

ХИМИЯ

ПО ЖИЗНИ

ЗАБУДЬТЕ ВСЕ,
ЧЕМУ ВАС УЧИЛИ
В ШКОЛЕ!

КАК УСТРОЕН НАШ БЫТ,
ОТНОШЕНИЯ, ПРЕДМЕТЫ
И ВЕЩИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ
ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ,
АТОМОВ И МОЛЕКУЛ



КЕЙТ БИБЕРДОРФ



БОМБОРА
ИЗДАТЕЛЬСТВО

Научпоп для начинающих

Кейт Бибердорф

**Химия по жизни. Как устроен
наш быт, отношения, предметы и
вещи с точки зрения химических
реакций, атомов и молекул**

«ЭКСМО»

2021

УДК 54
ББК 24

Бибердорф К.

Химия по жизни. Как устроен наш быт, отношения, предметы и вещи с точки зрения химических реакций, атомов и молекул / К. Бибердорф — «Эксмо», 2021 — (Научпоп для начинающих)

ISBN 978-5-04-194914-3

Независимо от того, выпекаете ли вы пирог, моете руки или любуетесь закатом, доктор Бибердорф показывает, что наука повсюду, и это весело. Кейт Бибердорф, известная в США как Кейт Химик, популярный блогер, ученый, популяризатор, участник многочисленных научных тв-шоу, профессор химии в Техасском университете в Остине. Ее передачи и книги ломают стереотипы и взрывают все вокруг. Благодаря необычной манере и практическому подходу к науке Бибердорф разрушает образ стереотипного ученого. Вы когда-нибудь задумывались, что заставляет тесто подниматься? Или почему ваш утренний кофе придает вам такой заряд энергии? Или почему из-за вашего шампуня волосы выглядят жирными? Ответ — химия. С того момента, как мы просыпаемся, и до того, как ложимся спать (и даже пока мы спим), химия работает — и не нужно быть доктором наук, чтобы понять это. В формате PDF A4 сохранён издательский дизайн.

УДК 54

ББК 24

ISBN 978-5-04-194914-3

© Бибердорф К., 2021

© Эксмо, 2021

Содержание

Введение	6
Часть I. Забудьте все, чему вас учили в школе	8
1. Мелочи имеют значение. Атом	8
2. Все о форме. Атомы в пространстве	17
Конец ознакомительного фрагмента.	19

Кейт Бибердорф
Химия по жизни. Как устроен
наш быт, отношения, предметы и
вещи с точки зрения химических
реакций, атомов и молекул

Kate Biberdorf

It's Elemental: The Hidden Chemistry in Everything

© 2021 by Kate Biberdorf

Translation copyright © 2023 by Irina Sysoeva

© Сысоева И., перевод на русский язык, 2024

© Оформление. ООО «Издательство «Эксмо», 2024

* * *

Моей учительнице химии, миссис Келли Пэлсрок

Введение

Ботаникам вроде нас позволено быть неиронично увлеченными каким-либо занятием.

Мы даже можем просто подпрыгивать в кресле вверх-вниз, и это сойдет нам с рук.

...Если кто-то называет вас ботаником, он скорее всего имеет в виду, что вам нравится заниматься чем-то всерьез.

Джон Грин

Я хочу начать эту книгу с признания.

Я ботаник, и я одержима химией.

Я – химик, мой муж, Джош, – химик, и большая часть наших друзей тоже химики. (Не все, но у каждого свои недостатки.) Знаете, я могу завести случайную беседу о кварках. На романтическом вечере мы с Джошем обсуждали исследование, получившее Нобелевскую премию, и горячо спорили о том, какой же элемент из периодической таблицы является лучшим – очевидно же, что это палладий. Однако я понимаю, что не все люди такие, как я и мой муж. Точнее, большинство людей не такие.

В химии тяжело разобраться. *Наука* в принципе дело непростое. Вы неизбежно сталкиваетесь со множеством непонятных терминов и правил, которые кажутся чертовски сложными. И это особенно актуально, если мы говорим о химии, ведь мы не можем наблюдать ее процессы *своими глазами*.

Чтобы лучше разобраться в биологии, вы можете, скажем, препарировать лягушку. На уроке физики учитель может наглядно показать вам некоторые физические свойства, например ускорение. Но я не могу показать вам атом.

Даже мои близкие или друзья не всегда понимают, чем именно я занимаюсь. Например, Челси, моя лучшая подруга. Она очень умная, в целом разбирается в науке и работает в области, связанной с химией, – она ювелир. Но Челси никогда не «понимала» химию, которую преподают в старших классах. И если меня этот предмет увлекал и приводил в восторг, то она каждый урок сидела потерянная и скучающая. Тогда я не могла понять, почему уже на второй год Челси забросила уроки химии. Но сейчас понимаю. Я вижу таких студентов почти каждый день.

Я профессор в Техасском университете в Остине, преподаю предмет «Химия в контексте». Это вводный курс для студентов, которые, возможно, больше никогда не возьмут уроки естествознания. Просто представьте молодую девушку, у которой основная дисциплина английский язык... И она считает, что естествознание – это предмет, за который вполне можно получить тройку. Представили? Вот это я и пыталась вам объяснить.

Однажды, в самый первый день занятий, студент задал мне вопрос о кварках, и я настолько увлеклась, что мое объяснение закончилось разговором о субатомных частицах. И все это происходило на глазах пяти сотен первокурсников. Самые отчаянные пытались делать заметки, но основная часть группы просто смотрела на меня глазами, полными ужаса. Некоторые снимали меня на видео. Две девушки буквально прижались друг к другу.

В целом, эта ситуация могла быть смешной в том случае, если бы передо мной не сидело несколько сотен шокированных студентов, решивших дать шанс химии (и мне). Многие совершенно не понимали, о чем речь. С тем же успехом я могла говорить на клингонском языке. Я на сто процентов уверена, что эта ситуация для моих учеников только подтвердила миф о том, что наука – это скучно и непонятно. Именно поэтому важно выбирать правильные слова. Особенно если мы говорим о химии.

