

Н. Л. Глинка

ОБЩАЯ ХИМИЯ

Том 1

УЧЕБНИК ДЛЯ СПО

19-е издание, переработанное и дополненное

Под редакцией доктора фармацевтических наук,
доктора педагогических наук, профессора **В. А. Попкова**,
доктора химических наук, профессора **А. В. Бабкова**

*Рекомендовано Учебно-методическим отделом среднего
профессионального образования в качестве учебника для студентов
образовательных учреждений среднего профессионального образования*

Книга доступна в электронной библиотечной системе
biblio-online.ru

Москва ■ Юрайт ■ 2017

УДК 54(075.32)

ББК 24.1я723

Г54

Авторы:

Глинка Николай Леонидович — доктор педагогических наук, профессор, заслуженный деятель науки РСФСР. Автор легендарного учебника «Общая химия» и пособия «Задачи и упражнения по общей химии», переведенных на многие языки стран Европы, Азии, Африки.

Попков Владимир Андреевич — профессор, доктор педагогических наук, доктор фармацевтических наук, заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой общей химии лечебного факультета Первого Московского государственного медицинского университета имени И. М. Сеченова, лауреат премии Президента РФ в области образования.

Бабков Александр Васильевич — доктор химических наук, профессор кафедры общей химии лечебного факультета Первого Московского государственного медицинского университета имени И. М. Сеченова, заслуженный работник высшей школы РФ.

Рецензенты:

Прокопов А. А. — доктор химических наук, профессор кафедры общей химии Московского государственного медико-стоматологического университета имени А. И. Евдокимова.

Глинка, Н. Л.

Г54

Общая химия. В 2 т. Том 1 : учебник для СПО / Н. Л. Глинка. — 19-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 364 с. — Серия : Профессиональное образование.

ISBN 978-5-534-01767-0 (т. 1)

ISBN 978-5-534-01768-7

В книге изложены теоретические и практические основы курса общей химии. Большое внимание уделено строению атомов и молекул, закономерностям протекания химических реакций. В настоящем, переработанном и дополненном издании выделены в самостоятельные главы органические соединения и дисперсные системы, расширен материал по биохимии и проблемам взаимодействия человека с окружающей средой.

Учебник состоит из двух частей. Первая часть посвящена общехимическим законам, в ней раскрываются вопросы строения вещества, химических систем, учения о химическом процессе. Вторая часть содержит описание свойств химических элементов и их соединений.

Соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования и профессиональным требованиям.

Издание подойдет студентам образовательных учреждений среднего профессионального образования нехимических специальностей, а также учащимся старших классов школы и абитуриентам.

УДК 54(075.32)

ББК 24.1я723



Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав. Правовую поддержку издательства обеспечивает юридическая компания «Дельфи».

© Глинка Н. Л., 2010

© Попков В. А., Бабков А. В., 2011

© Попков В. А., Бабков А. В., 2013,
с изменениями

© ООО «Издательство Юрайт», 2017

ISBN 978-5-534-01767-0 (т. 1)

ISBN 978-5-534-01768-7

Оглавление

Предисловие	6
Глава 1. Введение в общую химию	8
1. Материя и ее движение	8
2. Вещества и их изменения. Предмет химии	9
3. Значение химии	12
4. Зарождение химии и ее первоначальное развитие	14
5. Закон сохранения массы	18
6. Пневматическая химия	22
Глава 2. Атомно-молекулярная структура вещества	24
7. Возникновение атомно-молекулярного учения	24
8. Законы химии о составе веществ	25
9. Реальность атомов и молекул	31
10. Атомы. Химические элементы	33
11. Молекулы и кристаллические структуры	36
12. Количество вещества	42
13. Расчеты по уравнениям химических реакций	44
Глава 3. Периодический закон Д. И. Менделеева	50
14. Начало классификации элементов	50
15. Открытие Д. И. Менделеевым закона периодичности	52
16. Периодическая система элементов (таблица Менделеева)	54
17. Значение закона Менделеева	57
Глава 4. Строение атома. Атомное ядро	60
18. Открытие электронов	60
19. Открытие рентгеновских лучей	61
20. Открытие радиоактивности	63
21. Радиоактивный распад	64
22. Ядерная модель атома	67
23. Заряды атомных ядер	68
24. Строение атомных ядер	71
25. Устойчивость атомных ядер	74
26. Радиоактивные элементы и нуклиды	76
27. Происхождение химических элементов	79
Глава 5. Электроны в атомах	83
28. Спектры атомов в видимой и ультрафиолетовой областях. Теория Бора	83
29. Квантово-механическая теория электронного строения атомов	87
30. Характеристики состояния электрона. Квантовые числа	89
31. Структура электронных оболочек атомов	93
32. Периодически изменяющиеся свойства атомов	100
Глава 6. Химическая связь	104
33. Природа химической связи	104

34. Механизмы образования химических связей.....	107
35. Кратные (двойные и тройные) связи.....	110
36. Пространственное строение молекул.....	112
37. Метод молекулярных орбиталей.....	116
38. Полярные химические связи. Ионные связи.....	122
39. Многоцентровые химические связи. Водородные связи.....	127
40. Металлическая связь.....	131
41. Межмолекулярное взаимодействие.....	133
Глава 7. Газы и жидкости	138
42. Агрегатные состояния вещества.....	138
43. Характеристика газообразного состояния вещества.....	141
44. Кинетическая теория газов	143
45. Законы идеального газа.....	145
46. Уравнение Ван-дер-Ваальса	150
47. Воздух	151
48. Благородные (инертные) газы	153
49. Жидкости и жидкое состояние вещества	156
50. Жидкие кристаллы.....	161
Глава 8. Строение твердого вещества	163
51. Разновидности твердого состояния вещества	163
52. Кристаллическое состояние вещества.....	164
53. Внутреннее строение кристаллов	169
54. Типы кристаллических структур.....	171
55. Изоморфизм	174
Глава 9. Энергетика и направление реакций.....	177
56. Взаимосвязь химических реакций и энергетических явлений.....	177
57. Предмет химической термодинамики.....	180
58. Первое начало термодинамики.....	186
59. Возрастание неупорядоченности в самопроизвольных процессах	191
60. Второе начало термодинамики	193
61. Расчеты энтропии и энергии Гиббса.....	195
Глава 10. Химическое равновесие	199
62. Обратимость химических реакций.....	199
63. Свойства химического равновесия.....	201
64. Уравнение изотермы химической реакции	202
65. Закон действующих масс	205
66. Свойства констант равновесия	208
67. Смещение химического равновесия.....	210
Глава 11. Скорость химических реакций	213
68. Термодинамический и кинетический факторы химических реакций	213
69. Период полупревращения и скорость химической реакции	215
70. Зависимость скоростей реакций от концентраций реагентов	217
71. Механизмы сложных реакций	221
72. Зависимость скорости реакции от температуры	223
73. Катализ и катализаторы	227
Глава 12. Растворы	231
74. Характеристика растворов	231
75. Практическое значение растворов.....	233

76. Концентрация растворов.....	237
77. Растворители и растворимость.....	242
78. Зависимость растворимости от температуры.....	245
79. Растворимость газов	247
80. Осмос и осмотическое давление.....	250
81. Давление пара растворителя над раствором	253
82. Температуры замерзания и кипения растворов.....	255
Глава 13. Электролитическая диссоциация.....	259
83. Растворы электролитов	259
84. Сильные и слабые электролиты	262
85. Механизм образования ионов.....	264
86. Растворы слабых электролитов.....	266
87. Практическое значение концентраций ионов в растворах электролитов...	269
88. Растворы сильных электролитов	270
89. Ионные реакции в растворах электролитов.....	273
Глава 14. Кислоты и основания.....	276
90. Классификация веществ по типу химических реакций.....	276
91. Классы кислот и оснований	277
92. Протолитическая теория кислот и оснований	283
93. Среда в водных растворах.....	285
94. Сила кислот и оснований.....	288
95. Типы протолитических реакций	290
96. Амфотерные вещества.....	293
97. Буферные растворы	295
98. Электронная теория кислот и оснований	297
99. Реакции образования малорастворимых солей и гидроксидов.....	299
Глава 15. Реакции окисления-восстановления	304
100. Сущность и основные понятия.....	304
101. Составление уравнений реакций окисления-восстановления	307
102. Роль среды в реакциях окисления-восстановления.....	310
103. Классификация реакций окисления-восстановления.....	312
104. Сила окислителей и восстановителей.....	313
105. Направление реакций окисления-восстановления	321
106. Электролиз	323
Глава 16. Комплексные соединения	327
107. Понятие о комплексных соединениях	327
108. Разновидности лигандов по природе донорных атомов и числу связей, образуемых с центральным атомом	330
109. Номенклатура комплексных соединений.....	335
110. Реакции комплексных соединений	336
111. Устойчивость комплексных соединений в растворах.....	340
112. Строение комплексных соединений.....	344
Приложения.....	349
Литература	359
Именной указатель.....	360
Предметный указатель.....	361

Предисловие

Учебник «Общая химия», написанный профессором Н. Л. Глинкой в начале 40-х гг. прошлого столетия, оказался замечательно ценным и долгоживущим пособием в своей области знания и обучения. Он был 11 раз переиздан при жизни автора, а в дальнейшем редактировался и дополнялся. К 2012 г. «Общая химия» Глинки выдержала в общей сложности 33 издания. Тираж отдельных изданий учебника доходил до 350 тыс. экземпляров.

По этому учебнику изучали химию многие поколения студентов нехимических специальностей вузов и техникумов, школьников, стремящихся глубже освоить химию, специалистов разных областей, столкнувшихся в своей работе с необходимостью получить некоторую химическую информацию.

Специалисты старшего поколения, химики и не химики, с теплотой вспоминают этот учебник, неизменно отмечая доходчивость, простоту изложения, обилие интересных примеров. Ценными качествами книги являются также историзм изложения и приближенность к практическим задачам.

В более поздних редакциях «Общей химии» некоторые из первоначальных достоинств учебника были заметно ослаблены, исторический материал почти полностью исключен. Поэтому редакторы предлагаемого обновленного учебника выбрали в качестве прототипа 15-е издание (1971), практически не подвергавшееся изменениям по сравнению с авторским текстом. За прошедшие 42 года не только достигнут огромный прогресс в развитии химии, но и существенно изменились методика преподавания, содержание и структура программ по химии в школах, колледжах и вузах. Все это требовалось учитывать при переработке учебника, в максимальной мере сохраняя авторские подходы и бесспорные достижения в его содержании и стиле.

В результате переработки в учебнике стало на две главы больше за счет выделения разделов *органические соединения* и *дисперсные системы* в отдельные главы. Перераспределение материала между рядом других глав повлекло за собой в отдельных случаях изменение названий глав. Цифровой материал по свойствам химических элементов и веществ пересмотрен и представлен в основном по «Химической энциклопедии» (1988–1998) и справочнику Дж. Эмсли «Элементы» (1993). Данные по объемам промышленного производства приведены в ориентировочном виде для характеристики практической важности тех или иных химических продуктов.

