют осадок малорастворимого основания $\text{Mg}(\text{OH})_2$, а ионы Na^+ и Cl^- остаются в растворе.

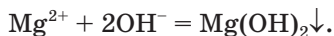
Изменим приведенное выше химическое уравнение с учетом состояния (диссоциированного, недиссоциированного) каждого реагента и продукта. Вместо формул обоих реагентов записываем формулы ионов, находившихся в растворах соединений до реакции, вместе с соответствующими коэффициентами (учитываем индекс 2 в формуле соли Магния и коэффициент 2 перед формулой щелочи):



В правой части уравнения оставляем формулу $\text{Mg}(\text{OH})_2$, а вместо формулы натрия хлорида записываем формулы соответствующих ионов с учетом коэффициента 2, который был в предыдущем уравнении:



В обеих частях нового уравнения имеются одинаковые ионы — Na^+ и Cl^- , причем каждый — в одинаковом количестве. Изъяв их, получаем запись, которую называют *ионно-молекулярным уравнением*¹:



Ионно-молекулярное уравнение — это уравнение, содержащее формулы веществ и формулы ионов.

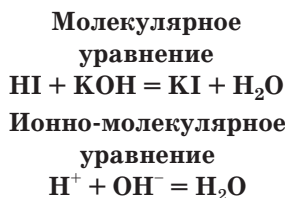
Ионно-молекулярное уравнение указывает на то, что именно происходит при химическом пре-

¹ Иногда используют сокращенный термин — «ионное уравнение».

вращении, какие частицы взаимодействуют в растворе и какие образуются. При составлении такого уравнения каждое вещество представляют в той форме (диссоциированной, недиссоциированной), которая преобладает в реакционной смеси или является в ней единственно возможной.

При составлении ионно-молекулярного уравнения придерживаются такой последовательности действий:

1. Записывают «обычное» химическое уравнение (его называют молекулярным¹).
2. По таблице растворимости определяют, какие реагенты и продукты реакции растворяются в воде, а какие — не растворяются.
3. Выясняют, какие реагенты и продукты реакции являются сильными электролитами, а какие — слабыми электролитами или неэлектролитами.
4. В молекулярном уравнении формулы растворимых сильных электролитов заменяют формулами соответствующих ионов, учитывая при этом индексы и коэффициенты. Сначала записывают катионы, затем — анионы.
5. Из обеих частей полученного уравнения удаляют одинаковые ионы (в случае их наличия) в одинаковых количествах.
6. Если все коэффициенты окажутся кратными, их делят на соответствующее число.



► Составьте ионно-молекулярное уравнение реакции между барий нитратом и натрий карбонатом в растворе.

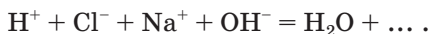
Теперь рассмотрим, как выполняют обратное задание. Составим молекулярное уравнение, которое отвечает ионно-молекулярному уравнению



¹ Такое название условное, поскольку молекул оснований и солей не существует; это — ионные вещества.

В левой части уравнения записаны только формулы ионов. Значит, соединения, которые взаимодействуют, должны быть растворимыми и сильными электролитами.

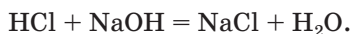
Ионы H^+ образуются в растворе при диссоциации сильной кислоты (например, $\text{HCl} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{Cl}^-$), а ионы OH^- — при диссоциации щелочи (например, $\text{NaOH} = \text{Na}^+ + \text{OH}^-$). Выбрав в качестве реагентов хлоридную кислоту и натрий гидроксид, допишем в левую часть ионно-молекулярного уравнения ионы Cl^- и Na^+ :



Ионы H^+ и OH^- соединяются в молекулы слабого электролита — воды, а ионы Na^+ и Cl^- остаются в растворе. Допишем их в правую часть уравнения:

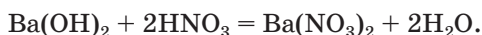
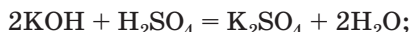


«Соединив» ионы в формулы соответствующих веществ, получаем молекулярное уравнение:



Таким образом, чтобы составить молекулярное уравнение к данному ионно-молекулярному уравнению, необходимо заменить каждый ион формулой соответствующего сильного и растворимого электролита, а затем дописать формулы других реагентов (продуктов) — растворимых сильных электролитов.