Когда я получила первую ученую степень, я переслала маме копию моей диссертации. Она позвонила мне пару минут спустя. Я даже не успела поздороваться, как услышала смех. Я честно не могла понять, почему мать смеется. Я отправила ей не тот документ? Она увидела видео с глупенькой смешной кошкой? Она ошиблась номером?

Затем мама начала тараторить: «Кэтти, я даже не понимаю значения этих слов! Что за... нафтил?» Она смеялась так сильно, что не могла сказать ни слова. Я растерялась. Я же сказала, о чем было мое исследование, так почему она ничего не поняла? Потом я открыла документ и прочитала первую строку: «Синтез и каталитические свойства шести новых 1,2-аценафтинил N-гетероциклических карбенов на основе палладиевого (II) катализатора. Аценафтинилкарбен может быть получен с использованием мезитила или 1,2-диизопропил N-арильных заместителей».

Тогда мне все стало ясно: что прочитала моя мама, что услышали мои студенты и что чувствовала Челси. Никто из них понятия не имел, что такое «1,2-аценафтинил N-гетероциклических карбенов на основе палладиевого (II) катализатора». По правде говоря, им и не нужно было понимать. (На случай, если кому-то интересно, это тип катализатора, используемый для создания медицинских препаратов.)

Химия интересная, чертовски увлекательная, но многие химики (включая меня) говорят о ней как-то слишком заумно, так что любой человек, не имеющий научной степени, просто не поймет, о чем речь. Однако в этой книге я хочу сделать ровно противоположное. Моя цель – показать маме (и всем вам), *почему* я влюблена в химию. И почему вы тоже должны ее полюбить.

Обещаю, что здесь не будет унылых рассуждений о кварках и скучных описаний научных методов. Но когда вы закончите чтение и закроете книгу, то будете понимать основы химии. Вы узнаете, что химия есть везде: начиная с шампуня, которым вы моете голову по утрам, и заканчивая прекрасным закатом. Химия в воздухе, без которого вы не можете жить. Она в вещах, с которыми вы сталкиваетесь каждый день. И чем больше вы будете знать, тем сильнее будете ценить и понимать наш мир.

Посмотрите вокруг. Все, что вы видите, – это материя. Материя состоит из молекул, а молекулы из атомов. Чернила на этой странице – молекула, впитавшаяся в волокна бумаги. Клей в переплете книги – тоже молекула, соединяющая обложку и листы. Химия *везде* и *во всем*.

В первых четырех главах я расскажу вам о молекулах, атомах и химических реакциях – о том, что необходимо знать для общего понимания науки. Вы можете считать это чем-то вроде Chemistry 101¹ или пересказа школьной программы за десятый класс. (Кстати говоря, я гарантирую, что к концу этого раздела вы наконец «одолеете» атомы.)

Во второй части книги я расскажу вам о химии в повседневной жизни: в кофе, который вы варите каждое утро, в вине, которое вы пьете по вечерам. А тем временем мы с вами будем делать различные веселые вещи: убираться, готовить и заниматься спортом. Мы даже сходим на пляж. Вы узнаете, как зависят от химии ваши телефоны, солнцезащитные кремы и ткани.

Я писала эту книгу в надежде, что вы не только поймете химию, но и очаруетесь этой наукой. Хочется надеяться, что по ходу чтения вы откроете для себя множество интересных и увлекательных вещей об окружающем мире; что вы будете делиться новыми знаниями со своим партнером, детьми, друзьями, коллегами по работе... да хоть с незнакомцем в «счастливый час».

И я уверена, что любовь к химии поможет нам сделать этот мир чуточку лучше.
Поехали!

¹ Chemistry 101 – полезное приложение для изучения химии. (Прим. лит. ред.)

Часть I. Забудьте все, чему вас учили в школе

1. Мелочи имеют значение. Атом

Химия есть везде и во всем. Она в вашем телефоне, теле, одежде и даже в любимом коктейле! С ее помощью можно понять, почему лед в воде тает, или предположить, что случится, если мы соединим два элемента, например, натрий и хлор (спойлер: получится соль). Но что такое химия на самом деле?

Техническое определение звучит так: «Химия – это наука об энергии и материи, а также о взаимодействии двух элементов друг с другом». В данном определении под словом *материя* подразумевается любое вещество, а под словом *энергия* – реакционная способность молекулы. (Молекула – это крошечная частица, из которой состоит материя. Подробности чуть позже.)

Химики хотят предсказывать то, какие химические реакции будут происходить при взаимодействии двух молекул, или, если говорить другими словами, при взаимодействии двух веществ или химических субстанций. Мы задаем себе разные вопросы и пытаемся ответить на них. Например, вступят ли химические вещества в реакцию при комнатной температуре? Случится ли взрыв? Если добавить тепло, образуются ли новые связи?

Но чтобы можно было ответить на все эти вопросы, нужно понимать основы химии. А это значит, нам предстоит немного перенестись назад во времени. Ну, точнее, не совсем «немного» – мы отправляемся в глубокую древность.

В пятом веке до нашей эры два философа, Демокрит и Левкипп, предположили, что все в нашем мире состоит из малейших невидимых частиц, называемых *атомами*. В своих трудах они описали то, как миллионы *атомов* объединились между собой и образовали все то, что мы видим вокруг. Тут можно провести простую аналогию с кучей LEGO, из которых можно создать огромное количество предметов, вплоть до крутого *Тысячелетнего сокола*.

Несмотря на то, что Демокрит и Левкипп были абсолютно правы – сегодня считается, что они были первыми, кто дал определение атома, – в те времена их идеи не были приняты. Дело в том, что их предположение противоречило идеям двух других философов, Аристотеля и Платона (которые были своего рода авторитетами).

Аристотель и Платон считали, что вся материя (то есть все вещи и существа) возникла из сочетания четырех стихий: земли, воздуха, воды и огня. Согласно этой теории, каждый элемент обладал определенными качествами: земля – холод и сухость, вода – холод и влажность, воздух – тепло и влажность, огонь – тепло и сухость. Следовательно, все в этом мире состоит из комбинации этих четырех элементов. Философы также считали, что земля может «превращаться» в воздух, затем в огонь, затем в воду и обратно в землю. Например, когда горит бревно, то оно меняет свои качества с холода и сухости (земля) на тепло и сухость (огонь). Когда огонь потухнет, то сгоревшее бревно снова будет «принадлежать» земле, потому что оно холодное и сухое.