Терминология и номенклатура химических соединений скорректированы в соответствии с современным состоянием.

В период времени, когда вышли первые 10–15 изданий учебника, химия рассматривалась главным образом как средство «химизации» народ-

ного хозяйства, повышения производительности труда и обороноспособности государства. В настоящее время акценты значительно сместились к рассмотрению химии как класса явлений, лежащих в основе биологических процессов. Химические элементы Вселенной оказались пригодными для построения биологических систем и поддержания процессов, составляющих сущность жизнедеятельности. Вероятно, именно этот аспект химии делает ее не только практически необходимой, но и мировоззренческой наукой, стимулирующей неослабевающий интерес к ней. В соответствии с этим в новой редакции учебника расширен материал по биологическому значению химии.

Читателям учебника рекомендуем с должным вниманием отнестись к прочтению и анализу приведенных примеров, так как в них содержится особенно действенный обучающий материал.

В результате изучения химии по данному учебнику студенты должны:

знать

- предмет, основное содержание дисциплины «общая химия»;
- практическое значение химии;
- основные опасности и риски, связанные с хозяйственным и бытовым применением химии (веществ и процессов);

уметь

- применять знания по химии при изучении специальных дисциплин;
- объяснять явления и наблюдения в возникающих ситуациях, связанных с химией;
- использовать справочные материалы по химии;

владеть

- навыками написания уравнений химических реакций;
- навыками расчетов, связанных со строением вещества и химическими явлениями.

В данной редакции учебника главы 6—14 и 21—23 переработаны академиком РАО В. А. Попковым (профессор, заведующий кафедрой общей химии Московской медицинской академии им. И. М. Сеченова).

Главы 1—5, 15—20 и 24—27 переработаны профессором А. В. Бабковым (кафедра общей химии Московской медицинской академии им. И. М. Сеченова).

Редакторы издания с благодарностью примут замечания по содержанию книги и непременно учтут их, если для этого представится возможность.

Глава 1.

ВВЕДЕНИЕ В ОБЩУЮ ХИМИЮ

Изучив содержание главы 1, студенты должны:

знать

- основные представления о материи и веществе;
- предмет химии как науки;
- значение химии в жизни и хозяйственной деятельности человека;
- основные этапы развития химии;
- закон сохранения массы;

уметь

- применять закон сохранения массы к химическим явлениям;

владеть

- навыками расчетов на основе закона сохранения массы.
-

1. Материя и ее движение

Химия относится к числу естественных наук, изучающих окружающий нас мир со всем богатством его различных форм и многообразием происходящих в нем явлений.

Каждый человек представляет собой часть природы, и все, что окружает человека, чем он пользуется в своей деятельности, что создает из исходных материалов, — все является объектами окружающей действительности. Все состоит из веществ или материалов. Бесконечно (если можно так выразиться) разнообразие этих объектов как по форме, так и по материальной составляющей. В самом деле, науке известно уже до 20 млн веществ, и ежегодно к ним добавляются сотни тысяч ранее неизвестных.

Можно слышать или встретить в книгах и несколько иное утверждение: «Все существующее является проявлением материи, состоит из материи, нет ничего, что не состояло бы из материи». Материя — это философская категория, и не может быть единого понимания смысла этой категории, так как существуют разные философские направления (течения). В практических целях, чтобы не путать понятия «вещество» и «материя», можно понимать под материей следующее.

Материя — это полная совокупность физически регистрируемых микро-частиц.

Многие микрочастицы изучаются в средней школе. Это протоны, нейтроны, электроны, мезоны, нейтрино, их античастицы, фотоны и т.д. Открыто много неустойчивых частиц. Список можно продолжить более

чем до сотни микрочастиц, но, тем не менее, очевидно, что здесь уже нет бесконечного разнообразия. Материя как глубинная основа всех веществ сводится к небольшому числу качественно различных элементов. Микрочастицы взаимодействуют между собой, объединяясь в различные ансамбли. Протоны, нейтроны и электроны образуют атомы. Атомы тоже относятся к микрочастицам, но они отличаются хорошо известной структурой, в то время как структура протонов, нейтронов и других простейших микрочастиц еще не до конца ясна. Атомы способны к дальнейшему объединению, образуя молекулы, макромолекулы и кристаллические структуры. Столь гигантские ансамбли микрочастиц воспринимаются уже как вещества и материалы. Их можно непосредственно видеть, осязать, обрабатывать, смешивать, испытывать приборами. Нередко слово «материя» используется в упрощенном смысле как замена слова «вещество».

Материя находится в непрерывном движении. Это совершенно буквально относится ко всем микрочастицам, а далее проявляется в движении и изменении всех их ансамблей, т.е. окружающих нас веществ и всевозможных предметов. Говоря о движении, мы не должны понимать его узко механически, как простое перемещение в пространстве. Формы движения материи чрезвычайно разнообразны. Нагревание и охлаждение тел, излучение света, электрический ток, химические превращения, жизненные процессы и, наконец, мысль — все это различные формы движения материи. Одни формы движения могут переходить в другие. Так, механическое движение легко переходит в тепловое, тепловое в химическое, химическое в электрическое и т.д. Эти переходы свидетельствуют о единстве и связи качественно различных форм движения. Отдельные формы движения материи изучаются разными науками: физикой, химией, биологией и др.

При всех разнообразных переходах одних форм движения в другие точно соблюдается основной закон природы — закон сохранения материи и ее движения. Этот закон распространяется на всю материю и все формы движения. Материя и движение не исчезают, а лишь изменяют форму и переходят от одних тел к другим. Эти положения подтверждены человеческой практикой, но не имеют теоретического доказательства.

Вся совокупность наук о природе называется *естествознанием*. Оно вскрывает закономерности явлений природы и связь между ними. Изучение и познание этих закономерностей дают человеку возможность использовать природные явления для обеспечения своего существования и предпринимать необходимые меры для поддержания устойчивого состояния окружающей среды.

2. Вещества и их изменения. Предмет химии

Каждый отдельный вид материальной основы тел, обладающий определенными физическими свойствами, как то: вода, железо, медь, сера, известь, уголь, кислород и т.д., в химии называют *веществом*. Возьмем, например, кусок серы. Исследуя его, прежде всего отмечаем, что это вещество светло-желтого цвета, хрупкое, имеет кристаллическое строение, нерастворимо

в воде. Далее, определяя плотность серы, находим ее равной $2,07 \text{ г/см}^3$. Подвергая серу нагреванию, устанавливаем, что она плавится при $112,8^\circ\text{C}$, и т.д. Все эти характерные особенности серы являются ее физическими свойствами.

Величины, количественно выражающие физические свойства вещества — плотность, температуру плавления, растворимость и др., имеющие при определенных условиях постоянные значения, называют *физическими константами* (от лат. «constans» — постоянный).

Для установления свойств вещества необходимо иметь его возможно более чистым, так как примеси других веществ изменяют числовые значения констант изучаемого вещества. Очистка веществ от примесей представляет собой одну из постоянно осуществляемых химических операций. Вещество с минимально достижимым содержанием примесей называют *индивидуальным* веществом.

Вещества в индивидуальном виде в природе встречаются редко. В большинстве случаев природные вещества представляют собой смеси, включающие большое количество разных веществ. Так, например, природная вода всегда содержит примеси солей. Когда одно из веществ содержится в смеси в преобладающем количестве, то вся смесь носит его название. На Урале иногда находят платиновые самородки. Фактически, кроме платины они содержат другие платиновые металлы, серебро, золото и другие элементы. Проводя еще одну важнейшую химическую операцию — анализ, устанавливают количественное содержание примесей.

В химии употребляются синонимы слова «вещество», среди которых следует остановиться на понятии «*химический реактив*». Это вещество, специально выпускаемое промышленностью и снабженное сертификатом, характеризующим его качество, т.е. допустимое максимальное содержание примесей, как в сумме, так и по отдельности. В табл. 1.1 приведены сведения об основных сортах или квалификациях химических реактивов.

Таблица 1.1

Качество химических реактивов

Квалификация	Обозначение	Содержание основного вещества, частей на 1000 частей по массе
Технический	тех	Более 700
Чистый	ч	Не менее 980
Чистый для анализа	чда	Не менее 990
Химически чистый	хч	Более 990
Особо чистый	осч	Более 999

Говоря о некотором образце вещества, часто употребляют слово «чистый», имея в виду, что вещество не содержит примесей. В действительности, вещества всегда содержат примеси. Слово «*чистый*» произносится взамен более точного понятия «*индивидуальный*». Иногда человек говорит о каком-то веществе, что оно абсолютно чистое. Однако это лишь

эмоциональное усиление оценки качества, так как вещество, совершенно очищенное от примесей, получить невозможно.

Индивидуальное вещество характеризуется однородностью, смеси же могут быть однородными или неоднородными.

Однородными называют смеси двух или нескольких веществ, в которых ни непосредственно по внешнему виду, ни при помощи специальных приборов нельзя обнаружить частиц этих веществ измеримой величины. Такими смесями являются смеси газов, многие жидкости (растворы), некоторые сплавы.

Примерами неоднородных смесей могут служить горные породы, почва, мутная вода, пыльный воздух и т.д.

Не всегда неоднородность смеси заметна сразу. В некоторых случаях ее можно обнаружить только при помощи микроскопа. Например, кровь с первого взгляда представляется совершенно однородной красной жидкостью, но при изучении ее под микроскопом видно, что она состоит из бесцветной основы, в которой плавают красные и белые тельца.

Повсеместно мы можем наблюдать, что вещества претерпевают различные изменения: пролитая вода «высыхает», превращаясь в невидимый пар; стальной предмет во влажном воздухе покрывается ржавчиной; дрова в печи сгорают, оставляя лишь небольшую кучку пепла; опавшие листья с деревьев постепенно истлевают, превращаясь в темную массу перегноя, и т.д.

Кусочек свинца легко нагреть на домашней плите до плавления, перехода в жидкое состояние. Но этот переход не сопровождается химическим изменением свинца — металл перешел в другое состояние, оставаясь тем же веществом. Иначе обстоит дело, когда свинец в результате продолжительного нагревания на воздухе превращается в оксид свинца (глет). В этом случае вместо свинца получается новое вещество с другими свойствами, качественно отличное от свинца. Точно так же при ржавлении стали, горении древесины, гниении листьев образуются новые вещества, качественно отличные от исходных.