Очевидно, что ионно-молекулярному уравнению $\text{H}^+ + \text{OH}^- = \text{H}_2\text{O}$ отвечают несколько молекулярных уравнений, так как реагентами могут быть другие щелочи и сильные кислоты. Среди этих уравнений есть и такие:

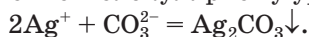


Отметим, что пара реагентов $\text{Ba}(\text{OH})_2$ и H_2SO_4 не удовлетворяет условию задачи. Хотя барий гидроксид и сульфатная кислота — растворимые и сильные электролиты, однако при их взаимодействии образуется нерастворимая соль BaSO_4 , формула которой должна быть в правой части ионно-молекулярного уравнения.

Это интересно

В некоторых ионно-молекулярных уравнениях (например, $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+ = \text{HCO}_3^-$) имеются лишь формулы ионов. Такие уравнения можно называть ионными.

- Составьте молекулярное уравнение, которое отвечает ионно-молекулярному уравнению



Реакции обмена между электролитами в растворе. Рассмотренные в параграфе реакции относятся к реакциям обмена. В них соединения обмениваются своими составляющими — ионами.

Не все реакции обмена возможны. В 8 классе вы узнали, что реакция такого типа происходит, если ее продукт является малорастворимым, нерастворимым (он выделяется в виде осадка), газом или слабой кислотой. Теперь добавим, что реакция происходит и тогда, когда образуется слабый электролит, в том числе вода.

Таким образом, для выяснения возможности реакции обмена нужно иметь сведения о растворимости и силе электролитов. Напоминаем, что ряд кислот по их способности к диссоциации размещен на форзаце II. Необходимо также знать, что фторидная кислота HF, хлоридная HCl, иодидная HI, сульфидная H₂S, нитратная HNO₃ — летучие кислоты, а карбонатная H₂CO₃ и сульфитная H₂SO₃ — неустойчивые.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ № 7

Реакция обмена с образованием осадка

В пробирку налейте немного раствора феррум(III) хлорида и добавьте такой же объем раствора натрий гидроксид. Что наблюдаете?

Составьте молекулярное и ионно-молекулярное уравнения.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ № 8

Реакция обмена с выделением газа

В пробирку налейте немного раствора натрий карбоната и добавляйте к нему небольшими порциями разбавленную нитратную кислоту. Что происходит?

Составьте молекулярное и ионно-молекулярное уравнения.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ № 9

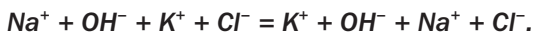
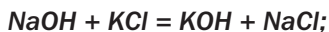
Реакция обмена с образованием воды

В пробирку налейте 1 мл раствора натрий гидроксида, внесите 1 каплю раствора фенолфталеина и добавляйте небольшими порциями с помощью пипетки разбавленную нитратную кислоту, пока не исчезнет окраска индикатора. Содержимое пробирки периодически перемешивайте стеклянной палочкой или встряхиванием.

Объясните результаты наблюдений. Составьте молекулярное и ионно-молекулярное уравнения.

Обратите внимание на ионно-молекулярные уравнения, приведенные в параграфе и составленные вами после выполнения опытов. Каждое из них указывает на то, что *в результате реакции обмена количество ионов в растворе уменьшается*.

Рассмотрим случай, когда реакция обмена между электролитами не происходит. Если слить, например, растворы натрий гидроксида (щелочь) и калий хлорида (соль), то никаких изменений или внешних эффектов не заметим. Раствор останется бесцветным; из него не будут выделяться ни осадок, ни газ. Составляя ионно-молекулярное уравнение, обнаружим, что его левая и правая части одинаковы:



Полученный раствор содержит все ионы, которые были в растворах натрий гидроксида и калий хлорида. Следовательно, реакция между этими соединениями не происходит.

Изложенный выше материал касается реакций обмена, в которых оба реагента — растворимые и сильные электролиты. Если же, например, исходная соль нерастворима или исходная кислота — слабая, то вывод о возможности реакции делают после проведения соответствующего химического эксперимента.

ВЫВОДЫ

Суть реакции, происходящей между электролитами в растворе, передает ионно-молекулярное уравнение; оно содержит формулы веществ и формулы ионов.

Ионно-молекулярное уравнение составляют, представляя растворимые сильные электролиты в диссоциированной форме, т. е. записывая формулы соответствующих ионов, а остальные вещества — в недиссоциированной форме.

Реакция обмена между электролитами в растворе происходит тогда, когда среди ее возможных продуктов имеется нерастворимое либо малорастворимое соединение, газ или слабый электролит.

В результате реакции обмена количество ионов в растворе уменьшается.