Если кто-то потушил огонь водой, то сгоревшее бревно становится сочетанием двух элементов: воды и земли. В данном случае мокрая зола займет намного больше места, чем кучка сухой. Вследствие этого Аристотель и Платон считали, что вся материя может изменять свой объем (становиться больше или меньше) при изменении комбинации элементов.

Демокрит был ярким противником теории Аристотеля и Платона. Он говорил, что существует предел того, насколько маленьким может быть вещество или предмет. Представим, что вы разрезали буханку хлеба пополам. Затем вы снова и снова делите получившийся кусочек на две части. Согласно Демокриту, через какое-то время у вас будет такой кусок хлеба, который будет невозможно разрезать. Именно эту неделимую частицу философ и определил как *атом*. И он был прав!

Но давайте не забывать, что в то время теорию Демокрита не поддерживали – тогда авторитетным философом был Аристотель. Так что, когда он отверг предположение об *атомах*, это предположение отвергли и все остальные. К несчастью для нас, из-за Аристотеля и его ошибочных суждений следующие две тысячи лет человечество думало об окружающем мире как о комбинации огня, воды, воздуха и земли. Только вдумайтесь: *две тысячи лет*!

И только в 1600-х годах нашелся кто-то, кто предоставил достаточно веские доказательства того, что теория Аристотеля была неверной. Роберт Бойль, чудной физик, который любил проводить различные эксперименты и разрушать общепринятые теории. Однажды он обратил внимание на теорию Аристотеля и впоследствии написал целую книгу, в которой ее опроверг.

Бойль считал, что мир состоит из *элементов* – маленьких неделимых частиц материи. Звучит знакомо, правда? Публикация книги – с говорящим названием «*Химик-скептик*» – запустила настоящую гонку в поисках этих маленьких, невидимых частиц под названием «элементы». В то время Бойль был уверен, что распространенные вещества, например, золото и медь, представляют собой сочетание элементов. Но после публикации книги ученые обнаружили, что эти вещества (и одиннадцать других) являются самостоятельными.

Первое использование меди датируется 9000 годом до нашей эры на Среднем Востоке, но только после публикации книги Бойля люди обратили внимание на этот элемент. Только после новой теории об элементах ученые начали считать, что медь – это самостоятельный элемент, а не комбинация элементов. То же самое произошло со свинцом, золотом, серебром... Вот так были открыты первые тринадцать элементов. После этого ученые занялись поиском новых. Таким образом, в 1669 году был открыт фосфор, а в 1735 году – кобальт и платина.

Сегодня мы понимаем, что данное Бойлем определение элемента оказалось верным: элемент – это вещество, которое не может расщепиться на простейшие или мельчайшие частицы во время химической реакции. Сейчас мы понимаем, что все элементы состоят из миллионов и миллиардов мельчайших частиц материи, называемых атомами (слово произошло от использованного Демокритом *atomos*). Но это открытие было сделано английским ученым Джоном Далтоном лишь в 1803 году.

Прорыв Далтона очень часто называют «*атомной теорией*». Он предположил, что все атомы одного элемента (например, углерода) идентичны друг другу, и все атомы другого элемента (допустим, водорода) также будут идентичны друг другу. Но Далтон не смог понять, почему атомы углерода отличаются от атомов водорода.

Несмотря на то, что ученые того времени много чего не знали, они одновременно и принимали, и отвергали атомную теорию. (Спойлер: они не смогли опровергнуть теорию, потому что этот труд является (и являлся) правильным.) За следующее столетие химики провели множество экспериментов, пытаясь найти нестыковки в теории Далтона. Однако все факты по-прежнему подтверждали его гипотезу об атомах и элементах.

Однажды трое ученых, Жозеф Луи Гей-Люссак, Амедео Авогадро и Йёнс Якоб Берцелиус, попытались определить атомную массу элементов – и это привело к полнейшему хаосу. Каждый из троих использовал разные техники и придерживался разных стандартов, из-за чего опубликованные ими труды полностью противоречили друг другу. Все выглядело настолько запутанно, что научное сообщество было вынуждено положиться на итальянского химика Станислао Канниццаро, который установил универсальный стандарт атомной массы.

Я совершенно необъективна, но если бы я активно занималась наукой в середине 1800-х годов, то даже и секунды не потратила бы на эту идею. Мне нравится разбирать и собирать обратно вещи, поэтому я поставила бы перед собой такой вопрос: если материя состоит из атомов, то из чего состоят сами атомы? Я по-прежнему не уверена кое в чем: у ученых викторианской эпохи было недостаточно технологий для исследований данного вопроса или им просто было неинтересно? К счастью, в конце 1800-х годов сэр Джозеф Джон Томпсон решил изучить строение атомов путем экспериментов с катодными лучами.

Чтобы провести эти эксперименты, Томпсон герметично запечатал стеклянную трубку с двумя металлическими электродами внутри. Проще говоря, вся конструкция выглядела как закрытая банка пива с двумя тонкими длинными полосками металла внутри. В своих экспериментах Томпсон (по возможности) выкачивал весь воздух из трубки, а затем пускал по электродам ток. В этот момент он видел разряд, передающийся от одного электрода к другому, – он назвал его катодным лучом.

В ходе этих экспериментов Томпсон определил, что катодные лучи притягиваются положительными зарядами и отталкиваются отрицательными. Он из раза в раз менял вид металла и обнаружил, что катодный луч всегда одинаковый. Томпсон был весьма доволен результатами, так как понимал, что сделал потрясающее открытие. Если катодный луч был одинаков для всех элементов и атомов, то он должен представлять собой один из блоков для *формирования* атома вне зависимости от его элемента. Однако примерно в то же время его коллега, Джон Дальтон, убедил общественность, что каждый атом уникален, и Томпсон забеспокоился: общественность не примет его открытие. Он продолжил проводить эксперименты.

