

А. Минасян

Закон кратных отношений как проявление закона перехода количественных изменений в качественные

Изучая процессы химических превращений, М. В. Ломоносов опытным путем открыл основной закон химических превращений — закон сохранения вещества или, как теперь принято называть, закон сохранения массы вещества. Согласно этому закону, конкретные виды материи — вещества — способны в определенных условиях превращаться друг в друга. В этих превращениях вещество сохраняется количественно, но изменяется качественно. Иначе говоря, количество вещества во вселенной остается неизменным, независимо от того, какие изменения происходят в ней. А это подтверждает известное положение философского материализма, согласно которому материя существует вечно, как объективная реальность, независимо от воли и сознания человека. Из этого закона вытекает, что материя сохраняется не только в количественном, но и в качественном отношении. Отдельные виды вещества, как определенные качества, не могут существовать вечно, они рано или поздно превращаются друг в друга.

На основании опытных данных Лавуазье пришел к выводу о том, что при всех химических превращениях не только сохраняется общая масса вещества, но и масса каждого из элементов, которые входят в состав взаимодействующих веществ. Иначе говоря, при химических превращениях элементы вступают во взаимодействие как целые и неделимые частицы. Этот вывод ковенно подтверждает существование атомов и сохранение их массы при химических реакциях.

Дальнейшие исследования в области химии привели к установлению закона постоянства состава. Согласно закону постоянства состава, данное вещество может образоваться всегда из одних и тех же элементов, если они соединяются между собой в определенном количественном отношении. Если одни и те же элементы образуют различные тела, то они отличаются друг от друга в количественном отношении. Опыты показывают, что между этими соединениями нет промежуточных соединений. Поэтому переход от одного соединения к другому имеет не постепенный, а резко выраженный, скачкообразный характер.

Закон постоянства состава, который затрагивал характер образования химических соединений, был принят в науке после длительной борьбы, которая шла между двумя французскими химиками — Бертолле и Прустом.

Установление закона постоянства состава выяснило прерывистый ха-

рактер состава вещества и тем самым открыло путь к практическому утверждению атомизма.

Для обоснования атомистического учения имело важное значение открытие и практическое обоснование закона паев. Этот закон показывает, что различные вещества реагируют между собой в определенных количественных отношениях.

Паи любого вещества не существуют оторванно друг от друга. Но это не мешает измерять их как части неделимого целого. Паи можно рассматривать как своеобразный маленький скачок в пределе сравнительно большого скачка — данного вещества.

Прерывистый характер паев сыграл определенную роль в деле обоснования атомистического представления о строении вещества. Согласно атомистическому воззрению, атом неделим, и поэтому он может участвовать в химических реакциях как целое. Если состав различных веществ и химическое взаимодействие между ними имеет прерывистый характер, то это дает определенное указание об атомистическом строении вещества.

Скачкообразный переход из одного вещества к другому еще яснее выступает, когда изучают качественно различные вещества, состоящие из одних и тех же элементов. Эти скачки химики не могли открыть до тех пор, пока они пользовались исключительно способом процентного вычисления состава тел. Ибо одно процентное вычисление не давало возможности точно определить число атомов в молекуле. Различные вещества могут иметь одинаковый процентный состав, но очень сильно отличаться друг от друга. Так, например, ацетилен (C_2H_2) и бензол (C_6H_6) имеют один и тот же процентный состав, но молекулы этих соединений коренным образом отличаются друг от друга как своими качествами, так и строением.

Таким образом, процентное вычисление не дало возможности открыть истинное строение вещества и закон кратных отношений. Впоследствии, когда химики одновременно с процентным вычислением начали пользоваться новым методом вычисления, т. е. методом вычисления при помощи паев, как особой единицей, стало возможным обнаружить закон кратных отношений.

Паи, как единица измерения, как определенное количество, связан с определенным качеством. Эта связь ведет к новой мере вещества — атому. Атом, являясь мерой химического элемента, представляет из себя единство количественных и качественных сторон. Количественная сторона атома проявляется как единство паев данного атома, т. е. в атомном весе, а качественная сторона атома проявляется в понятии элемента.

Для перехода от паев к атомному весу элемента необходимо было определить не только паи сложных веществ, но и паи отдельных элементов, чтобы потом при помощи паев отдельных элементов прийти к определению атомных весов.