89. Чем отличается ионно-молекулярное уравнение от молекулярного?
90. В каких случаях реакция обмена происходит?
91. Какие ионы не могут одновременно находиться в водном растворе:
- | | |
|--|---|
| а) SO_4^{2-} и Cl^- ; | г) Na^+ и Ba^{2+} ; |
| б) Ca^{2+} и PO_4^{3-} ; | д) Pb^{2+} и NO_3^- ? |
| в) Al^{3+} и OH^- ; | |
92. Укажите соединения, с которыми взаимодействует в водном растворе феррум(II) сульфат:
- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| а) хлоридная кислота; | г) барий нитрат; |
| б) калий гидроксид; | д) карбонатная кислота. |
| в) натрий сульфид; | |
93. Составьте ионно-молекулярные уравнения реакций, которые соответствуют таким молекулярным уравнениям:
- | |
|--|
| а) $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 + \text{Ba}(\text{OH})_2 = \text{Mn}(\text{OH})_2\downarrow + \text{Ba}(\text{NO}_3)_2$; |
| б) $\text{Na}_2\text{S} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{S}\uparrow$; |
| в) $2\text{KOH} + \text{CO}_2 = \text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$; |
| г) $\text{Ni}(\text{OH})_2 + 2\text{HCl} = \text{NiCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$. |
94. Составьте молекулярные уравнения, которые соответствуют таким ионно-молекулярным уравнениям:
- | |
|---|
| а) $\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- = \text{AgCl}\downarrow$; |
| б) $3\text{Pb}^{2+} + 2\text{PO}_4^{3-} = \text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2\downarrow$; |

95. Составьте ионно-молекулярные уравнения реакций, которые происходят в растворе между такими электролитами:
- а) феррум(III) нитратом и барий гидроксидом;
 - б) натрий фторидом и хлоридной кислотой;
 - в) литий гидроксидом и сульфатной кислотой.
96. Возможна ли реакция в водном растворе между соединениями с такими формулами:
- а) $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ и H_2S ;
 - б) LiOH и HBr ;
 - в) HCl и KNO_3 ;
 - г) K_2CO_3 и $\text{Ba}(\text{OH})_2$?

97. Подберите по две пары различных электролитов, которые реагируют в растворе с образованием:

- а) алюминий гидроксида;
- б) силикатной кислоты.

98. Составьте молекулярное и ионно-молекулярное уравнения реакции между растворами щелочи и соли, в результате которой образуются:

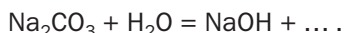
- а) нерастворимое основание и растворимая соль;
- б) щелочь и нерастворимая соль;
- в) нерастворимое основание и нерастворимая соль.

а) $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2 + \dots \rightarrow \text{HNO}_3 + \dots$; в) $\text{K}_2\text{CO}_3 + \dots \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + \dots$;
б) $\text{NiCl}_2 + \dots \rightarrow \text{Ni}(\text{OH})_2 \downarrow + \dots$; г) $\text{AlO}_2 + \dots \rightarrow \dots + \text{AlCl}_3 + \text{H}_2\text{O}$.

a) $\text{H}_3\text{PO}_4 + \dots = \text{PO}_4^{3-} + 3\text{H}_2\text{O}$; б) $\text{Cr}(\text{OH})_3 + \dots = \text{Cr}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O}$.

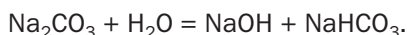
Если в раствор кальцинированной соды, или натрия карбоната, Na_2CO_3 добавить каплю раствора фенолфталеина, то появляется

малиновая окраска. Это указывает на наличие в растворе ионов OH^- . Поскольку в соли таких ионов нет, делаем вывод: натрий карбонат взаимодействует с водой, и одним из продуктов этой реакции является натрий гидроксид:

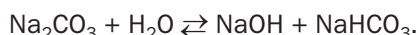


Можно предположить, что второй продукт — карбонатная кислота. Вы знаете, что эта кислота неустойчива и разлагается с образованием углекислого газа. Но выделения газа из раствора соды мы не наблюдаем. Значит, вторым продуктом реакции является другое вещество.

Простое сопоставление количества атомов каждого элемента в формулах двух реагентов и натрий гидроксида указывает на образование наряду со щелочью кислой соли¹ NaHCO_3 :



Известно, что с водой реагирует лишь незначительная часть соды. Одновременно происходит обратная реакция — между соединениями NaOH и NaHCO_3 (ее продукты — Na_2CO_3 и вода). Учитывая это, записываем в химическом уравнении знак $\rightleftharpoons$:



Рассмотренная реакция является реакцией обмена. Правда, обмен веществ своими частицами является неполным: лишь половина ионов Натрия в исходной соли обменивается на атомы Гидрогена.