Явления, сопровождающиеся коренными изменениями вещества, при которых из одних веществ образуются другие, новые вещества, называются *химическими*. Изучением таких явлений занимается *химия*. Следовательно, **химия есть наука о превращениях веществ. Она изучает состав и строение веществ, зависимость свойств вещества от его состава и строения, условия и пути превращения одних веществ в другие.**

Химические изменения всегда сопровождаются изменениями физическими. Поэтому химия теснейшим образом связана с физикой. Очень тесно связана химия и с биологией, поскольку все процессы жизнедеятельности — среди них кровообращение, дыхание, пищеварение, зрение, мышление — сопровождаются непрерывными химическими превращениями веществ в организме, непрерывным обменом веществ между организмом и окружающей его средой. Однако, несмотря на то что химические явления и связаны с физическими, так же как биологические связаны и с химическими, и с физическими явлениями, химия не может быть сведена к физике, а биология к физике и химии, так как каждая форма движения имеет свои качественные особенности.

В химии, как и в других науках, изучение всякого явления начинается с наблюдения и описания. Но наука не ограничивается одним только описанием наблюдаемых явлений; ее важнейшей задачей является их объяснение. В поисках объяснений явлений мы стараемся глубже проникнуть в их сущность, выяснить причины, вызывающие их, установить условия, при которых они могут происходить. Для этого приходится искусственно воспроизводить различные явления в наиболее удобных для их изучения условиях и обстановке. Такое искусственное воспроизведение явления называется *опытом*. Чаще всего опыт производится для проверки справедливости мыслей или предположений, возникающих при изучении явления. Предположения, выдвигаемые для объяснения данного явления, устанавливающие его связь с другими, ранее изученными явлениями, объединяющие несколько явлений одной общей идеей, называются *гипотезами*. Если следствия, логически вытекающие из сделанного предположения, подтверждаются опытом, если гипотеза не только объясняет данное явление, но и позволяет делать обобщающие выводы, предугадывать новые явления, то гипотеза становится *теорией*. Если же опыт не подтверждает выдвинутую гипотезу, то она отбрасывается.

Теория, являясь широким обобщением опыта, значительно облегчает изучение явлений, позволяет понять их глубже и правильнее. В то же время она дает направление и указания для постановки новых опытов, имея, таким образом, не только познавательное, но и методологическое значение. Теория позволяет вести исследования не вслепую, а планомерно, руководствуясь определенной точкой зрения, опираясь на уже установленные закономерности.

Особенно важными теоретическими обобщениями в химии, обеспечившими успехи этой науки, являются атомно-молекулярное учение, теория химического строения, закон периодической зависимости свойств химических элементов от зарядов их ядер — закон Менделеева.

3. Значение химии

Насколько важна химия для каждого человека, следует оценивать исходя из данного выше определения химии. Если химия — наука о веществах, то следует понимать, насколько важны вещества и знания о них.

На веществах и их превращениях основана жизнь. Тело человека состоит из нескольких тысяч различных белков, десятков разных липидов (жиров), углеводов. Соединяясь между собой, их молекулы образуют еще более сложные производные. Мы начали перечисление с больших молекул (белков), но в процессах жизнедеятельности участвуют и более простые вещества — разнообразные кислоты и их производные, неорганические и органические соли и т.д. Для жизни необходимо более 30 химических элементов. Одним из непрерывных проявлений жизнедеятельности, наряду с биением сердца, является дыхание. Как известно, смысл его заключается в снабжении всех тканей и органов кислородом, который в изумительно отлаженных клеточных процессах окисляет определенные органические вещества (как сказали бы в технике — энергоносители), освобождая заключенную в них энергию, которая и является необходимым фактором поддер-

жания жизни. Поэтому одним из важнейших природных процессов является синтез глюкозы в листьях растений, идущий при условии поглощения энергии солнечного излучения. Эти штрихи к характеристике роли химии в жизнедеятельности призваны в первую очередь привлечь внимание к такому необычайному феномену, производному от химической формы движения, каковым является жизнь.

Далее можно говорить о том, как химия помогает человеку жить, сохранять и восстанавливать здоровье, повышать комфортность жизни, облегчать труд, обеспечивать пищей и одеждой, делать интереснее досуг, защищать от многих неблагоприятных факторов. Ко всему этому и сводятся задачи промышленности, включая, конечно, и химическую промышленность. Одному человеку на год химических товаров требуется не так уж много, но при умножении на 6,5 млрд численности населения Земли получаются устрашающие цифры. За каждым килограммом конечного продукта скрываются килограммы отходов производства, да и сам конечный продукт превращается в отходы. В последующих главах будут приведены данные о масштабах производства важнейших химических продуктов.

Химия как наука открывает и исследует вещества. В современной химии каждое вновь полученное вещество проходит комплекс испытаний, включая обязательно изучение биологической активности. Из тысяч синтезированных и изученных веществ единицы проявляют какую-то полезную активность и отбираются для более детального изучения. В конце концов некоторые из них отбираются для лекарственного использования. На специальных химико-фармацевтических заводах производят лекарственные вещества небольшими партиями. Средства бытовой химии и полимерные вещества тоже проходят тщательный отбор, и для практического применения отбирается небольшая часть веществ. Этим отчасти и объясняется, зачем химикам понадобилось синтезировать 20 млн веществ, и это число продолжает увеличиваться. При получении веществ решаются не только практические задачи, но и чисто научные: проверяются новые идеи, гипотезы, совершенствуются методы синтеза.

Перечислим отрасли хозяйства, в которых особенно очевидна и велика доля химии.

Добывающая промышленность извлекает из недр Земли природные вещества, служащие сырьем для дальнейшей переработки.

Металлургия — старейшая отрасль промышленности, применяющая химические методы получения металлов.

Промышленность строительных материалов производит цемент, известь, керамику, стекло. В любом из этих производств применяются химические процессы.

Производство красителей и лаков. Продукция применяется во всех прочих производствах.

Бумажная промышленность применяет химические процессы переработки древесины.

Текстильная промышленность использует природные и синтетические волокна, подвергаемые разным видам химической обработки, включая крашение.

Пищевую промышленность тоже можно рассматривать как специфическую отрасль химической промышленности.

Переработка нефти и других горючих ископаемых. Здесь продукцией являются разные виды моторного топлива, газ для бытовых и промышленных целей, большой комплекс продуктов, получаемых из углеводородов.

Химическая промышленность. Многие отрасли производства оказываются, по существу, химическими. Химическая промышленность как таковая выпускает главным образом вещества, которые могут использоваться во многих других производствах: серная, азотная, соляная кислоты, щелочи, сода, аммиак и многое другое. В огромных количествах производятся и органические вещества: уксусная кислота, метанол, этанол, ацетон, анилин, этиленоксид и т.д.

Во всех перечисленных производствах и во многих других сферах деятельности применяется химический анализ. Он необходим для контроля производственных процессов и качества продукции, для определения примесей в питьевой воде и воздухе, для контроля качества лекарств, в медицине — для диагностики, в спорте — для допинг-контроля.

Дальнейшее развитие химических производств будет направлено не только на увеличение производства, но и на совершенствование технологии, с целью уменьшения отходов и вредных выбросов в окружающую среду, снижения расхода энергии.

4. Зарождение химии и ее первоначальное развитие

Химия, как и другие науки, возникла в процессе практической деятельности человека.

Добывая средства существования, человек постепенно познавал причины различных явлений, находил возможности использовать некоторые превращения веществ. Тысячелетия тому назад люди уже умели получать много полезных материалов: выплавлять металлы из руд, изготавливать и применять различные сплавы, варить стекло и изготавливать из него разные изделия. В Египте, который по развитию техники являлся одной из самых передовых стран древнего мира, уже задолго до нашей эры процветали многие ремесла, основанные на использовании химических процессов. Египтяне выплавляли железо из руд, получали цветные стекла, дубили кожу, извлекали из растений лекарства, краски, душистые вещества и т.д. Еще раньше началось развитие различных химических производств в других странах древней культуры — Индии и Китае.

Конечно, разрозненные химические сведения еще не составляли науку, но наряду с наблюдением природных явлений они создавали основу для размышлений о строении материи и ее превращениях. В дошедших до нас памятниках древней индийской философии ясно выражена идея о том, что вселенная построена из небольшого числа простых веществ.

Более широкое и цельное философское воззрение на природу сложилось в Древней Греции. Здесь впервые возникла мысль, что основа всех веществ едина, что все разнообразные вещества, из которых построен мир, это лишь

различные формы одного и того же начала. Одни из греческих философов учили, что все существующее произошло из воды. По мнению других — основой мира является воздух. Третьи принимали за начало всех вещей огонь. В V в. до нашей эры Эмпедокл, объединив идеи своих предшественников, добавил к указанным ими трем основным видам материи землю и допустил существование четырех начал, которые он назвал элементами.

В том же веке возникло и совершенно иное философское направление, пытавшееся объяснить строение материи. Представителями этого направления явились Левкипп и его ученик Демокрит — крупнейшие философы древности. По учению Демокрита, все тела природы построены из мельчайших твердых непроницаемых и неделимых частиц, которые он назвал атомами. Атомы так малы, что их нельзя видеть. Они могут быть бесконечно разнообразны по форме и величине, но все состоят из одной и той же материи. В мире нет ничего, кроме атомов и пустого пространства между ними. Различие между веществами зависит только от различия в числе, форме и порядке расположения атомов, из которых они образованы. Атомы обладают способностью вечного движения. Движением атомов объясняются сжатие тел при охлаждении и расширение при нагревании, смешивание с водой при растворении и другие явления. Всякое изменение состоит лишь в соединении и разделении атомов.

Учение Демокрита далеко опередило взгляды его современников, но не получило всеобщего признания. Развивавшаяся впоследствии философия стремилась объяснить все явления исходя из абстрактных качеств вещества. В основу этой философии легло учение Аристотеля (384—322 гг. до н.э.), оказавшее большое влияние на направление развития естествознания в последующие века.

Аристотель считал, что в основе всего материального бытия лежит первоматерия. Она вечна, не может возникнуть из ничего и превратиться в ничто, ее количество в природе неизменно. Первоматерии присущи четыре основных качества, воспринимаемых нашими чувствами и попарно противоположных друг другу: тепло и холод, сухость и влажность. Разнообразие веществ зависит от сочетания этих качеств в различных пропорциях. Комбинируя качества попарно, Аристотель приходит к четырем элементам Эмпедокла — земле, воде, огню и воздуху (рис. 1.1).