В ходе экспериментов Томпсон выяснил, что катодный луч был легче любого известного атома. Это как если бы вы сравнивали массу всех дверных ручек в вашем доме с общей массой дома – их масса будет крошечной. Так было бы и с домом ваших родителей, и с домом соседей, и с любым другим. Томпсон обнаружил, что каждый «дом» (атом) состоит из одинакового набора «ручек», которые всегда легче общей массы. Это означало, что Томпсон смог определить маленький кусочек внутри атома. Знаете, тогда он только открыл электрон! Крошечные частицы с отрицательным зарядом.

Забегу немного вперед и скажу, что в атоме есть три составляющие: электроны, протоны и нейтроны. Протоны (частицы с положительным зарядом) и нейтроны (как вы уже догадались, частицы с нейтральным зарядом) находятся внутри ядра (в центре атома), а электроны вращаются снаружи. Представим: мое тело – это атом, а мои печень и почки – это протоны и нейтроны. Электронами будет все, что находится снаружи, например куртка или перчатки.

Мне не составит труда отдать кому-нибудь куртку или перчатки; то же самое происходит и с атомами, когда они обмениваются электронами. Однако забрать мою печень или почки будет уже не так-то просто. Это возможно? Да, возможно. Останусь ли я прежней после этой операции? Нет, не останусь. При передаче протонов возникают такие же трудности.

Элемент всегда определяется количеством протонов в ядре. Например, в атоме углерода всегда имеется шесть протонов, а в атоме азота – семь. Если атом азота каким-то образом потеряет один протон, то он перестанет быть азотом. Этот атом станет углеродом, так как в атоме углерода содержится шесть протонов. Это процесс из ядерной химии, и он никогда не проходит так просто. В большинстве случаев атом должен выстрелить нейтроном, чтобы начался ядерный распад. В настоящее время данный метод используется для генерации энергии (то есть электричества) на атомных электростанциях.

И хотя атомы очень редко теряют или приобретают новые протоны, они *любят* обмениваться электронами. За это ответственна структура атомов. Представьте, что вы одеваетесь в холодный зимний день. Как мы уже обсуждали, если вы атом, то ваши печень и почки будут ядром, где находятся протоны и нейтроны. Внутренний слой, прилегающий к телу – термобелье, – будет первым слоем электронов. Ваша кофта и штаны будут вторым слоем, и еще одним будут ваши куртка и болоньевые штаны.

Электроны, находящиеся на слое «куртки» или на внешней электронной оболочке (для краткости будем говорить «внешняя оболочка»), очень важны в химии. Такие электроны называются *валентными*, и атом с легкостью ими обменивается. Как слои одежды защищают нас зимой от низких температур, так и внешняя оболочка защищает «внутренности» атома – внутреннюю оболочку.

Электроны, находящиеся на внутренней электронной оболочке, *не способны* реагировать с другими атомами, так как они ограждены валентными электронами. Точно так же ваши коллеги не могут увидеть ваше нижнее белье, так как оно «ограждено» кофтой или курткой. И это идет атомам на пользу. Дело в том, что каждый слой электронов имеет отрицательный заряд, из-за чего слои отталкиваются друг от друга. Это значит, что между ними всегда есть небольшие расстояния – точно такие же, какие получаются между вашей курткой и кофтой.

Позвольте мне развить эту метафору. Атомы могут быть разного размера, и все сходится на том, сколько слоев «носит» атом. Кто-то может ходить в многослойной одежде, чтобы согреться в холодную погоду, а кто-то круглый год ходит в шортах и сандалиях. Это работает и с атомами: у маленьких атомов намного меньше электронных слоев, чем у больших.

Когда я говорю о валентных электронах, я имею в виду электроны на «курточном» слое внешней оболочки атома. В солнечный день вы снимите куртку, чтобы лучи падали прямо на вашу кожу... То же самое и с валентными электронами: атом всегда готов «распрощаться» с ними, чтобы те вступили в реакцию с внешними силами. Это может показаться шокирующим, но до 1932 года ученые не имели представления о том, что я вам только что рассказала. Во многом это связано с тем, что они были вынуждены работать в изоляции, поэтому обладали ограниченной информацией (просто вспомните времена до появления интернета). До недавнего времени изучение химии было медленным и монотонным процессом. К счастью, теперь нам известно, что атомы состоят из протонов, электронов и нейтронов, а также что они могут обмениваться электронами. К тому же примерно в то время ученые поняли, что им нужен один способ классификации атомов. И тогда была создана периодическая таблица.

Периодическая таблица – это нечто большее, чем обычный справочник, который вы используете на уроках естествознания. Для меня и подобных мне ученых она важна тем, что, только посмотрев на нее, я могу получить всю нужную информацию об определенном элементе, его характеристиках и о том, как атомы этого элемента будут себя вести.

Давайте начнем с основ. Когда таблица только разрабатывалась, нужно было присвоить каждому элементу химическое название и символ. Это может показаться чем-то простым, но на самом деле все не так. Часто бывало, что два человека в один и тот же момент открывали – или им казалось, что они открыли – один и тот же элемент и давали ему разные названия. И тогда вставал вопрос: а какое название верное? Как вы понимаете, тогда возникало множество споров, например, когда панхромий был назван ванадием или когда вольфрам был назван тунгстеном.

Еще совсем недавно, в 1997 году, между США, Россией и Германией шла ожесточенная борьба из-за названий элементов со 104-го по 109-й. В 2002 году Международный союз теоретической и прикладной химии (ИЮПАК) дал рекомендации касательно того, как следует называть элементы. Сейчас эти рекомендации соблюдаются, но иногда может пройти около десяти лет, прежде чем новому элементу дадут официальные название.

Определить химический символ каждого элемента было намного проще, так как обычно это аббревиатура названия: Н – это водород, а С – углерод. Но символы некоторых элементов не так очевидны. Например, химический символ железа – Fe – происходит от латинского *ferrum*. Сюда же можно отнести W – вольфрам (*tungsten*) и Hg – *hydrargyrum* (ртуть).

