

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

В.Ф. Кострюков, А.М. Самойлов, Е.В. Томина

СТЕХИОМЕТРИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ ХИМИИ В XXI ВЕКЕ

Учебное пособие для вузов

Воронеж
Издательский дом ВГУ
2016

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1. СТЕХИОМЕТРИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ ХИМИИ	5
Глава 2. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МАССЫ ВЕЩЕСТВ	9
Глава 3. ЗАКОН ПОСТОЯНСТВА СОСТАВА ВЕЩЕСТВ. ПОСТОЯНСТВО И ПЕРЕМЕННОСТЬ СОСТАВА В ХИМИИ.....	18
Глава 4. ЗАКОН ЭКВИВАЛЕНТОВ	33
4.1. Химические эквиваленты химических элементов.....	33
4.2. Химические эквиваленты кислот, оснований и солей	43
4.3. Химические эквиваленты веществ, участвующих в окислительно-восстановительных реакциях.....	51
4.4. Закон эквивалентов	52
Глава 5. ЗАКОН КРАТНЫХ ОТНОШЕНИЙ.....	57
Глава 6. ЗАКОН ПРОСТЫХ ОБЪЕМНЫХ ОТНОШЕНИЙ	62
Глава 7. ЗАКОН АВОГАДРО	64
7.1. Гипотеза Авогадро	64
7.2. Закон Авогадро и следствия из него	66
Библиографический список	76

Если вещества реагируют между собой *нацело и без остатка*, *отличительной особенностью* такого химического взаимодействия является то, что оно осуществляется не в произвольных, а в *строго определенных* соотношениях, которые как раз и регулируются стехиометрическими законами.

Понятие «*стехиометрия*» и производные от него широко используются в современной химической терминологии. Так, коэффициенты перед формулами веществ в уравнениях химических реакций называются *стехиометрическими коэффициентами*, а индексы, указывающие количество атомов в формулах соединений, – это *стехиометрические индексы*. В химических реакциях соотношения компонентов, при которых они реагируют без остатка, – это *стехиометрические соотношения* и т. п.

Открытие стехиометрических законов тесно связано с революционным изменением научной методологии химии. До середины XVIII столетия главными инструментами научного познания в химии были наблюдения и эксперименты, результаты которых трактовались преимущественно на уровне объяснения качественных изменений. Немногие ученые в XVI–XVII вв. применяли в своих исследованиях весы (сравнительно небольшой точности) и приборы для измерения объемов жидкостей или газов. В России количественные химические эксперименты использовал М.В. Ломоносов, а в Западной Европе переход к измерению масс и объемов реагирующих веществ, а также величин тепловых эффектов химических реакций активно пропагандировал А.Л. Лавуазье. Благодаря широкому применению количественных экспериментов А.Л. Лавуазье смог доказать научную несостоятельность теории флогистона и разработать кислородную теорию горения и дыхания, а также кислородную теорию строения химических веществ.

В рамках университетского курса неорганической химии изучается шесть стехиометрических законов химии: *закон сохранения массы веществ*, *закон постоянства состава веществ*, *закон эквивалентов*, *закон кратных отношений*, *закон объемных отношений* и *закон Авогадро*, сформулированный вначале в качестве молекулярной гипотезы для объ-

яснения закона объемных отношений, но в настоящее время имеющий самостоятельное значение*.

Стехиометрические законы были открыты в исторически короткий промежуток времени – в конце XVIII столетия и первом десятилетии XIX столетия. Необходимо иметь в виду, что в то время английский химик Джон Дальтон стремился возродить атомистическую теорию древнегреческих натурфилософов, превращая ее из умозрительной концепции в научное мировоззрение. Однако далеко не все выдающиеся химики того времени разделяли воззрения Дальтона. Поэтому в начале XIX века многие понятия, которые в настоящее время изучаются уже на школьной скамье, в химии еще не утвердились окончательно. Не были четко сформулированы представления об атомах и молекулах, отсутствовали химические формулы и уравнения, да и сами химические символы элементов. Поэтому в тот исторический период открытие стехиометрических законов, в особенности закона кратных отношений и закона постоянства состава веществ, способствовало укреплению в химии представлений, связанных с существованием атомов и молекул. В свою очередь атомистическая теория Дальтона позволила объяснить и понять смысл стехиометрических законов.