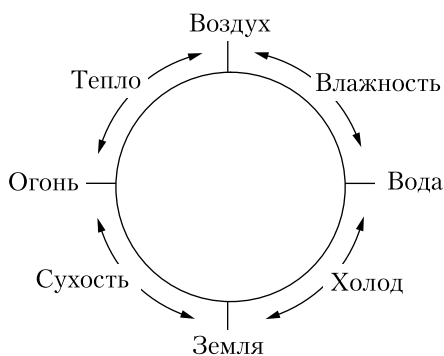


Рис. 1.1. Элементы природы по Аристотелю

По представлениям Аристотеля, основные качества не связаны нераздельно с первичной материей — их можно отнимать у нее или прибавлять к ней. Так, например, нагревая воду, мы отнимаем от нее холод и придаем ей тепло, вода испаряется, т.е. превращается, как считал Аристотель, в воздух. Из этого делался вывод, что один элемент может перейти в другой. Искусство создания различных веществ сводилось, таким образом, к соединению определенных качеств.

Греческие философы создавали общие представления о происходящем в природе, опираясь только на наблюдения; производительные силы общества были еще очень далеки от того уровня, когда могла бы возникнуть точная наука, основанная на эксперименте.

В то время как философы основное свое внимание сосредоточили на отвлеченных теориях, стараясь понять внутреннее строение материи, не прекращалось и постепенное накопление практических сведений о химических превращениях.

По общепринятому теперь мнению, химия как собрание различных сведений о веществах, часто облеченных в мистическую форму, возникла в I в. в Александрии — городе, расположенном в дельте Нила. Александрия являлась огромным торговым и культурным центром, куда стекались люди и товары из всех стран античного мира. Там концентрировались и оттуда распространялись практические знания, существовавшие в Египте с древнейших времен, и находили развитие философские идеи античной Греции. Трактаты, написанные в Александрии в I в., содержали много химических сведений, изображения химических аппаратов, описания операций прокаливания, возгонки, фильтрования, растворения, кристаллизации. Там же возникла идея о возможности превращения неблагородных металлов в золото, идея, которая надолго увлекла химию на путь неосуществимых исканий.

После завоевания в VII в. Египта и других стран Востока арабами часть накопленных в Александрии практических химических знаний все же сохранилась. Арабы воспользовались ими, а в дальнейшем открыли и изучили много новых веществ, в том числе азотную кислоту и различные соли. Употреблявшееся александрийскими учеными слово «химия» путем прибавления к нему арабской приставки *ал* превратилось в *алхимию*. Арабские ученые оставили ряд книг, содержащих описания различных химических опытов и много практических сведений.

Завоевание арабами Южной Испании способствовало проникновению в Западную Европу практических химических знаний; вместе с ними проникла также и идея о превращении неблагородных металлов в золото. Средние века проходят в Европе в безнадежных попытках осуществить эту идею. В истории химии этот период носит название *алхимического*. Господствующим учением являлось учение Аристотеля. Усилия алхимиков были направлены в первую очередь на отыскание таинственного философского камня, который должен был обладать чудесным свойством не только превращать неблагородные металлы в золото, но и исцелять болезни, возвращать молодость и удлинять жизнь.

Перелом в развитии химии начался только в эпоху Возрождения. В это время, характеризующееся возникновением в Европе капиталистических

отношений, жизнь выдвигает перед химией много новых практических задач. Опыты применения химических препаратов при лечении болезней привели к созданию нового направления в химии, получившего название *ятрохимии* (медицинской химии). Основателем его был швейцарский врач Парацельс (1493—1541), считавший основной целью химии приготовление лекарств. Успешные результаты, достигнутые Парацельсом, применившим химические препараты в своей медицинской практике, принесли ему огромную известность и привлекли к химическим исследованиям многих врачей. Новое направление оттеснило на задний план проблемы алхимиков и внесло разумное начало в изучение химических превращений. К этому же времени относятся работы немецкого металлурга Г. Агриколы (1494—1555), заложившие основы металлургии и открывшие для химии новую, весьма обширную область применения.

Хотя химики этого периода еще находились под влиянием учения Аристотеля и разделяли многие заблуждения алхимиков, в том числе и веру в философский камень, все же их работы дали возможность значительно углубить имевшиеся химические знания.

На Руси алхимия не имела распространения. Русская практическая химия вплоть до XVII в. развивалась почти независимо от Западной Европы. Обмен химическими знаниями происходил главным образом со странами Ближнего Востока (Византией, Арменией и др.). Русские мастера своими наблюдениями и изобретениями расширяли получаемые практические сведения и способствовали дальнейшему развитию химических знаний. Накопленный русскими химиками опыт был отчасти отражен в многочисленных рецептурных сборниках, носивших на Руси названия *травников, цветников, уставов, лечебников*.

Только в XVII в. химия начинает освобождаться от схоластического подхода к изучению природы и строить свои выводы на основе точного эксперимента. Начало этому новому направлению в химии было положено Робертом Бойлем (1627—1691).

Бойль первым применил в химии новый метод исследования, в основе которого лежало представление о том, что познания возникают из обобщения данных опыта и закономерностей, наблюдаемых в явлениях природы. Задача химика, говорил Бойль, заключается в том, чтобы ставить опыты, собирать наблюдения и не выдвигать ни одной теории без тщательного исследования относящихся к ней явлений. Цель химии — познание строения тел, а средство этого познания — химический анализ, состоящий в разложении тел на элементы. Но элементы Бойля не имеют ничего общего с аристотелевскими элементами. По учению Бойля, элементами следует считать «те простейшие тела, из которых составлены сложные тела и к которым мы в конце концов приходим, разлагая последние». Теоретические взгляды Бойля на химические элементы изложены им в книге «Скептик-химик», где он подвергает резкой критике представления алхимиков и их учение о превращении металлов.

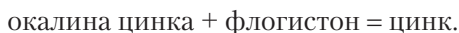
Работы Бойля и особенно его метод исследования оказали большое влияние на дальнейшее развитие химии. Однако потребовалось еще около 100 лет, чтобы химия окончательно избавилась от ига аристотелевского

понимания материи и вышла на путь строгого научного изучения явлений. Этот период характеризуется господством в химии так называемой флогистонной теории, созданной в конце XVII в. немецким химиком Г. Шталем (1659—1734) и явившейся первой химической теорией.

Появление флогистонной теории было вызвано необходимостью объяснения процессов горения, окисления и восстановления металлов, что в связи с развитием металлургии привлекло к себе особое внимание химиков. Согласно этой теории все горючие вещества, в том числе и металлы, содержат особое огневое начало — флогистон. При сжигании горючих веществ или при накаливании металлов флогистон улетучивается, и в остатке получается землистое вещество — окалина. По этой теории горение есть разложение вещества на флогистон и землистый остаток, например:



Вещества, оставляющие при горении очень мало землистого остатка, например уголь, состоят почти из чистого флогистона. Негорючему веществу — окалине можно придать флогистон, накаливая ее с богатым флогистоном углем, тогда окалина переходит в металл:



Так ошибочная теория объясняла довольно широкий круг фактов. Господству флогистонной теории не помешал даже такой, казалось бы, явно противоречащий ей факт, как увеличение массы металлов при горении. Приверженцы теории объясняли это особой легкостью флогистона, который в противоположность всем остальным телам не притягивается к земле, а отталкивается от нее. Поэтому чем больше флогистона содержит тело, тем оно легче. Наоборот, теряя флогистон, тело становится тяжелее. Подобным же образом пытались обходить и другие противоречия. Например, необходимость воздуха для горения объясняли тем, что флогистон не просто исчезает при горении, но соединяется с воздухом или какой-то его частью. Если воздуха нет, то горение прекращается, потому что флогистону не с чем соединяться.

Флогистонная теория долгое время пользовалась всеобщим признанием. Почти через 70 лет после ее создания Г. Кавендиш, получивший газообразный водород, принял его за флогистон. Флогистонная теория позволила систематизировать большинство известных в то время фактов и давала возможность решать новые проблемы, выдвигаемые практикой. Однако как и всякая ложная теория, создающая иллюзию объяснения вместо вскрытия действительных причин явлений, флогистонная теория стала в конце концов, тормозом в развитии химии, не позволяя окончательно избавиться от остатков алхимических представлений.

5. Закон сохранения массы

Флогистонная теория была окончательно отброшена во второй половине XVIII в. в результате появления многих новых экспериментальных

фактов и открытия первого фундаментального закона химии — закона сохранения массы. Это открытие связано с деятельностью первого великого русского ученого М. В. Ломоносова.

Михаил Васильевич Ломоносов родился 8 ноября 1711 г. в деревне Денисовке близ г. Холмогоры Архангельской губернии в семье рыбака-помора. Обучившись чтению и письму у одного грамотного односельчанина, Ломоносов скоро перечитал все книги, какие только мог достать в деревне. Огромная любознательность и страстная тяга к знанию побудили его в возрасте 19 лет покинуть родную деревню. Зимой 1730 г. Ломоносов пешком и почти без денег отправился в Москву, где добился зачисления в Славяно-греко-латинскую академию — единственное в то время в Москве высшее учебное заведение.

Суровая обстановка в академии и тяжелое материальное положение не сломили стремления молодого Ломоносова к знаниям. Блестящие способности и упорный труд позволили ему за четыре года пройти программу семи классов академии. Последний класс Ломоносов не окончил, так как был переведен, в числе 12 лучших учеников, в Петербург для обучения в университете при Академии наук.

Меньше чем через год после переезда в Петербург Ломоносов был направлен за границу для изучения металлургии и горного дела. В 1741 г. после возвращения на родину Ломоносов был назначен адъюнктом Академии по физическому классу, а вскоре стал профессором химии и полноправным членом Российской академии наук.

Ломоносов принадлежал к числу тех редких исключительно одаренных натур, научные идеи которых на многие десятилетия опережают свою эпоху. Его кипучая научная и практическая деятельность отличалась поразительной широтой и разносторонностью. Характеризуя эту деятельность, академик С. И. Вавилов в 1947 г. писал: «Только теперь, спустя два века, можно с достаточной полнотой охватить и должным образом оценить все сделанное этим удивительным богатырем науки. Достигнутое им одним в областях физики, химии, астрономии, приборостроения, геологии, географии, языкознания, истории достойно было бы деятельности целой Академии».

Ломоносов впервые определил химию как науку, в то время как его современники — западноевропейские химики рассматривали ее как описание операций, при помощи которых можно овладеть искусством «разлагать смешанные тела (сложные вещества) на их составные части или получать тела соединением составных частей». Ломоносов указывал, что предметом химии являются не сами химические операции, а то, что происходит «в смешанных телах» при химических операциях.

По Ломоносову, «химия — наука об изменениях, происходящих в смешанном теле...». Эту науку Ломоносов представлял себе как химические факты, объединенные математическим способом изложения и приведенные в систему на основе представлений о строении вещества. Человек, обладающий знанием внутренней природы вещества, «может объяснить все возможные изменения его, и в том числе разделение, соединение и т.д.». «Истинный химик должен быть теоретиком и практиком», — говорил Ломоносов. Точные опыты с чистыми веществами, с применением «меры и весов» должны сопровождаться теоретическим анализом результатов. Ломоносов указывал, какое важное значение имеет при этом представление о строении вещества: «Во тьме должны обращаться физики, и особливо химики, не зная внутреннего нечувствительных частиц строения». опередив на десятилетия своих современников, Ломоносов разработал корпускулярную теорию строения вещества, предвосхитившую атомно-молекулярную теорию.