Реакцию обмена между солью и водой называют реакцией гидролиза².

Установлено, что с водой могут взаимодействовать соли, образованные слабыми основаниями или слабыми кислотами (сода образована слабой карбонатной кислотой). Среду раствора соли обуславливает сильный электролит (в нашем случае — натрий гидроксид), от которого происходит соль; он образуется при ее гидролизе. Так, растворы солей K_2S , Na_2SiO_3 имеют щелочную среду, а растворы солей ZnCl_2 , CuSO_4 — кислую.

Теперь вы сможете объяснить, почему в клетках таблицы растворимости, которые отвечают некоторым солям, имеются обозначения #. Каждая из этих солей происходит от слабого основания и слабой кислоты и поэтому подвергается полному гидролизу:



¹ Кислая соль — продукт неполного замещения атомов Гидрогена в молекуле кислоты на атомы (точнее, ионы) металлического элемента.

² Термин происходит от греческих слов *hydor* — вода и *lysis* — разложение.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

Реакции ионного обмена в растворах электролитов

Вам выданы растворы магний нитрата, калий карбоната, натрий гидроксида и разбавленная сульфатная кислота.

Воспользовавшись таблицей растворимости и рядом кислот по силе (см. форзац II учебника), выясните, какие реакции будут происходить в растворе:

- а) между двумя солями;
- б) между солью и щелочью;
- в) между солью и кислотой.

Осуществите эти реакции, а также реакцию щелочи с кислотой.

Запишите в клетках представленной ниже таблицы формулы реагентов и одного из продуктов каждой реакции, свойства которого делают возможным ее протекание. После формул продуктов поставьте стрелки ↓ (если в результате реакции соединение выпадает в осадок), ↑ (если оно выделяется в виде газа), пометку «сл.» (если вещество — слабый электролит).

Реагенты	... (соль 1)	... (соль 2)	... (щелочь)	... (кислота)
... (соль 1)	—			
... (соль 2)		—		
... (щелочь)			—	

Напишите молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций.

Объясните, почему реакции обмена с участием некоторых выданных растворов не происходят.



101. Какую реакцию, которая в практической работе не происходит, можно осуществить в других условиях? Укажите эти условия, напишите химическое уравнение и дайте названия продуктам реакции.

102. Какими были бы результаты практической работы, если бы вместо раствора натрий гидроксида был выдан раствор барий гидроксида? Заполните соответствующую таблицу и составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

Распознавание неорганических соединений

Вам выданы раствор натрий гидроксида, разбавленная сульфатная кислота, а также промывалка с водой, штатив с пробирками, стеклянные палочки.

ВАРИАНТ I

Задание 1. Распознавание твердых соединений.

В трех произвольно пронумерованных пробирках находятся белые порошки калий нитрата, натрий карбоната и кальций карбоната. Установите содержимое каждой пробирки.

Задание 2. Распознавание растворов соединений.

В трех произвольно пронумерованных пробирках содержатся бесцветные растворы натрий хлорида, магний хлорида и цинк сульфата. Установите содержимое каждой пробирки.

ВАРИАНТ II

Задание 1. Распознавание твердых соединений.

В трех произвольно пронумерованных пробирках содержатся белые порошки натрий нитрата, магний карбоната и барий сульфата. Установите содержимое каждой пробирки.

Задание 2. Распознавание растворов соединений.

В трех произвольно пронумерованных пробирках содержатся бесцветные растворы калий нитрата, барий хлорида и алюминий нитрата. Установите содержимое каждой пробирки.

Результаты эксперимента по заданию 1 запишите в таблицу:

№ пробирки	Растворимость вещества в воде	Формула реактива	Наблюдения	Вывод (формула вещества)
Уравнение реакции (в молекулярной и ионно-молекулярной формах):				

Результаты эксперимента по заданию 2 запишите в таблицу:

№ про- бирки	Формула реактива 1	Наблю- дения	Формула реактива 2 или реактива 1, взятого в избытке	Наблю- дения	Вывод (формула вещества)

Уравнения реакций (в молекулярной и ионно-молекулярной формах):

?

103. Можно ли выполнить задания 1 и 2 обоих вариантов, если вместо раствора сульфатной кислоты выдана хлоридная кислота? Ответ обоснуйте.
104. Можно ли распознать соединения в задании 1 каждого варианта с помощью нагревания? В случае положительного ответа расскажите, как вы выполните эти задания. Напишите соответствующие уравнения реакций.