Когда каждому элементу присвоены имя и символ, вычисляется его атомный номер (или зарядовое число). Он равен количеству протонов в ядре. Водород имеет первый атомный номер, и это означает, что в его ядре один протон. На данный момент самым большим порядковым номером является 118. Элемент под именем оганесон (Og), в его ядре, как можно догадаться, 118 протонов. А это означает, что оганесон должен иметь 118 электронов *снаружи* ядра. Дело в том, что атомный номер указывает не только на количество протонов в ядре, но также и на количество электронов вне ядра. Важно помнить, что все элементы по сути являются нейтральными. Следовательно, количество протонов внутри ядра равно количеству элек-

тронов снаружи. Если бы мы посмотрели на атомный номер водорода – 1, – то поняли бы, что у него один протон и один электрон. Немного подробнее: протон внутри имеет положительный (+1) заряд, который нейтрализует электрон с отрицательным (–1) зарядом, делая элемент нейтральными. То же самое и с углеродом: $(118) + (-118) = 0$.

К сожалению, с нейтронами не все так просто. Число нейтронов колеблется от атома к атому, даже если это атомы одного и того же элемента. Поэтому химики решили добавить еще одно число в периодическую таблицу – атомная масса. Это сумма протонов и нейтронов внутри ядра элемента. В отличие от атомного номера, атомная масса редко является целым числом. Дело в том, что ученые используют средневзвешенное количество нейтронов в атоме, а затем добавляют его к сумме протонов. Так и определяется атомная масса элемента.

Как правило, в отдельных атомах поддерживается соотношение протонов и нейтронов, равное 1 к 1. Это означает, что мы сможем узнать атомную массу, если удвоим атомный номер. Например, атомный номер магния – 12, а его атомная масса – 24,31 (12 протонов и средневзвешенное количество нейтронов, равное 12,31). Атомный номер кальция – 20, а его атомная масса 40,08 (20 протонов и средневзвешенное количество нейтронов, равное 20,08).

Но из каждого правила есть исключения. Например, порядковый номер урана – 92, поэтому ожидается, что его атомная масса будет составлять 184. Однако она составляет 238,03 из-за изотопов урана, в которых содержится различное количество нейтронов. Большинство атомов, подобных урану, имеют несколько *изотопов*. Изотоп возникает в том случае, если два или более атома одного элемента имеют различное количество нейтронов. Мы не выделяем «лучшие» изотопы; мы собираем все атомы и вычисляем среднее количество нейтронов. Затем это число используется в подсчете атомной массы. Уран называется уран-238. Магний и кальций – магний-24 и кальций-40 соответственно.

Изотопы

Обычно я говорю, что изотопы – это атомы со своим характером. Они образуются, когда два или больше атома одного элемента имеют разное количество нейтронов. Изотопы хорошо распространены, однако в школе мы не уделяем достаточно времени на их изучение, так как нейтроны нейтральны. Соответственно они не влияют на поведение атома в химической реакции. (Вместо этого мы сосредотачиваемся на том, что влияет на поведение атома: протонах и электронах.)

Как я уже говорила, ученые охарактеризовали каждый открытый электрон. И знаете, я считаю, что это круто. Как и Lady Gaga, изотопы были «рождены такими» и совершенно спокойно существуют с парой лишних нейтронов.

Прекрасный пример – углерод. Большинство атомов углерода имеют шесть нейтронов и шесть протонов. Однако у *некоторых* их семь или восемь. Лишние нейтроны никак не влияют на свойства атомов углерода, однако это делает их всех изотопами.

Это можно сравнить с собаками. Представьте двух далматинцев: они выглядят одинаково, но у одного на несколько пятен больше. Две собаки практически одинаковые, и эти несколько «лишних» пятен не означают, что одна из них больше не далматинец. Точно так же работают изотопы: дополнительные нейтроны не меняют атом, элемент или реактивную способность. Это просто дополнительное определение.

Когда ученые определились с химическим названием, символом, атомным номером и атомной массой для каждого из элементов системы, они решили организовать вещества таким образом, чтобы можно было предугадать их химическую активность. Ученым было важно знать, что при реакции между двумя элементами не случится взрыва или выделения ядовитых газов. Лучший способ сделать это – найти между атомами что-то общее, сгруппировать их

по физическим и химическим свойствам. Было сделано несколько попыток. Немецкий химик Иоганн Дёберейнер хотел распределить все элементы в группы по три, он заметил, что большие атомы чаще склонны к взрыванию. Вскоре другой немецкий химик, Питер Кремер, попытался объединить две триады, чтобы образовалась Т-образная фигура. Проблема заключалась в том, что при подобном раскладе ученым пришлось бы проверять множество триад, что сильно осложнило бы сравнение одной группы с другой.

Однако было двое ученых, работавших отдельно, – Дмитрий Менделеев и Лотар Мейер, – которые решили, что можно расставить *все* химические элементы в *одной* таблице в зависимости от их атомной массы. Они собрали все Т-образные триады Кремера – словно головоломку – и получили первую таблицу химических элементов.

Уникальность периодической таблицы Менделеева заключается в том, что в ней были два «новых» элемента. Составляя таблицу, химик заметил, что между атомными массами элементов существует закономерность, и понял, что ему нужно оставить место для еще двух элементов, которые только предстоит открыть. Пример: предположим, что учитель математики предложил вам определить пропущенное число в ряде: 2, 4, 8, 10. Надеюсь, вы понимаете, что отсутствует число 6 и что полный ряд должен выглядеть так: 2, 4, **6**, 8, 10.

В принципе, Менделеев сделал то же самое. Были группы атомов с одинаковым числом валентных электронов, но структура атомных масс отличалась. Менделеев предположил не только то, что нам предстоит открыть новые элементы, но и то, какой атомной массой они будут обладать. И, как и множество ученых, о которых я уже говорила, Менделеев оказался прав. Галлий (Ga) и германий (Ge) были открыты в 1875 и 1886 годах соответственно, и вот тогда труд Менделеева по-настоящему оценили.