Ломоносов считал своей главной профессией химию, но он был в то же время и первым замечательным русским физиком.

Ясно представляя необходимость тесной связи между химией и физикой, он считал, что химию следует изучать при помощи физики и что химические явления могут получить правильное истолкование только на основе физических законов. В «Слове о пользе химии» Ломоносов писал: «Химик без знания физики подобен человеку, который всего искать должен ощупом. И сии две науки так соединены между собою, что одна без другой в совершенстве быть не могут».

Применяя физику для объяснения химических явлений, Ломоносов заложил основы новой науки — физической химии. В «Курсе истинной физической химии» он впервые дал четкое определение этой дисциплины: «Физическая химия есть наука, объясняющая на основании положений и опытов физики то, что происходит в смешанных телах при помощи химических операций».

Глубоко веря в могущество человеческого знания, Ломоносов все годы своего пребывания на посту академика неутомимо боролся за распространение просвещения в России, за процветание русской науки. В частности, по проекту Ломоносова и указу императрицы Елизаветы в 1755 г. был открыт Московский университет, ставший важнейшим центром русского просвещения и науки.

Одним из главных вопросов, занимавших химиков того времени, был вопрос о природе огня и о сущности процессов горения и обжига металлов. Флогистонная теория объясняла эти процессы тем, что обжигаемые металлы теряют флогистон. Наряду с этой теорией широкое распространение имела теория, предложенная в 1673 г. Р. Бойлем, согласно которой при обжигании металлов тончайшая «материя огня» проникает в металлы и, соединяясь с ними, вызывает увеличение их массы.

Ломоносов весьма скептически относился ко «всякого рода невесомым материям», перемещением которых в то время объясняли явления тепла и холода, электричества и света. В своей диссертации «Размышления о причине тепла и холода», доложенной Академии в 1745 г., он подвергает резкой критике теорию «теплотворной материи», или «теплорода», доказывает невозможность существования такой материи и излагает разработанную им механическую теорию тепла, объясняющую тепловые явления движением мельчайших частичек, образующих все тела. В этой же работе Ломоносов впервые высказывает мысль о том, что увеличение массы металлов при прокаливании может происходить не от проникновения в них «материи огня», как предполагал Бойль, но от соединения металлов с окружающим воздухом. Эта же мысль в более категорической форме выражена Ломоносовым в 1748 г. в его письме к знаменитому математику Л. Эйлеру, где, разбирая опыты Бойля с обжиганием металлов, он пишет: «Нет никакого сомнения, что частички воздуха, непрерывно текущего над обжигаемым телом, соединяются с ним и увеличивают вес его».

Позднее, добившись после долгих усилий организации при Академии наук химической лаборатории, Ломоносов приступает к опытной проверке своих предположений. С этой целью он решает прежде всего проверить опыты Бойля с обжиганием металлов.

Бойль прокаливал металлы в запаянных стеклянных ретортах. Когда на металлах образовывалось некоторое количество окарины, Бойль вскрывал реторты, отмечая при этом вхождение в них воздуха как доказательство

герметичности запайки реторт, после чего взвешивал их. Ломоносов проделал такие же опыты, как и Бойль, с той только разницей, что он взвешивал реторты с металлом до и после прокаливания, *не вскрывая* их. Сохранилась следующая запись Ломоносова об этих опытах: «Делал опыты в заплавленных накрепко стеклянных сосудах, чтобы исследовать, прибывает ли вес металла от чистого жару. Оными опытами нашлось, что славного Роберта Бойля мнение ложно, ибо без пропущения внешнего воздуха вес сожженного металла остается в одной мере».

Из опытов Ломоносова прежде всего вытекало, что увеличение массы при обжигании металлов не может быть объяснено ни присоединением к ним «материи огня», как полагал Бойль, ни потерей ими флогистона, как утверждали флогистики. В то же время, вскрывая сосуды по окончании опытов, Ломоносов установил, что масса сосудов увеличивается именно потому, что в них входит воздух. Тем самым он доказал, что прибавление массы металла при накаливании происходит от соединения металла с воздухом. Так простейшие с современной точки зрения, но тщательно продуманные опыты Ломоносова позволили установить закон сохранения массы в применении к химическим реакциям.

Суммарная масса веществ до реакции равна суммарной массе веществ после реакции.

Именно это и было показано Ломоносовым. В реакции вступали часть помещенного в сосуд металла и часть имевшегося там воздуха, но масса продуктов реакции вместе с не вступившими в реакцию веществами оставалась неизменной. Приведем закон сохранения массы, как он был сформулирован Ломоносовым в 1760 г.: «Все перемены, в натуре случающиеся, такого суть состояния, что сколько чего у одного тела отнимется, столько же присовокупится к другому. Так ежели где убудет несколько материи, то умножится в другом месте». На 18 лет позднее Ломоносова закон сохранения массы открыл великий французский химик А. Лавуазье. В Европе не были знакомы с трудами Ломоносова, но это, конечно, не его вина. Сам Ломоносов опирался на труды предшественников и, в частности, изучал работы Р. Бойля.

Мысль о том, что вещество вообще не может исчезать или возникать вновь, что количество его во Вселенной остается неизменным, была высказана греческими философами еще в V в. до н.э. и принималась многими философами XVII и XVIII вв. как положение, не требующее никаких доказательств. Однако химики того времени еще не оценили всей важности этого положения для химии и не обращали должного внимания на количественную сторону химических процессов.

Ломоносову принадлежит заслуга введения в химию количественных определений. При всех химических опытах он неизменно пользовался весами, определяя вес (массы) веществ, взятых для проведения реакции и полученных в результате реакции.

Как выяснилось в ходе дальнейшего развития науки, закон сохранения массы является предельным случаем сохранения массы-энергии для про-

цессов, сопровождающихся сравнительно небольшими энергетическими эффектами. Такими процессами являются все химические реакции. Изменения массы реагирующих веществ за счет выделения или поглощения энергии находятся далеко за пределами достигнутой точности определения массы.

Закон сохранения массы неоднократно подвергался проверке на протяжении XIX и начала XX вв. Особенной тщательностью отличаются исследования Г. Г. Ландольта, относящиеся к 1909 г. Ландольт производил взвешивания с точностью до $10^{-6}\%$ и пришел к заключению, что в этих пределах масса вещества при химических реакциях остается неизменной.

6. Пневматическая химия

Так стали называть плодотворное направление в химии XVIII в., связанное с изучением газов. В более раннее время газы почти не привлекали внимания химиков. Существовало только общепринятое понятие «воздух», и вновь открываемые газы рассматривались как разновидности воздуха. В 1755 г. английский ученый Д. Блэк (1728—1799) опубликовал работу, в которой излагались результаты исследования «фиксируемого воздуха», возникающего при прокаливании известняка. Позднее его стали называть углекислым газом. Самый знаменитый английский химик того периода Г. Кавендиш (1731—1810) первым получил водород в 1766 г. действием кислот на металлы. Он называл его горючим воздухом. Будучи сторонником теории флогистона, Кавендиш сначала принял водород за флогистон, но поскольку он не оказался невесомым, то пришлось принять полученный газ за соединение флогистона с водой. В 1772 г. был открыт газ азот в составе воздуха, который называли сначала «флогистированным воздухом». Азот открыли независимо друг от друга Г. Кавендиш и Д. Резерфорд (1749—1819). Кавендиш был близок также к открытию еще одной составляющей воздуха, которая совершенно не реагирует с кислородом. Более чем через 100 лет выяснилось, что это инертные газы.

Открытие кислорода, который флогистики называли сначала «дефлогистированным воздухом», а также «огненным воздухом», совершено практически одновременно в 1774 г. Дж. Пристли (1733—1804), К. Шееле (1742—1786) и А. Лавуазье (1743—1794). Кроме газов, составляющих воздух, эти ученые открыли и другие газы. Пристли обнаружил также столь хорошо известный теперь факт, что (применяя современные термины) углекислый газ превращается растениями в кислород. Перечисленные химики-пневматики усовершенствовали технику работы с газами и подготовили условия для возникновения атомно-молекулярного учения.

Открытия пневматиков не подтверждали существования флогистона, но они не прекращали попытки объяснить новые факты на основе этой рушащейся теории. Решительно опровергнуть теорию флогистона на основе обширных и убедительных экспериментальных исследований смог великий химик XVIII в. А. Лавуазье.

Антуан Лоран Лавуазье родился 26 августа 1743 г. в Париже. Подобно Бойлю и Ломоносову он последовательно применял для решения основных проблем химии теоретические представления и методы физики своего времени и получил важнейшие научные результаты. Он создал кислородную теорию горения, которая уже не оставила места для теории флогистона. Взгляды Лавуазье довольно быстро были приняты большинством химиков. Лавуазье вместе с другими французскими химиками разработал химическую номенклатуру, предложил классификацию веществ. В 1789 г. он выпустил свой знаменитый «Элементарный учебник химии», в котором обобщил все достижения химии того времени. Одновременно с напряженной научной деятельностью Лавуазье занимался финансами, являясь одним из откупщиков по сбору налогов. В период якобинской диктатуры во Франции в 1794 г. Лавуазье был арестован как участник заговора, осужден революционным трибуналом на смертную казнь и на другой день казнен. Через два года Лавуазье был признан несправедливо осужденным.

В своих исследованиях Лавуазье отчасти шел по следам Ломоносова, но применял более совершенную технику эксперимента. Прокаливая металлы в запаянных ретортах, он также установил неизменность их массы и, кроме того, обнаружил, что увеличение массы твердого остатка в реторте равно уменьшению массы воздуха. Так было показано, что простым веществом, или элементом, является не окалина, которая будто бы соединяется с флогистоном, давая металл, а именно металл. В дальнейших опытах Лавуазье установил, что металл соединяется с огненным воздухом. Эту составную часть воздуха Лавуазье назвал «*oxigen*», что было переведено на русский язык и стало названием элемента и газообразного вещества — *кислород*. Сжигание неметаллов, в результате чего образуются кислотные оксиды, привело Лавуазье к кислородной теории кислот, которая в дальнейшем не получила полного подтверждения. Лавуазье установил, что вода состоит из водорода и кислорода, но вопреки его теории не является кислотой. Важным достижением Лавуазье явился вывод, что при химических реакциях сохраняется не только общая масса веществ, но и масса каждого химического элемента. Стало окончательно ясным, что алхимические идеи превращения металлов несостоятельны.

После работ Лавуазье химики приблизились к созданию атомно-молекулярного учения.