История открытия, эволюция понимания стехиометрических законов и их современное содержание весьма показательны и поучительны с точки зрения развития основных, фундаментальных понятий химии, таких как постоянство и переменность состава, проблемы валентности и химической

* С точки зрения истории химии *закон сохранения массы* не относится к стехиометрическим законам, поскольку он был установлен в предыдущий исторический период – период объединения химии. Кроме того, в современной физике концепция и свойства массы существенно пересмотрены по сравнению с классическими понятиями (см. главу 2). Масса более не является мерой количества вещества, а *закон сохранения массы* тесно связан с *законом сохранения внутренней энергии* системы. Поэтому закон сохранения массы следует рассматривать как одно из проявлений универсального закона природы – закона сохранения массы и энергии.

связи, реакционная способность веществ и т.п. Естественно, ничего не было известно о сложном строении атома и природе химической связи. Именно открытие стехиометрических законов и способствовало введению в химию многих из перечисленных фундаментальных понятий. Наряду с Периодическим законом, теорией химического строения и учением о химических процессах стехиометрические законы относят к **основным законам химии**.

Авторы данного учебного пособия доказывают, что при изучении стехиометрических законов важно рассматривать не только их фактическое содержание, но также анализировать их мировоззренческое значение и исторический контекст.

Контрольные вопросы и задания

1. Какой ученый впервые ввел в науку термин «стехиометрия»?
2. Что означает термин «стехиометрия» в настоящее время?
3. Что является отличительной особенностью такого химического взаимодействия, когда вещества реагируют между собой нацело и без остатка?
4. Какие стехиометрические законы изучают в рамках университетского курса неорганической химии?

Глава 2. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МАССЫ ВЕЩЕСТВ

В древнейшие времена античные натурфилософы высказывали этот закон в метафизической* форме, согласно которой вещество несотворимо и неуничтожимо. Одним из первых его сформулировал древнегреческий философ Эмпедокл** (V век до н. э.): «Ничто не может произойти из ничего, и никак не может то, что есть, уничтожиться». На рубеже позднего Средневековья и Нового времени передовые мыслители и ученые также не высказывали никаких сомнений в истинности этого закона. В 1620 г. английский философ Фрэнсис Бэкон*** провозгласил: «Сумма материи остается всегда постоянной и не может быть увеличена или уменьшена... ни одна мельчайшая ее часть не может быть ни одолена всей массой мира, ни разрушена совокупной силой всех агентов, ни вообще как-нибудь уничтожена».

Необходимо подчеркнуть, что высказывания Эмпедокла и Ф. Бэкона носили сугубо умозрительный характер, были результатами теоретических рассуждений и не подкреплялись экспериментальными данными. Поэтому лишь некоторые ученые разделяли взгляды мыслителей, но большинство современников придерживалось иных точек зрения.

* Метафизика (от др.-греч. «то, что после физики») – раздел философии, занимающийся исследованиями первоначальной природы реальности, мира и бытия как такового.

** Эмпедокл (490 до н. э. – 430 до н. э.) – древнегреческий философ, врач, государственный деятель, жрец. Труды Эмпедокла написаны в форме поэм. Был плюралистом, признавая множественность архэ. Являлся сторонником демократии. Автор поэмы «О природе», из которой сохранились 340 стихов, а также религиозной поэмы «Очищения» (сохранилось около 100 стихов).

*** Фрэнсис Бэкон (1561–1626) – английский философ, историк, политик, основоположник эмпиризма. Крупный государственный деятель при короле Якове I. В 1621 г. Ф. Бэкон закончил государственную деятельность и последние годы жизни посвятил исключительно научной и литературной работе.

Впервые в отчетливой форме на основе результатов многочисленных экспериментов этот закон был сформулирован еще в середине XVIII века великим русским ученым М.В. Ломоносовым (1748–1756 гг.).



Антуан Лоран Лавуазье
(1743–1794)



Михаил Васильевич Ломоносов
(1711–1765)

«Но все изменения, совершающиеся в природе, происходят таким образом, что сколько к чему прибавилось, столько же отнимается от другого. Так, сколько к одному телу прибавится вещества, столько же отнимется от другого...» – писал М.В. Ломоносов. Многие идеи, высказанные этим великим ученым, намного опередили свое время и сохраняют свое значение и в наши дни. Русский ученый сформулировал и *вторую часть* закона – закон сохранения энергии: «Этот закон природы является настолько всеобщим, что простирается и на правила движения: тело, возбуждающее толчком к движению другое, столько же теряет своего движения, сколько отдает от себя этого движения другому телу»*.

* Из письма М.В. Ломоносова Л. Эйлеру. 5 июля 1748 г. / М. В. Ломоносов // Избранные философские произведения. М. : Госполитиздат, 1950. С. 155.