Современная периодическая таблица основана на периодической таблице, созданной Менделеевым. Она состоит из семи периодов и восемнадцати групп. Каждая ячейка – это отдельный элемент; в ячейке пишется основная информация об элементе: химический символ, химическое название, атомный номер, атомная масса. Имея всю информацию под рукой, химики вроде меня и вас могут с легкостью определить количество протонов, электронов и валентных электронов того или иного атома.

Периодическая таблица очень важна для ученых: она может дать много информации об элементах, из которых состоит вся материя этого мира. Важна *настолько*, что в прошлом году мой университет отпраздновал 150-летие таблицы Менделеева и по этому поводу устроил вечеринку. Там была таблица, выложенная из кексов, я продемонстрировала несколько опытов, декан нашего университета произнес прекрасную речь. Это была самая «ботанская» вечеринка в моей жизни, и знаете, она мне очень понравилась!

В книге есть таблица Менделеева, однако если вам удобнее работать с электронной версией, то я настоятельно рекомендую сайт **ptable.com**. Я еще буду обращаться к периодической таблице, поэтому мне важно убедиться, что *вы* знаете, как правильно ею пользоваться. Я буду ссылаться на таблицу в разделе, посвященном здоровью и благополучию. Также она нам понадобится, когда мы будем определять влияние химии на повседневную жизнь. Нам важно знать положение элементов в системе: чем быстрее мы найдем необходимый нам элемент, тем быстрее сможем работать. Понимание периодической таблицы позволит понять, почему вы должны постоянно пользоваться одной и той же маркой шампуня и кондиционера для волос, а также почему ваши торты выглядят совсем не так, как в шоу «*Лучший пекарь Британии*».

Давайте рассмотрим один пример. Откройте периодическую таблицу и найдите ячейку с химическим символом водорода H в верхней левой части. Если вы посмотрите в верхний левый угол ячейки H, то увидите там число 1. Это атомный номер элемента, и он всегда стоит именно там. В нижней части вы видите число 1,008 – это атомная масса.

Вы можете заметить, что водород располагается в начале столбца. Столбцы называются группами или семействами, а номер группы указывает на количество валентных электронов

каждого из элементов. (Помните, что валентные электроны располагаются на внешней оболочке, как наша крутка.)

Говорите как химик

Если вы хотите казаться настоящим химиком, то вычитите число 10 из номеров столбцов периодической таблицы. Большинство ученых ссылаются на группы 3, 4, 5, 6, 7 и 8 вместо столбцов 13, 14, 15, 16, 17 и 18 соответственно. Дело в том, что номер группы обозначает количество валентных электронов. Мы не используем это «правило» для столбцов 3–12, так как с элементами этих групп закономерность не всегда работает. Для столбцов 13–18 мы используем сокращенную запись, так как количество валентных электронов позволяет нам предсказать, как тот или иной атом будет вести себя в разных средах.

Например, водород стоит в первом столбце, значит, у него может быть только один валентный электрон. Точно такая же ситуация с литием, натрием и остальными элементами первой группы. Из этого мы можем сделать вывод, что все элементы первой группы будут вести себя одинаково в похожих средах и условиях. Важно отметить, что водород (и остальные элементы первой группы) любит отдавать свой электрон и становится чрезвычайно реакционно-способным. Почему?

Логично предположить, что элемент с одним валентным электроном сделает все, чтобы сохранить этот электрон. Однако на самом деле ситуация обратная. Электрон отталкивается от ядра. Очень странно, правда?

Давайте рассмотрим это подробнее. Мы знаем, что ядро (ваша печень и почки) имеет положительный заряд; электроны (кофта и куртка) будут притягиваться к положительно заряженному ядру. Но если к атому присоединяются еще несколько электронов, то появляется вероятность, что электроны будут отталкиваться от ядра. Другими словами, ваша кофта будет отталкивать куртку. Следовательно, ядро не будет пытаться удержать один или два валентных электрона, наоборот: внутренняя оболочка начнет отталкивать валентные электроны на внешней (или ваша кофта начнет отталкивать куртку).

Именно поэтому атомы с двумя электронами чрезвычайно реакционноспособные. Они стабильнее элементов с одним электроном, однако свои валентные электроны отдают так же легко. Бериллий, магний, кальций и стронций являются прекрасными примерами элементов с двумя валентными электронами. Их электроны отталкиваются от ядра точно так же, как и электроны первой группы.

Углерод и кремний располагаются в четвертом столбце, так что у них по четыре валентных электрона. Следовательно, в одной и той же среде эти два элемента будут вести себя похоже. Так как химики уже знают, что углерод и кремний являются стабильными элементами, мы думаем, что любой элемент четвертой группы будет также стабилен – например, как германий, олово или свинец.

Менделеев оказался прав, когда думал, что будущие химики захотят предсказать, как элементы будут взаимодействовать друг с другом. Именно поэтому он создал периодическую таблицу такой, какой мы ее видим сейчас, – основанной на атомных массах и валентных электронах элементов. (Это также объясняет и то, почему форма таблицы напоминает чашу, а не прямоугольник. Свободное пространство в верхней части позволяет расположить элементы в соответствии с их физическими и химическими свойствами.)

Если вы будете двигаться вниз по столбцу периодической таблицы, то обнаружите, что атомы становятся все больше. По правде говоря, самые крупные атомы располагаются в нижнем левом углу, а самые маленькие – в верхнем правом.

Каждая строка – или *период* (отсюда и название таблицы) – это дополнительный «слой» электронов для определенного атома. По мере того, как вы перемещаетесь по строке (слева направо), атомы будут становиться все меньше и меньше. Кажется странным, да? Как гелий может быть меньше водорода?

По мере продвижения вправо каждый элемент получает дополнительный протон и электрон. Это означает, что положительный заряд увеличивается всякий раз, когда увеличивается атомный номер элемента. Чем больше положительный заряд, тем сильнее к ядру притягиваются валентные электроны.

Например, атомная масса водорода составляет +1. Так как он располагается в первой группе, то имеет один валентный электрон. Следовательно, заряд +1 ядра притягивается к заряду –1 электрона.