Глава 2

АТОМНО-МОЛЕКУЛЯРНАЯ СТРУКТУРА ВЕЩЕСТВА

Изучив содержание главы 2, студенты должны:

знать

- основные доказательства реальности атомов и молекул;
- закон постоянства состава и закон эквивалентов;
- понятия «атом», «химический элемент», «нуклид», «изотоп»;
- понятие о структурных единицах вещества;
- понятие «количество вещества» и единицу его измерения моль;

уметь

- характеризовать структуру вещества;
- проводить расчеты по формулам вещества и уравнениям химических реакций;

владеть

- навыками практического применения законов химии.
-

7. Возникновение атомно-молекулярного учения

Приведенные во введении примеры отдельных шагов химии по ступеням, ведущим к созданию современной науки, показывают всю сложность проникновения в природу вещества и его превращений. От непосредственно наблюдаемых явлений еще крайне далеко до истинного понимания того, что мы наблюдаем. Наблюдения чаще всего вели к ложным выводам. Человек видел, как Солнце проходит по небесному своду, и сделал вывод, что оно вращается вокруг Земли. Однако сопоставление многих наблюдений помогает выявить зависимости между не связанными между собой, на первый взгляд, явлениями и постепенно глубже проникать в природу вещей. Когда же к наблюдениям присоединяется тщательно продуманный эксперимент, то явления реальной действительности поддаются не только качественному, но и количественному теоретическому описанию. Научная картина природы наблюдаемых явлений, строения вещества, жизнедеятельности живых существ становится все более реалистичной.

В химии распространение количественного метода исследования на основе закона сохранения массы создало предпосылки для быстрого становления атомно-молекулярного учения. Основы атомно-молекулярного учения впервые были изложены М. В. Ломоносовым. В 1741 г. в одной из своих первых работ «Элементы математической химии» он сформулировал важнейшие положения корпускулярной теории строения вещества. Все вещества состоят из мельчайших «нечувствительных» частичек, физически неделимых и обладающих способностью взаимного сцепления. Свойства веществ обусловлены свойствами этих частичек; различие в свойствах

веществ зависит только от различия самих частичек или способа их взаимной связи. Удивительно, как буквально это подтвердилось в дальнейшем! Достаточно вспомнить состав и свойства графита и алмаза.

Ломоносов различал два вида частиц: более мелкие — «элементы», соответствующие атомам в современном понимании этого термина, и более крупные — «корпускулы», которые мы называем теперь молекулами. По его определению, «элемент это часть тела, не состоящая из каких-либо других меньших и отличающихся от него тел... Корпускула есть собрание элементов, образующее одну малую массу».

Каждая корпускула имеет тот же состав, что и все вещество. Химически различные вещества имеют и различные по составу корпускулы. «Корпускулы однородны, если состоят из одинакового числа одних и тех же элементов, соединенных одинаковым образом» и «корпускулы разнородны, когда элементы их различны и соединены различным образом или в различном числе». Из приведенных определений очевидно, что причиной различия веществ Ломоносов считал не только различие в составе корпускул, но и различное расположение элементов в корпускуле.

Излагая свои взгляды на строение вещества из «нечувствительных» частиц, Ломоносов особенно подчеркивал, что каждая корпускула имеет некоторые ненулевые, хотя и очень малые размеры и обладает определенной массой. Подобно всем физическим телам, корпускулы могут двигаться по законам механики; без движения корпускулы не могли бы сталкиваться друг с другом, отталкиваться или как-либо иначе взаимодействовать и изменяться. Движением корпускул, в частности, объясняются такие явления, как нагревание и охлаждение тел. Так как все изменения веществ обуславливаются движением корпускул, то химические превращения должны изучаться не только методами химии, но и методами физики и математики.

Теоретические взгляды Ломоносова не могли быть быстро подтверждены экспериментальным путем из-за отсутствия на том этапе развития науки соответствующих методов исследования. Но появившиеся на протяжении последующих 50—60 лет количественные данные о составе сложных веществ давали подтверждения атомно-молекулярного учения.

8. Законы химии о составе веществ

Вскоре после открытий Лавуазье в химии был установлен ряд законов, послуживших основанием для утверждения атомно-молекулярного учения.

Закон постоянства состава. Постоянство состава веществ уже давно молчаливо признавалось химиками как нечто само собой разумеющееся. Развитие методов анализа к концу XVIII в. позволило подтвердить постоянство состава индивидуальных веществ. Например, где бы ни была взята вода — из океана, реки, колодца или собрана во время дождя, — она после необходимой очистки от примесей имеет постоянный состав, а именно, в ней на одну массовую часть водорода приходится 8 массовых частей кислорода. Постоянство состава воды подтверждается и синтезом. Если смешать водород и кислород в том же соотношении 1 : 8 и поджечь эту смесь,

то исходные вещества прореагируют без остатка, образуя 9 частей воды. Если одного из газов взято больше, чем требуется по соотношению 1 : 8, то часть его не вступает в реакцию, а состав образовавшейся воды остается прежним.

В результате обобщения данных о составе многих веществ в 1799 г. французским химиком Ж. Прустом (1754—1826) был установлен закон постоянства состава.

Состав химического соединения всегда постоянен независимо от условий получения.

Официальное признание в науке этот закон получил только в результате восьмилетнего спора между Прустом и другим французским химиком К. Бертолле (1748—1822), который не был согласен с постоянством состава всех соединений. Ему казалось естественным, что в известных пределах состав вещества может колебаться в зависимости от условий образования и относительных количеств взятых для его получения исходных веществ. В подтверждение Бертолле приводил результаты анализов некоторых веществ, полученных им в различных условиях. В конце концов победа осталась на стороне Пруста, который рядом точных анализов доказал, что во всех случаях, на которые ссылался Бертолле, последний имел дело с недостаточно очищенными веществами.

Со временем все же были открыты многочисленные вещества непостоянного состава, что обусловлено природой соединяющихся атомов. Например, в кристаллах оксида железа(II) FeO , как правило, имеется недостаток атомов железа, и вещество фактически имеет состав от $\text{Fe}_{0,89}\text{O}$ до $\text{Fe}_{0,95}\text{O}$. Это объясняется тем, что часть атомов железа в веществе имеет степень окисления +3, вследствие чего число атомов железа относительно кислорода уменьшается. Подобные вещества были названы в честь Бертолле *бертоллидами*.

Строгое постоянство состава характерно для веществ с молекулярными структурами. У веществ с атомными структурами, к которым принадлежат оксиды многих металлов, нередко отклонения от постоянного состава.

Следует заметить, что из закона постоянства состава не следует, что при данном элементном составе существует только одно вещество. Известны также вещества, имеющие одинаковый состав, но разные свойства. Иначе говоря, это разные вещества с одинаковым составом. Они имеют разное строение молекул и называются *изомерами*.

Закон кратных отношений. Многие элементы могут соединяться между собой в нескольких различных массовых отношениях, образуя при этом разные вещества. Так, например, медь образует с кислородом два соединения: одно черного цвета (оксид меди(II)), содержащее 79,89% меди и 20,11% кислорода, другое — красного цвета (оксид меди(I)), содержащее 88,82% меди и 11,18% кислорода.

Рассматривая состав такого рода соединений, английский химик Дж. Дальтон (1766—1844) обнаружил важное соотношение, на основе которого он сформулировал в 1804 г. закон кратных отношений.

Если два элемента образуют между собой несколько химических соединений, то весовые количества одного из элементов, приходящиеся в этих соединениях на одно и то же количество другого, относятся между собой как небольшие целые числа.

Джон Дальтон родился 6 сентября 1766 г. в Кумберленде, Англия. Сын ткача, Дальтон уже с раннего возраста начал работать, все же свое свободное время он посвящал изучению математики, естественных наук и латинского языка. В 1793 г. Дальтон был приглашен в Манчестер преподавать математику и натурфилософию в колледже. В Манчестере он был избран секретарем, а затем президентом философского общества.

Из естественных наук Дальтон особенно интересовался метеорологией. С 1787 г. и до самой смерти он ежедневно записывал свои наблюдения над погодой, сделав в общей сложности не менее 200 тыс. наблюдений. Интерес к метеорологии побудил его заняться изучением свойств газов. Он открыл закон парциального давления газов и, как следствие из него, вывел, что растворимость газа, находящегося в смеси с другими газами, пропорциональна его парциальному давлению. С 1803 г. Дальтон начал развивать атомную теорию в приложении к химии. Он установил закон кратных отношений, ввел представление об относительном атомном весе и составил первую таблицу относительных атомных весов 14 элементов, приняв за единицу вес водорода. Он же первый стал применять различные знаки для обозначения атомов, позднее замененные современными химическими символами.

Рассмотрим проявление закона кратных отношений на примере оксидов меди (табл. 2.1). Выше приведен состав этих оксидов в процентах по массе.

Таблица 2.1

Массы кислорода и меди на 100 г оксидов

Оксиды меди	Масса, г		Масса меди на 1 г кислорода, г	Отношение масс меди
	кислород	медь		
Красный	11,18	88,82	$88,82 : 11,18 = 7,94$	2
Черный	20,11	79,89	$79,89 : 20,1 = 3,97$	1

Соотношение между массами меди в последней колонке таблицы легче всего объяснить, если считать, что медь и кислород состоят из множества атомов, которые соединяются между собой в разных количествах. В черном оксиде на один атом кислорода приходится один атом меди, а в красном — два. Точнее установить соотношение между атомами по этим данным невозможно. Например, так же допустимо предположить, что на один атом кислорода приходится два и четыре атома меди.

Такие же простые отношения были найдены Дальтоном для соединений углерода с кислородом. Оказалось, что в углекислом газе на 3 г углерода приходится 8 г кислорода, а в угарном газе — 4 г. Отсюда следует, что в одном случае на один атом углерода приходится два атома кислорода, а в другом — один атом кислорода. При этом следует подчеркнуть, что вещества с разным массовым соотношением одних и тех же элементов

не похожи по свойствам и, безусловно, представляют собой разные вещества.

Закон эквивалентов. Весовое отношение водорода и кислорода в воде (1 : 8) было принято за основу для вычисления так называемых *эквивалентов* всех простых и сложных веществ. Если принять эквивалент водорода за единицу, а эквивалент кислорода за восемь, то эквивалентом любого другого элемента или вещества будет число весовых частей, которое в химических реакциях присоединяет или замещает одну весовую часть водорода или восемь весовых частей кислорода.

Пример 2.1. По данным табл. 2.1 можно вычислить эквиваленты меди в оксидах. Умножая массы меди в четвертой графе таблицы на восемь, получаем: для красного оксида $\mathcal{E}(\text{Cu}) = 63,52$; для черного оксида $\mathcal{E}(\text{Cu}) = 31,76$. У красного оксида эквивалент меди совпадает с атомной массой, но это было установлено позднее.

Закон эквивалентов был сформулирован так.