Практические исследования привели Дальтона к установлению закона кратных отношений. Закон кратных отношений гласит: если два элемента образуют между собой несколько соединений, то весовые количе-

ства одного из них, соединяющиеся с одним и тем же весовым количеством другого, относятся между собой, как простые целые числа. Закон кратных отношений нашел свое объяснение в атомистической теории. Установление атомистической теории в химии сделало ее настоящей наукой. При помощи атомистической теории был доказан закон кратных отношений, который, в свою очередь, подтверждал, что атомы существуют объективно, вне и независимо от человека и человечества. А признание объективного существования атомов является основой естественно-научного материализма.

Установление атомистической теории требовало определения атомных весов. Несмотря на то, что никто не видел и никто не мог непосредственно взвешивать отдельные атомы, все же человеческое мышление нашло путь к разрешению этого вопроса. Сначала были определены относительные атомные веса, а впоследствии на базе этого и других открытий стало возможно определить и их абсолютные веса.

Закон кратных отношений показывает скачкообразные изменения качества химических соединений с изменением их количественного состава. Здесь более наглядно проявляется закон перехода количественных изменений в качественные. Из двух элементов, которые соединяются между собой, образуя несколько соединений, весовое количество одного элемента остается всегда одним и тем же, а весовые количества другого элемента относятся между собой, как простые целые числа. Каждый раз увеличение весового количества второго элемента целыми числами при неизменном количестве первого элемента вызывает скачкообразные качественные изменения, в результате чего два элемента могут образовать между собой несколько качественно различных соединений.

Энгельс в своих трудах приводит закон кратных отношений для подтверждения закона перехода количественных изменений в качественные.

Закон кратных отношений широко проявляется при соединении химических элементов с кислородом, поэтому для иллюстрации этого закона лучше всего взять кислородные соединения химических элементов. Так, например, водород с кислородом образуют воду (H_2O) и перекись водорода (H_2O_2); здесь, как видно из формул, количество водорода остается одним и тем же, изменяется лишь количество кислорода, причем количества кислорода в обоих соединениях относятся один к другому, как 1 : 2. В этих соединениях количественные изменения кислорода являются причиной их качественного различия. Вода и перекись водорода сильно отличаются друг от друга; достаточно отметить, что перекись водорода сильный окислитель, а вода не обладает таким свойством. Точно так же сера при соединении с кислородом образует двуокись серы (SO_2) и трюкись серы (SO_3). Нетрудно заметить, что здесь причиной качественного различия является количественное различие числа атомов кислорода в этих соединениях.

Примеров, подтверждающих закон кратных отношений, очень много; замечательным подтверждением этого закона являются окислы азота. Известны пять окислов азота.

N_2O	NO	N_2O_3	NO_2	N_2O_5
закись азота	окись азота	азотистый ангидрид	двуокись азота	азотный ангидрид

Все эти соединения состоят из кислорода и азота; расчеты показывают, что в этих соединениях количества кислорода, приходящиеся на одну весовую часть азота, относятся друг к другу, как 0,57:1, 14:1, 71:2, 28:2, 85 или, как 1:2:3:4:5, т. е. причиной качественных изменений в этих соединениях являются количественные изменения кислорода. Этот же закон можно показать, исходя из атомистической теории, немного видоизменяя две формулы. Если мы NO и NO_2 представим в виде N_2O_2 и N_2O_4 , сохраняя их процентный состав (хотя часто простая конденсация молекул, как вид количественного изменения, вызывает качественные изменения), то ряд окислов азота можно писать так: N_2O , N_2O_2 , N_2O_3 , N_2O_4 , N_2O_5 . Здесь более наглядно видно, что количество атомов азота во всех этих соединениях остается постоянным (два), изменяется лишь количество атомов кислорода, притом изменение количества атомов кислорода идет равномерно (при переходе от одного соединения к другому происходит увеличение количества кислорода на один атом).