А теперь давайте сравним это с притяжением внутри атома гелия. Так как гелий располагается во второй группе, то у него имеется 2 протона и 2 электрона. Притяжение между зарядом ядра и зарядом электронов гелия намного сильнее, чем притяжение между зарядом ядра и зарядом электрона водорода. Это значит, что валентные электроны гелия притягиваются к ядру с большей силой. Следовательно, атомный радиус будет меньше атомного радиуса водорода.

Если мы посмотрим на отталкивание электронов и притяжение между протонами и электронами, то заметим некоторые закономерности. Существует простой способ, с помощью которого можно запомнить, как работают периоды и группы: *многослойный франций* (авторский термин. – *Прим. науч. ред.*). Франций является одним из самых больших атомов в периодической таблице, и он располагается в левом нижнем углу с атомным номером – 87. Он имеет 87 протонов, 87 электронов и около 136 нейтронов. Если бы франций был человеком, то на нем было бы ОЧЕНЬ МНОГО одежды.

С помощью таблицы вы также можете узнать, насколько легко «изменить» атом. Помните, что атомы могут терять или приобретать электроны; это сравнимо с тем, как человек снимает или надевает куртку, а в случае с большими элементами, например францием, человек снимает слой одежды.

Мы описываем готовность элемента отдать или получить электрон как *сродство к электрону*. Большинство элементов в верхнем правом углу, например фтор или кислород, имеют большое сродство к электрону. Это значит, что они всегда могут принять дополнительный электрон от соседнего атома, при этом фтор реакционноспособнее кислорода.

Что такое анион?

Атом, который получает или теряет электрон, мы называем *ионом*. Термин «*анион*» используется для обозначения атома, получившего один или несколько электронов, а термин «*катион*» для обозначения атома, потерявшего один или несколько электронов.

Анион всегда имеет отрицательный заряд, так как количество электронов у него превышает количество протонов. Кроме того, он больше нейтральных атомов. Если бы муж одолжил мне свой пуховик, в нем я казалась бы крупнее. Атом, получивший дополнительный электрон (который теперь называется анионом), станет крупнее. В качестве примера возьмем фтор. Атомы фтора всегда готовы принять один электрон, чтобы превратиться во фторид-ион ($[F]^-$). В нейтральном состоянии фтор бесполезен для человеческого организма; однако, как только он превращается во фторид, то он сразу становится полезным макроэлементом. Например, с помощью фторида можно предотвратить развитие кариеса или стимулировать рост костей в организме. Трудно представить, что один крошечный электрон может иметь такое большое влияние на химические свойства атомов.

Термин «катион» используется для классификации атомов, потерявших один или несколько электронов. Вернемся к примеру с пуховиком моего мужа. Отдав его мне – отдав

электрон, – он стал бы катионом. Катионы всегда обладают положительным зарядом, так как количество протонов в них превышает количество электронов. Катионы на вид меньше нейтральных атомов. То же самое произошло бы с моим мужем, если бы он отдал мне пуховик, – он бы визуально уменьшился.

В отличие от анионов, катионы располагаются в верхнем левом углу периодической системы, например литий и бериллий. У этих элементов имеется один или два валентных электрона, которые легко могут быть переданы другому атому. Именно поэтому такие элементы с большей вероятностью станут катионами, а не анионами.

Особенно это относится к элементам, расположенным в первой группе, например к литию. Чтобы стать катионом лития (Li^+), его атому нужно отдать один электрон. Ионы катиона лития используются при лечении биполярного расстройства: с его помощью можно воздействовать на чувствительность мозга к дофамину. При этом нейтральный литий не оказывает никакого полезного воздействия на человеческий организм. И снова мы наблюдаем, как приобретение или утрата одного электрона может сильно изменить физические свойства атома.

Напоследок я хочу рассказать вам о восьмой группе (восемнадцатый столбец). Элементы в ней инертны или неактивны: они не хотят приобретать или отдавать электроны. Знаете, когда я думаю о таких элементах, как гелий или неон, сразу представляю человека, который решил провести субботний вечер дома в одиночестве, а не на шумной вечеринке. Все элементы этой группы (гелий, неон, аргон, криптон, ксенон и радон) принято называть инертными газами, они очень редко вступают в химические реакции с другими элементами.

Периодическая таблица – это нечто большее, чем обычная шпаргалка. Посмотрев на нее, мы увидим открытия тысяч – или сотен тысяч – ученых по всему свету. С помощью таблицы можно делать множество удивительных вещей: проводить диагностики и исследования для выявления рака, изобретать полупроводники, которые потом будут работать в солнечных панелях... Даже литий-ионные батареи в вашем ноутбуке или телефоне – это результат взаимодействия элементов из периодической таблицы (батареи работают только из-за того, что электроны движутся внутри атомов и между ними). По правде говоря, чем лучше вы понимаете основную структуру атома, тем легче вам будет понять, как проходят электронно-протонные взаимодействия.

А теперь, когда мы разобрались, как устроен атом – протоны, нейтроны, электроны, – самое время увидеть, что же происходит, когда объединяются два атома разных элементов. И именно здесь химия становится очень интересной: знаете, притяжение между атомами похоже на свидание или встречу с другом. Будет ли их тянуть друг к другу? Как они отреагируют? Смогут ли они сформировать связь?

2. Все о форме. Атомы в пространстве

В предыдущей главе вы узнали, что атомы являются строительными блоками буквально всего во Вселенной. Но как эти блоки собираются вместе и формируют объекты? Например, компьютер? Или салатный соус? Или ледяное пиво?

С помощью электронов.

Если два или более атома соединяются, то образуется связь и происходит обмен или передача электронов. Связь могут иметь молекулы или сложные вещества. Отдельный атом никогда не станет молекулой или сложным веществом, потому что он всегда остается просто «атомом».