Вещества реагируют между собой и образуются в результате реакций в весовых (массовых) количествах, пропорциональных их эквивалентам, т.е.

$$\frac{m_1}{\mathcal{E}_1} = \frac{m_2}{\mathcal{E}_2}.$$

Из формулы понятно, что при известных эквивалентах веществ и массе одного из них можно вычислить массу второго вещества, которая может вступить в реакцию или образоваться в результате реакции. В настоящее время закон эквивалентов в модернизированной форме применяется для расчетов в аналитической химии.

На основе всех имевшихся данных о веществах и их превращениях Дальтон сформулировал основные положения атомно-молекулярного учения, которые сводятся к следующему:

1. Вещества состоят из очень малых частиц — атомов, связанных между собой силами взаимного притяжения.

2. Каждое вещество состоит из своих атомов. Простые вещества состоят из простых неделимых атомов, сложные — из «сложных атомов», которые при химических реакциях могут распадаться на атомы простых веществ.

3. Все атомы одного и того же вещества совершенно одинаковы по форме и по весу, но отличаются от атомов другого простого или сложного вещества. Вес сложного атома равен сумме весов образующих его простых атомов.

4. При образовании сложных веществ «сложные атомы» складываются из небольшого числа простых атомов. Так, например, два простых вещества, состоящие из атомов А и В, могут образовать сложное вещество, частички которого будут иметь состав А + В, или 2А + В, или А + 2В и т.д. Этим объясняется существование нескольких различных соединений двух элементов.

При сопоставлении атомистики Ломоносова и Дальтона можно отметить, что взгляды Ломоносова ближе к современным теоретическим поло-

жениям химии. Дальтон отвергал возможность существования «сложных атомов» (молекул) простых веществ. Дальтон придерживался теории теплорода и движение самих атомов не признавал. Однако ко времени научной деятельности Дальтона созрели условия для признания химиками атомно-молекулярного учения, и оно быстро утвердилось в химии.

Следующая задача атомно-молекулярного учения состояла в определении атомных масс. Атом невозможно было ни увидеть, ни взвесить. Дальтон решил определить относительные атомные веса, приняв вес атома водорода, как самого легкого из атомов, за единицу. Таким образом, атомным весом элемента Дальтон назвал отношение веса его атома к весу атома водорода.

При определении атомного веса Дальтон исходил из результатов анализа сложного вещества, состоящего из водорода и данного элемента. Весовые (массовые) доли элементов в таком веществе должны относиться как веса атомов водорода и второго элемента в веществе. При этом число атомов элементов в «сложном атоме» неизвестно. Дальтон решил сделать простейшее предположение, что атомы двух элементов соединены в равном количестве. Для молекулы воды было принято, что она состоит из атома водорода и атома кислорода, причем получалось, что последний имеет атомную массу 8. Со временем выяснилось, что это ошибочное предположение, но в начале XIX в. оно было вполне оправдано.

В окончательном признании атомно-молекулярного учения большую роль сыграло исследование газов.

Закон простых объемных отношений. Первые количественные исследования реакций между газами принадлежат французскому ученому Ж. Гей-Люсаку (1778–1850), автору известного закона о тепловом расширении газов. В 1804–1808 гг. он занимался измерением объемов вступающих в реакцию и образующихся при реакции газообразных веществ. Результаты своих работ Гей-Люсак суммировал в виде закона простых объемных отношений, или химического закона Гей-Люсака.

Объемы вступающих в реакцию газов относятся друг к другу и к объемам образующихся газообразных продуктов реакции как небольшие целые числа.

Конечно, при этом предполагается, что объемы всех участвующих в реакции газов измерены при одинаковых давлении и температуре.

Рассмотрим примеры реакций между газообразными веществами. Как известно, при разложении воды электрическим током объем выделяющегося водорода вдвое больше объема выделяющегося кислорода. В таком же объемном отношении 2 : 1 нужно смешать оба газа, чтобы они прореагировали без остатка с образованием воды. При этом оказывается, что объем получающегося водяного пара равен $\frac{2}{3}$ первоначального объема газовой смеси, т.е. из двух объемов водорода и одного объема кислорода (в сумме три объема) образуются два объема водяного пара. Эти отношения объемов представлены на рис. 2.1.

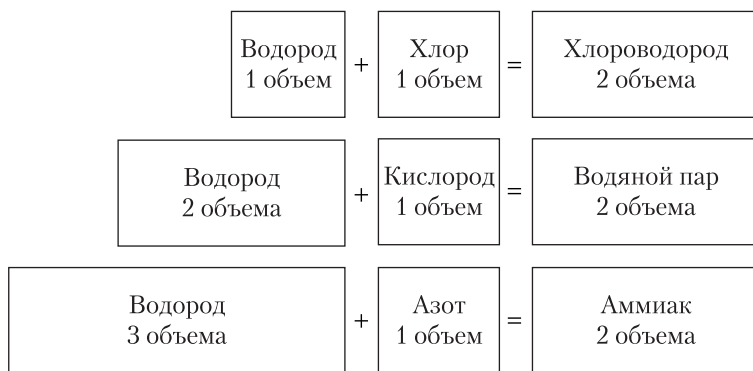


Рис. 2.1. Объемные отношения в реакциях между газами

Если смешать равные объемы хлора и водорода и пропустить через смесь электрическую искру или же выставить смесь на яркий солнечный свет, то происходит взрыв и образуется новое газообразное вещество — хлороводород. Оба газа соединяются без остатка, если на один объем хлора приходится один объем водорода, и при этом получаются два объема хлороводорода.

При образовании аммиака из азота и водорода на один объем азота требуется взять три объема водорода, и в результате получается два объема аммиака.

Закон простых объемных отношений привлек к себе общее внимание химиков. Было очевидно, что здесь проявляется какое-то общее свойство газов, выражающееся также в их одинаковом поведении при изменениях давления и температуры. По мнению Й. Берцелиуса (1799—1848), одного из самых авторитетных химиков того времени, это свойство заключалось в том, что равные объемы газов при одинаковых условиях содержат равное число атомов. Казалось, что это открывает возможность легко определять атомные веса газов, сравнивая вес газа с весом такого же объема водорода. Но здесь обнаружилось противоречие. Действительно, если число атомов в равных объемах двух газов одинаково, то, например, из одного объема водорода и одного объема хлора должно образоваться не более одного объема хлороводорода, так как «сложный атом» последнего должен содержать хотя бы по одному атому водорода и хлора.

Ключ к объяснению закона Гей-Люсака был найден итальянским физиком и химиком А. Авогадро (1776—1856), который в 1811 г. указал, что все противоречия устраняются, если признать, что простые газообразные вещества состоят не из отдельных атомов, а из молекул, содержащих два или даже больше одинаковых атомов.

Гипотеза Авогадро не только объясняла простые отношения между объемами реагирующих и образующихся газов, но и позволяла сделать важные выводы относительно числа атомов в молекулах простых и сложных газов, открывая путь к определению истинных атомных весов. Вернемся к примеру образования воды из водорода и кислорода. Из объемного отношения водорода, кислорода и воды 2 : 1 : 2 следует, что кислород должен состоять

из двухатомных молекул. Водород тоже состоит из двухатомных молекул, что следует из объемных отношений в реакции водорода с хлором. Тогда выходит, что на каждую молекулу воды затрачивается молекула (2 атома) водорода. Это значит, что при весовом отношении водорода и кислорода в воде 1 : 8 атомный вес кислорода равен 16.

Представление о молекулярном строении простого вещества получило признание далеко не сразу. Противниками его являлись Дальтон и Берцелиус, упорно не допускавшие возможности существования молекул, состоящих из одинаковых атомов. Только с конца 40-х гг. XIX в. гипотеза Авогадро получает признание в химии. Представления Авогадро развил другой итальянский ученый С. Канниццаро (1826—1910), который в книге «Конспект курса химической философии», вышедшей в 1858 г., с поразительной ясностью излагает свои взгляды на основные вопросы химии и указывает способы определения молекулярных и атомных весов. Свою книгу Канниццаро разослал многим выдающимся химикам Европы. После этого по инициативе ряда химиков в 1860 г. в Карлсруэ собрался I Международный конгресс химиков, на котором были приняты соглашения о ряде основополагающих понятий атомно-молекулярного учения. Это учение получило окончательное признание.

9. Реальность атомов и молекул

Учением принято называть совокупность положений в какой-либо области знания, носящих в значительной мере умозрительный характер, опирающихся на различные косвенные аргументы: наблюдения, результаты экспериментов, умозаключения. Возникновение учений характерно для философии. В естественных науках употребление понятия «учение» носит случайный характер. Химия не могла остановиться на создании атомно-молекулярного учения. Требовалось прямыми методами доказать реальность этих частиц.

Одна из первых попыток в этом направлении была предпринята французским ученым Ж. Перреном (1870—1942). Он провел количественное исследование явления, называемого броуновским движением. При рассмотрении капли суспензии, т.е. жидкости с взвешенными в ней мелкими частицами, в сильный микроскоп можно видеть, что частицы непрерывно и беспорядочно движутся. Если проследить путь отдельной частицы, то получается сложная зигзагообразная линия (рис. 2.2). Это движение может продолжаться сколь угодно долго, не ослабевая и не изменяя своего характера. Причиной видимого движения частиц суспензии является движение окружающих их невидимых молекул жидкости. Толчки, получаемые частицами суспензии со всех сторон от молекул жидкости, не могут в точности уравновешивать друг друга. В каждый данный момент какой-то удар по энергии превышает другие удары, в результате чего частицы совершают свой причудливый путь. Таким образом, уже сам факт существования броуновского движения свидетельствует о реальности молекул и дает картину их беспорядочного теплового движения, так как взвешенные частицы,

в общем, повторяют те же движения, что и молекулы, но с меньшей скоростью из-за огромного различия в массах. Путем длительного наблюдения за движением частиц Перрену удалось определить среднюю скорость их перемещения. Отсюда, зная массу частиц приготовленной суспензии, Перрен вычислил их среднюю кинетическую энергию. Результат получился поразительный. Оказалось, что кинетическая энергия частиц совпадает с кинетической энергией молекул газа, вычисленной для той же температуры на основании кинетической теории. Частицы Перрена были примерно в 10^{12} раз тяжелее молекул водорода, кинетическая же энергия тех и других одинакова. После установления этих фактов уже трудно было отрицать реальность молекул.

