ХИМИЯ
НАВСЕГДА
О гороховом супе,
опасности утреннего кофе
и пробе мистера Марша
ЛАРС ОРСТРЁМ

Ларс Орстрём

Химия навсегда. О гороховом супе, опасности утреннего кофе и пробе мистера Марша

http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=64459391
Химия навсегда. О гороховом супе, опасности утреннего кофе и пробе мистера Марша: КоЛибри, Азбука-Аттикус; Москва; 2021
ISBN 978-5-389-19541-7

Аннотация

Почему дирижабль «Гинденбург» был наполнен водородом, а не гелием и почему это привело к трагедии? Чем занимались зелейщики и почему крестьяне их не жаловали? Зачем ацетон был нужен военно-морскому флоту Великобритании? Действительно ли оловянные пуговицы сыграли фатальную роль в наполеоновской кампании 1812 года? Ларс Орстрём, шведский химик, специализирующийся в области неорганической химии, преподаватель и ведущий научно-популярного подкаста журнала Chemistry World, с непринужденностью и азартом настоящего ученого распутывает детективные сюжеты из литературы и из жизни, рассказывая захватывающие истории о химических элементах и нашем взаимодействии с ними.

«Химия может быть математически сложной, но при этом такой же простой, как детский деревянный конструктор,

полагающейся на такие элементарные вещи, как разница в размерах. Время от времени мы достаем свои конструкторы из ящика, однако теперь все чаще используем компьютер. И совсем как маленькие дети, которых зачаровывает цвет, форма и текстура набора шариков, химики испытывают потребность потрогать пальцем атомы и молекулы, чтобы выяснить, какими свойствами они обладают». (Ларс Орстрём).

В формате PDF A4 сохранён издательский дизайн.

Содержание

Предисловие 6
1 15
2 30
3 41
Конец ознакомительного фрагмента. 48

Ларс Орстрём
Химия навсегда. О гороховом супе, опасности утреннего кофе и пробе мистера Марша

Lars Öhrström

The Last Alchemist in Paris and other curious tales from chemistry

© Lars Öhrström, 2013

© Постникова О., перевод на русский язык, 2021

© Издание на русском языке. ООО «Издательская Группа «Азбука-Аттикус», 2021

КоЛибри®

Предисловие
Таблица Менделеева и код да Винчи

Если вам хочется действия, можете начать сразу с главы 1. Если же вам требуется краткое введение в Периодическую таблицу элементов и управление электронами, а также некоторое представление о том, что мог бы сотворить из этого Дэн Браун, начните с предисловия.

Периодическая система элементов часто пугает студентов. Вы можете испытывать трудности со спряжением неправильных французских глаголов, можете путать последовательность пребывания Эдуардов, Ричардов и Генрихов на английском престоле, но вам все равно будет казаться, что 114 элементов таблицы Менделеева, их обозначения и место, которое они занимают в маленьких ячейках этой совершенно несимметричной таблицы, представляют собой совершенно иной уровень сложности.

Для людей посвященных и для страстных любителей химии Периодическая система элементов – это источник бесконечного очарования, а для начинающих лаборантов, которые заучивают ее наизусть, – боевое крещение. Для всех остальных это лишь карта химического ландшафта, по которому все мы бродим, хотя связь между ней и нашей реально-

стью порой бывает довольно туманной. Истории, рассказанные в этой книге, помогут вам установить связь между картой и реальной жизнью: это истории о приключениях, успехах и неудачах обычных и необычных людей со всего света, которые намеренно встречались или случайно сталкивались с различными химическими элементами.

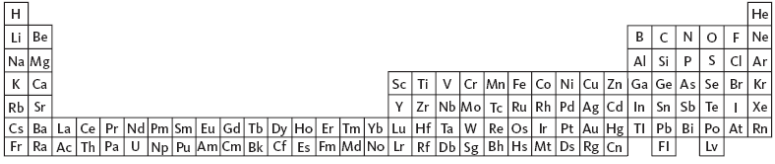

Рисунок 1. Периодическая таблица 2012 года по версии ИЮПАК (Международного союза специалистов по теоретической и прикладной химии)[1]. Это расширенная версия, в которой элементы La – Yb и Ac – No находятся на своих местах, а не вынесены в отдельные строки под остальными элементами.