Но прежде чем мы перейдем к химическим реакциям, вам важно понять, что очень часто химики называют совокупность молекул «видом», «веществом» или даже «системой». Эти термины являются синонимами и обозначают одно и то же – совокупность молекул. Итак, когда я говорю о *виде*, вы должны понимать, что я имею в виду совокупность молекул. А когда я говорю о *молекуле*, то тут уже все и так понятно. Круто? Круто.

Сформированные между атомами связи увидеть очень легко, если понимать, что искать и куда смотреть: например, как соль растворяется в океане или как маска для лица «растворяет» комедоны. Атомы притягиваются друг к другу, и в этом они очень похожи на нас, людей! Так как протоны обладают положительным зарядом, а электроны – отрицательным, происходит нейтрализация (а это именно то, к чему стремятся все атомы).

Когда атомы находятся рядом друг с другом, они испытывают взаимное притяжение. Поскольку электроны располагаются снаружи атома, а протоны – внутри, то происходит два притяжения.

Пример: у нас есть два атома, атом А и атом В. Электроны атома А будут притягиваться к протонам атома В, а электроны атома В – к протонам атома А. Единственное, что может помешать электронам и протонам соединиться, так это то, что электроны двух атомов будут отталкивать друг друга.

Атомы могут не образовать связь, если они будут находиться слишком близко друг к другу. Если в кофейне о вас начнет тереться незнакомец, вы оттолкнете его, верно? Когда незнакомец вторгается в наше личное пространство, мы всегда стараемся создать дистанцию – нам просто будет так комфортнее. Иногда это означает, что нам нужно встать и уйти; у атомов этот процесс происходит точно так же. Если электроны одного атома находятся слишком близко к электронам другого, то они отталкиваются друг от друга и отдаляются на некоторое расстояние.

В конце концов, два атома могут находиться на идеальном расстоянии, при котором притяжение между электронами и протонами будет сильнее отторжения между двумя видами электронов. Проще говоря, притяжение между протоном и электроном достигнет своего максимума, а отторжение между электронами – минимума. Когда происходит такая ситуация, может образоваться связь.

Давайте представим, что вы и незнакомец из кофейни находитесь на комфортном расстоянии и заводите разговор. Если вас притягивает друг к другу, вы перейдете на следующую ступень: установление постоянной связи. Вероятно, вы встретитесь еще пару раз за чашечкой кофе или обменяетесь номерами телефонов. Но так как мы все-таки говорим о соединении атомов, то представим, что на следующей ступени они берутся за руки.

Когда атомы «берутся за руки», они образуют связь. По сути, связь в химии – это соглашение между двумя атомами. Теперь они будут всегда вместе, до тех пор, пока не появится более привлекательный атом. Представим, что я держусь за руки с прекрасным незнакомцем, и я буду делать это до тех пор, пока в помещение не войдет Райан Рейнольдс. Тогда я отпускаю

руку того прекрасного незнакомца и бросаю его, чтобы установить «лучшую» связь. *То же самое* происходит с атомами.

Но есть небольшое различие. Я могла бы уйти в закат с Райаном Рейнольдсом и быть той же самой Кейт, которая недавно вошла в кофейню, *и* той же девушкой, которая держала за руку незнакомца. Ни Райан, ни незнакомец не забрали мою руку или ногу, верно? К сожалению, у атомов А и В не всегда все проходит так мирно.

В отличие от меня и незнакомца, когда два атома решают соединиться друг с другом, они перестают существовать как два отдельных, независимых атома. Когда они образуют связь, сразу же происходит обмен электронами. Поэтому иногда после распада связи атом А может иметь один или два электрона атома В.

Но когда атомы остаются вместе, мы стараемся проанализировать, насколько равномерно электроны распределяются между ними. И чтобы сделать это, нам нужно изучить *характер* атома, исследовать его состав. Самый простой способ сделать это – классифицировать атом как металл или неметалл. К счастью, отличить два этих типа друг от друга очень просто как в лаборатории, так и в обычной жизни.

Для начала, если металлы очистить, то они очень красивые. Металлы, например золото, кобальт или платина, блестят: они обладают способностью отражать падающий на них свет. К тому же большинство металлов имеют свойства ковкости и пластичности, благодаря чему они идеальны для изготовления ювелирных украшений. (Мы используем эти термины для описания металла, форму которого можно изменять.) Металлы также обладают высокой теплопроводностью, о чем вы, скорее всего, уже знаете: вы обожжетесь, если прикоснетесь к горячей кастрюле на плите. А кроме того, высокой электропроводностью. Это означает, что электроны большинства металлов могут перемещаться между металлами практически без сопротивления. Именно поэтому стоять во время грозы с зонтом – не самая лучшая идея. Металл, из которого обычно делается ручка (а также верхняя часть зонта), притягивает к себе молнию. А так как металлы хорошо проводят электрический ток, то именно из-за электронов люди умирают от удара током. С другой стороны, мы очень часто пользуемся этим свойством металлов, например, когда делаем аккумуляторы для телефонов.

Металлы с легкостью отдают свои электроны другим атомам, но при этом они редко образуют связи, в которых им нужно принимать чужие электроны. Металлы очень похожи на Санта-Клауса: он очень любит дарить подарки, но не любит их получать! (К сожалению, у атомов нет эквивалентов молока и печенья.) При объединении с другим металлом они должны принять чужой электрон; поэтому они стараются избегать подобных связей.

Элементы из группы неметаллов не отражают свет, непластичны и не обладают ковкостью. Термин *«ковкость»* используется в том случае, если вещество (обычно это металл) можно вытянуть в тонкую проволоку. Но что определяет неметаллы? Ну, они не являются металлами. (Да-да, я знаю, что это очевидно.) Большинство твердых неметаллов не блестят. Газообразные неметаллы в основном бесцветны, а это значит, что мы даже не можем увидеть эти элементы или сделать из них украшения.

Что вам еще нужно знать о неметаллах? Они обладают плохой тепло- и электропроводностью. Электроны с трудом двигаются в подобных элементах, так что многие из неметаллов инертны. (Вот почему все инертные газы, о которых я рассказывала вам в прошлой главе, не вступают в химические реакции.) Проще говоря, их электроны не могут переходить от одного атома к другому так же легко, как у металлов.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.