Азотный ангидрид (N_2O_5) — твердое вещество, остальные окислы при обыкновенных условиях — газы. Закись азота (N_2O) представляет собой бесцветный газ со слабым приятным запахом и сладким вкусом, хорошо растворяется в воде, не взаимодействует с ней химически. При вдыхании ее вместе с воздухом наблюдается характерное состояние опьянения, сопровождающееся значительным ослаблением болевых ощущений. В связи с этим закись азота называют «веселящим» газом. Закись азота плавится при $-102,3^\circ C$ и кипит при $-88,5^\circ C$. При нагревании закись азота сравнительно легко разлагается на кислород и азот, поэтому при повышенных температурах она функционирует как довольно сильный окислитель. Окись азота (NO) представляет собой бесцветный газ. Она плавится при $-163,6^\circ C$ и кипит при $-151,8^\circ C$. Связь между кислородом и азотом здесь более прочная, чем в закиси азота, вследствие чего лишь отдельные элементы горят в окиси азота, например, фосфор, а углерод и сера не горят. При обыкновенных условиях окись азота легко соединяется с кислородом воздуха, образуя двуокись азота (NO_2). Двуокись азота (NO_2) легко разлагается, образуя атомарный кислород и окись азота; атомарный кислород как хороший окислитель используют для окисления двуокиси серы и превращения ее в трехокись при получении серной кислоты камерным способом. Таким образом, окись азота является хорошим катализатором или переводчиком кислорода. Азотистый ангидрид (N_2O_3) очень легко разлагается, образуя окись азота и двуокись азота. Азотистый ангидрид плавится при $-102^\circ C$ и кипит при $-3,5^\circ C$, соединяясь с водой, образует азотистую кислоту. Двуокись азота представляет собой бурный газ, легко сгущающийся в жидкость, кипящую при $21,3^\circ C$. Близко к точке замерзания двуокись азота полимеризуется почти полностью и переходит в N_2O_4 . Двуокись азота — чрезвычайно сильный окислитель. Уголь, сера, фосфор

и т. п. легко сгорают в ней. С парами многих органических веществ она дает сильно взрывчатые смеси.

Азотный ангидрид (N_2O_5) представляет собой бесцветные, расплывающиеся на воздухе кристаллы. При $32^\circ C$ давление пара азотного ангидрида достигает 760 мм, причем испарение сопровождается частичным разложением азотного ангидрида на двуокись азота и свободный кислород, вследствие чего он является сильным окислителем. Азотный ангидрид бурно реагирует со многими органическими веществами, соединяясь с водой, образует азотную кислоту.

Из приведенных примеров легко заметить, что не только количественные изменения переходят в качественные, но и качественные изменения переходят в количественные, ибо каждое новое качество характеризуется новыми количественными соотношениями, выражающимися в точках плавления, кипения, плотности и др. Закон кратных отношений применим не только в отношении двух элементов, образующих между собой несколько новых соединений, но и в отношении трех элементов, образующих между собой несколько соединений. В этом случае закон кратных отношений проявляется в иной форме. Количество двух элементов остается постоянным в этих соединениях, а количество третьего элемента изменяется в простых кратных отношениях. Так, например, водород, хлор и кислород образуют между собой четыре кислоты: хлорноватистая ($HClO$), хлористая ($HClO_2$), хлорноватая ($HClO_3$) и хлорная ($HClO_4$); соответствующие соли этих кислот называются: гипохлориты, хлориты, хлораты и перхлораты. Нетрудно убедиться, что как качественные различия этих кислот, так и качественные различия их солей, обусловлены лишь количественными изменениями атомов кислорода. И действительно, в первом соединении мы имеем один атом кислорода, а при постепенном переходе от первого соединения к последующим происходит увеличение числа атомов кислорода, доходя в последнем до четырех.