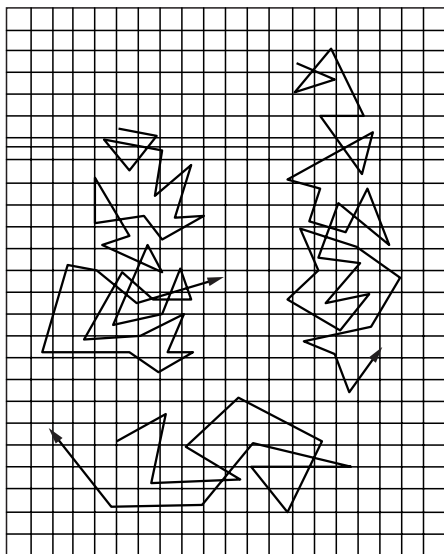


Рис. 2.2. Броуновское движение частиц

Еще более прямое доказательство атомно-молекулярного строения вещества дает прохождение рентгеновских лучей через кристаллы. В результате их рассеяния на электронах возникает дифракционная картина, обнаруживающая закономерно расположенные максимумы электронной плотности, соответствующие отдельным атомам (рис. 2.3). Отсюда вычисляются межатомные расстояния, а следовательно, и радиусы атомов. Начало рентгеноструктурному исследованию кристаллических веществ было положено швейцарским физиком М. Лауэ (1879—1960) в 1912 г.

Созданы также микроскопы (атомный силовой микроскоп), основанные на эффектах квантовой механики, увеличение которых достаточно для непосредственного наблюдения атомов на поверхности кристалла (рис. 2.4).

Все это говорит о том, что атомно-молекулярное учение усилиями ученых на протяжении приблизительно 150 лет преобразовалось в надежный, вполне достоверный фундамент химии. Таким образом, понятие «учение» к современной теории атомов и молекул уже не подходит.

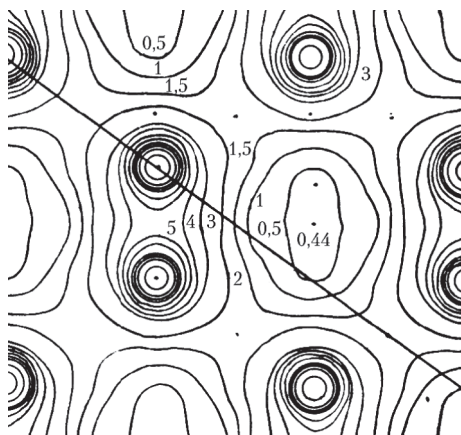


Рис. 2.3. Максимумы электронной плотности в кристалле алмаза, определенные из рассеяния рентгеновских лучей

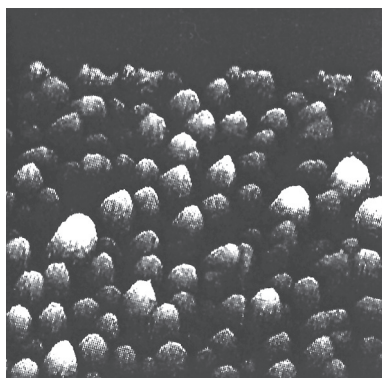


Рис. 2.4. Атомы кремния на поверхности кристалла

10. Атомы. Химические элементы

Символы химических элементов, используемые в настоящее время, были введены в науку в 1813 г. Й. Берцелиусом. Элементы обозначаются начальными буквами их латинских названий. Химических элементов больше, чем букв алфавита, и поэтому большинство элементов обозначаются символом из двух букв. При чтении химических формул символы водорода, углерода, азота, кислорода, фосфора и серы произносятся как название буквы (вода H_2O — «аш два о»), а остальные — как полное латинское название элемента (SiO_2 — «силиций о два»).

Уточним понятия атома и химического элемента, предполагая, что некоторые сведения о структуре атома уже известны из курса химии средней школы. Атом имеет устойчивое положительно заряженное ядро и электронные оболочки. За счет изменения энергии электронов на внешних оболочках образуются химические связи между атомами. При этом ядро никак не изменяется. Данный атом может входить в состав молекул, переноситься

при реакциях из одних молекул в другие, терять и принимать электроны, переходить в газообразное состояние с разрывом всех химических связей, но ядро атома при всех этих превращениях полностью сохраняется — как по массе, так и по заряду. Любые цепочки химических превращений вещества не приводят к превращению самих атомов. С учетом этого специфического поведения атомов можно дать следующее определение.

Атом — это микрочастица вещества, сохраняющаяся при химических превращениях.

В природе существует 90 видов атомов, различающихся по заряду ядра. Еще около 30 видов получено с применением физических методов превращения ядер. Химическое поведение атомов в конечном счете полностью определяется зарядами ядер. Отсюда следует научное определение химического элемента.

Вид атомов с одинаковым зарядом ядра называется химическим элементом.

Атомы данного химического элемента, собранные отдельно от других атомов, образуют простое вещество. Вообще же понятием химического элемента не определено, где именно находятся его атомы, входят ли в состав сложных веществ и смесей. Все атомы данного вида, где бы они ни находились, мыслятся как химический элемент.

Атомы с одинаковым зарядом могут различаться между собой по массе, так как в их ядрах находятся не только заряженные частицы *протоны*, но и незаряженные частицы с почти такой же массой *нейтроны*. При изменении числа нейтронов изменяется масса атома при одном и том же заряде. Таким образом, химический элемент может охватывать две или несколько разновидностей атомов с разными массами.

Вид одинаковых атомов, как по заряду ядра, так и по массе, называется нуклидом.

Нуклиды с одинаковым зарядом ядра, но разной массой называются изотопами.

Нуклиды обозначаются символом элемента с двумя индексами слева: нижний индекс — атомный номер (заряд ядра) и верхний индекс — массовое число (суммарное число протонов и нейтронов). Например, имеющиеся в природе изотопы кремния обозначаются так: ${}^{28}_{14}\text{Si}$, ${}^{29}_{14}\text{Si}$ и ${}^{30}_{14}\text{Si}$.

Большинство элементов представляют собой смесь изотопов, меньшее число их (20) оказывается одиночными нуклидами.

Широко известно, что существует так называемая тяжелая вода. Подразумевается, что в ее составе находится редкий изотоп водорода с массовым числом не один, а два. В природе изотопы всегда присутствуют совместно.

Поэтому в составе вещества одновременно присутствуют все природные изотопы элемента. Выделяя какой-либо элемент в виде простого вещества, мы получаем сразу все его изотопы. Обычными химическими методами изотопы не разделяются.

В табл. 2.2 даны сведения о наиболее известных химических элементах. Остальные химические элементы можно найти в периодической системе элементов (таблице Менделеева). Одна из наиболее легко определяемых характеристик атома и химического элемента — масса. В настоящее время за атомную единицу массы — сокращенно а.е.м. — принята $1/12$ часть массы наиболее распространенного изотопа углерода $^{12}_6\text{C}$. В природном углероде есть примесь более тяжелых изотопов, поэтому атомная масса самого углерода выражается не точно числом 12, а немного превышает его — 12,011.

Атомная масса A — это масса атома и соответственно химического элемента, выраженная в а.е.м.

Таблица 2.2

Наиболее известные химические элементы

Атомный номер	Название	Символ	Атомная масса A , а.е.м.	Год открытия	Содержание в земной коре, % по массе
1	Водород	H	1,0079	1766	0,152
2	Гелий	He	4,0026	1895	$8 \cdot 10^{-7}$
6	Углерод	C	12,0110	—	0,048
7	Азот	N	14,0067	1772	0,0025
8	Кислород	O	15,9994	1774	47,1
11	Натрий	Na	22,9898	1807	2,3
12	Магний	Mg	24,3050	1808	2,3
13	Алюминий	Al	26,9815	1825	8,2
14	Кремний	Si	28,0855	1824	27,7
15	Фосфор	P	30,9738	1669	0,1
16	Сера	S	32,0650	—	0,026
17	Хлор	Cl	35,4530	1774	0,013
19	Калий	K	39,0983	1807	2,1
20	Кальций	Ca	40,0780	1808	4,1
25	Марганец	Mn	54,9380	1774	0,095
26	Железо	Fe	55,8450	—	4,1
29	Медь	Cu	63,5460	—	0,005
30	Цинк	Zn	65,4090	—	0,0075
35	Бром	Br	79,9040	1826	$3,7 \cdot 10^{-5}$

Атомный номер	Название	Символ	Атомная масса A , а.е.м.	Год открытия	Содержание в земной коре, % по массе
47	Серебро	Ag	107,8682	—	$7 \cdot 10^{-6}$
50	Олово	Sn	118,7100	—	$2,2 \cdot 10^{-4}$
53	Иод	I	126,9040	1811	$1,4 \cdot 10^{-5}$
79	Золото	Au	196,9665	—	$1,1 \cdot 10^{-7}$
80	Ртуть	Hg	200,5900	—	$5 \cdot 10^{-6}$
82	Свинец	Pb	207,2000	—	0,0014
92	Уран	U	238,0290	1789	$2,4 \cdot 10^{-4}$

Чаще используют относительную атомную массу A_r , которая отличается только тем, что не имеет единицы измерения, т.е. получается делением атомной массы на 1 а.е.м. Для краткости A_r тоже можно называть атомной массой. Сама по себе атомная масса не дает представления о величине атома. Для этого надо знать соотношение между а.е.м. и граммом. Это соотношение таково:

$$6,02 \cdot 10^{23} \text{ а.е.м.} = 1 \text{ г, или } 6,02 \cdot 10^{23} \text{ а.е.м./г} = 1;$$

$$1,66 \cdot 10^{-24} \text{ г} = 1 \text{ а.е.м., или } 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ г/а.е.м.} = 1.$$

Из этих соотношений можно составить представление о реальных размерах атомов, а также о числе атомов в конкретных образцах вещества. Выражения, содержащие отношение единиц измерения а.е.м./г и г/а.е.м., удобны для подстановки в уравнения при необходимости перехода от одной единицы измерения к другой.

Пример 2.2. То, насколько мала частица, называемая атомом, можно яснее осмыслить на следующем примере. Всем понятно, сколь далеки от нас даже ближайшие звезды. Так вот, если бы молекулы, составляющие 32 мг кислорода (приблизительно $22,5 \text{ см}^3$ газа, что равно небольшому мыльному пузырю диаметром 3,5 см), равномерно разместить на прямой линии между Солнцем и ближайшей к нам яркой звездой α Центавра, до которой $4,125 \cdot 10^{13} \text{ км}$, то расстояния между молекулами составили бы лишь 7 сотых долей миллиметра. Значит, в этой небольшой массе находится колоссальное число молекул, которое можно вычислить, деля массу данной порции кислорода на массу одной молекулы:

$$N = \frac{32 \text{ мг} \cdot 0,001 \text{ г} \cdot \text{мг}^{-1}}{32 \text{ а.е.м.} \cdot 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ г} \cdot \text{а.е.м.}^{-1}} = 6 \cdot 10^{20} = 600 \text{ 000 000 000 000 000 000}.$$

11. Молекулы и кристаллические структуры

Свойствам и строению атомов посвящена гл. 4 учебника. Но необходимо сказать теперь же о самом важном свойстве атомов, определяющем