Закон кратных отношений справедлив не только в отношении химических элементов, но и в отношении простых химических соединений. Так, например, молекула воды может соединяться с молекулой серной кислоты, образуя следующие гидраты: $H_2SO_4 \cdot H_2O$, $H_2SO_4 \cdot 2H_2O$, $H_2SO_4 \cdot 3H_2O$, $H_2SO_4 \cdot 6H_2O$ и $H_2SO_4 \cdot 8H_2O$. В этих гидратах количество серной кислоты остается неизменным (одна молекула), а соединенные с ней различные количества воды относятся друг к другу, как простые целые числа, т. е. как 1:2:4:6:8; эти гидраты характеризуются различными физическими константами, т. е. имеют различные точки плавления, точки кипения, плотность и т. д. Иначе говоря, количественные изменения воды в этих гидратах приводят к качественным изменениям. Точно так же азотная кислота, реагируя с водой, образует два кристаллогидрата $HNO_3 \cdot H_2O$ и $HNO_3 \cdot 3H_2O$. Первый кристаллогидрат плавится при $-38^\circ C$, а второй — при $-18^\circ C$. Хлорная кислота образует три кристаллогидрата со следующими формулами: $HClO_4 \cdot H_2O$, $HClO_4 \cdot 2H_2O$ и $HClO_4 \cdot 3H_2O$. В этих кристаллогидратах количество хлорной кислоты остается неизменным, а количество соединенной с ней воды относится друг к другу как 1:2:3. Количественное

изменение воды в этих соединениях приводит к качественным изменениям. Так, например, $\text{HClO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ плавится при -50°C , $\text{HClO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ плавится при -18°C , а $\text{HClO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ плавится при -43°C . Существование кристаллогидратов ясно показывает, что не только два элемента могут соединяться между собой, образуя несколько качественно различных соединений, но и два химических соединения. Как в первом, так и во втором случае ясно проявляется закон кратных отношений, как один из законов природы.

На наш взгляд, принцип кратных отношений проявляется в природе гораздо шире, чем он трактуется в химии. Основу этого закона надо искать в прерывистом, дискретном характере материи. Тот факт, что материя состоит из качественно различных определенных дискретных частиц материи, дает основание думать, что эти частицы могут соединяться между собой как целое, т. е. в кратных отношениях, но эта кратность по-разному проявляется в различных областях природы. Нам кажется, что принцип кратности проявляется как в области строения атома, так и в области строения молекулы и вещества. По сути дела этот закон отражает одну из важнейших сторон прерывистого характера материи. Если от весовых отношений перейдем к отношениям частиц, что не меняет сущности закона кратных отношений, и понятие кратности распространим не только в отношении разнокачественных частиц, но и в отношении частиц одинакового качества, то сразу становится очевидным, что как частицы разного качества, так и частицы одинакового качества соединяются между собой в кратных отношениях, т. е. количества этих частиц в образованном им объекте всегда относятся друг к другу как целые числа. В одном случае это отношение может быть выражено при помощи простых целых чисел, в другом случае может иметь более сложный характер. Так, например, соотношение протонов и нейтронов в атомных ядрах можно выражать всегда как соотношение целых чисел. При образовании простых веществ из одинаковых атомов один атом данного элемента может присоединять к себе несколько атомов, так что число атомов, присоединенных к одному атому, в различных простых веществах относится друг к другу как простые целые числа. Два или три разных элемента, соединяясь между собой, образуют несколько соединений, в которых число атомов одного или двух элементов остается неизменным, а числа атомов второго или третьего элемента в этих соединениях относятся друг к другу как простые целые числа. При образовании нескольких химических соединений из двух качественно различных молекул также наблюдаем, что количество молекул одного из них в этих соединениях остается неизменным, а количества другой молекулы относятся друг к другу, как простые целые числа. Но мы знаем, что между собой могут соединяться не только молекулы различного качества, но и молекулы одинакового качества. Процессы полимеризации и конденсации связаны с уплотнением одинаковых молекул, при этом как в процессе полимеризации, так и в процессе конденсации одна молекула данного вещества может присоединять к себе, в зависимости от условий, от одной до сотен и тысяч молекул. Так, например, в высокомолекулярных соединениях

различные количества молекул, соединенных с одной и той же молекулой, колеблются в очень широком интервале и поэтому их количественные отношения могут выражаться кратными отношениями различного характера, как простым, так и сложным. Широкое проявление кратных отношений в области полимеризации и конденсации дает возможность понимать то качественное многообразие, которое встречается в области высокомолекулярных соединений. Таким образом, дискретные частицы различных ступеней соединяются как друг с другом, так и между собой. Очевидно, что во всех этих процессах материальные частицы участвуют как единое целое, поэтому в образованных объектах количественное отношение частиц всегда можно выразить как кратное отношение.

Вышеизложенные факты наглядно показывают, что закон кратных отношений является истинным подтверждением закона перехода количественных изменений в коренные качественные.