Однако для начала я должен дать вам краткое руководство по географии и карте элементов. На рисунке 1 вы видите Периодическую таблицу в версии 2012 года, в так называемой «длиннопериодной» форме, в которой более тяжелые элементы, такие как уран (U) и гадолиний (Gd), находятся

[1] Периодическая таблица химических элементов ИЮПАК (Международный союз специалистов по теоретической и прикладной химии, 2012 г.). URL: https://iupac.org/what-we-do/periodic-table-of-elements/.

на своих местах, подобно тому как Оркнейские и Шетландские острова занимают на карте точное положение относительно основной территории Великобритании, а не сдвинуты в область нефтяных месторождений к востоку от Абердина и Данди. Или как Аляска и Гавайи, изображенные в той же координатной сетке, что и материковая часть США, а не нарисованные приблизительно к югу от Калифорнии и к западу от Техаса.

Чтобы вы поняли, почему мы изображаем таблицу именно так, позвольте мне пригласить вас на воображаемое сафари в заповеднике, где лениво пасутся только два вида зебр: в черную полоску и в белую полоску. Здесь лишь один источник воды, поэтому всем зебрам приходится ходить к нему хотя бы раз в день. Проблема в том, что эти зебры очень агрессивны. Зебра в белую полоску может вытерпеть всего одну зебру в черную полоску, и наоборот; если зебр будет больше, это закончится ужасной дракой.

Если зебр всего две, по одной каждого вида, проблем не возникнет. Животные будут лениво пастись, по возможности стараясь избегать друг друга, и сформируют круг выщипанной травы с водопоем в центре. Если мы хотим, чтобы зебр было больше (а скорее всего, так и есть – ведь это прекрасные животные), нам придется как-то управлять их передвижением, чтобы избежать драк, и мы решим разгородить саванну на участки, напоминающие куски пирога. Однако администрация заповедника разрешит нам сделать это

лишь тремя способами: так, чтобы в каждой совокупности загонов находились шесть, десять и 14 зебр (см. рисунок 2).

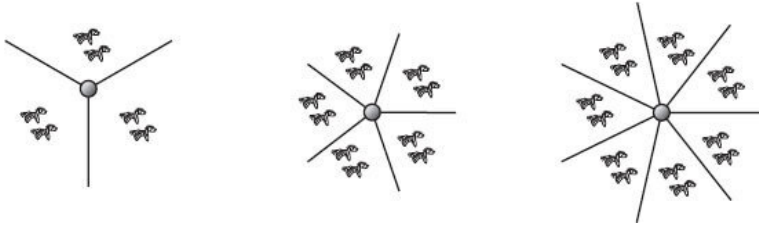

Рисунок 2. Загоны с зебрами, которые позволяют разделить их по типам, при этом у всех есть доступ к водопою в центре.

Поведение электронов немного напоминает поведение зебр: их притягивает положительно заряженное ядро, но при этом они любой ценой избегают друг друга, поскольку одноименные заряды отталкиваются. Они могут терпеть одного соседа, и то лишь в том случае, если у того противоположный спин[2] – это свойство связано со всем знакомым явлением магнетизма, но его тем не менее трудно точно определить. Существуют электроны с разными видами спина, но отличить их друг от друга так же сложно, как и решить, какая перед вами зебра: в черную полоску или все же в белую. Природа разделяет электроны, держа в каждой совокупности «загонов» по два, шесть, десять или 14 электронов. Те-

[2] *Англ.* spin – «вращение».

перь вам остается представить «загоны» в виде трехмерных участков пространства вокруг ядра. Мы называем эти участки *орбиталями* и используем для их обозначения буквы *s, p, d* и *f*.

Когда мы добавляем к ядрам протоны, чтобы создать более тяжелые элементы, мы также добавляем электроны, которые должны оказаться в секторе *s, p, d* или *f*, и, начав заполнять «загон», мы будем продолжать это делать до тех пор, пока он не будет полон. Вопрос в том, в какой степени и последовательности их заполняют. Давайте запишем числа на листе бумаги в стиле Дэна Брауна – так, чтобы они образовали паттерн, как на рисунке 3.

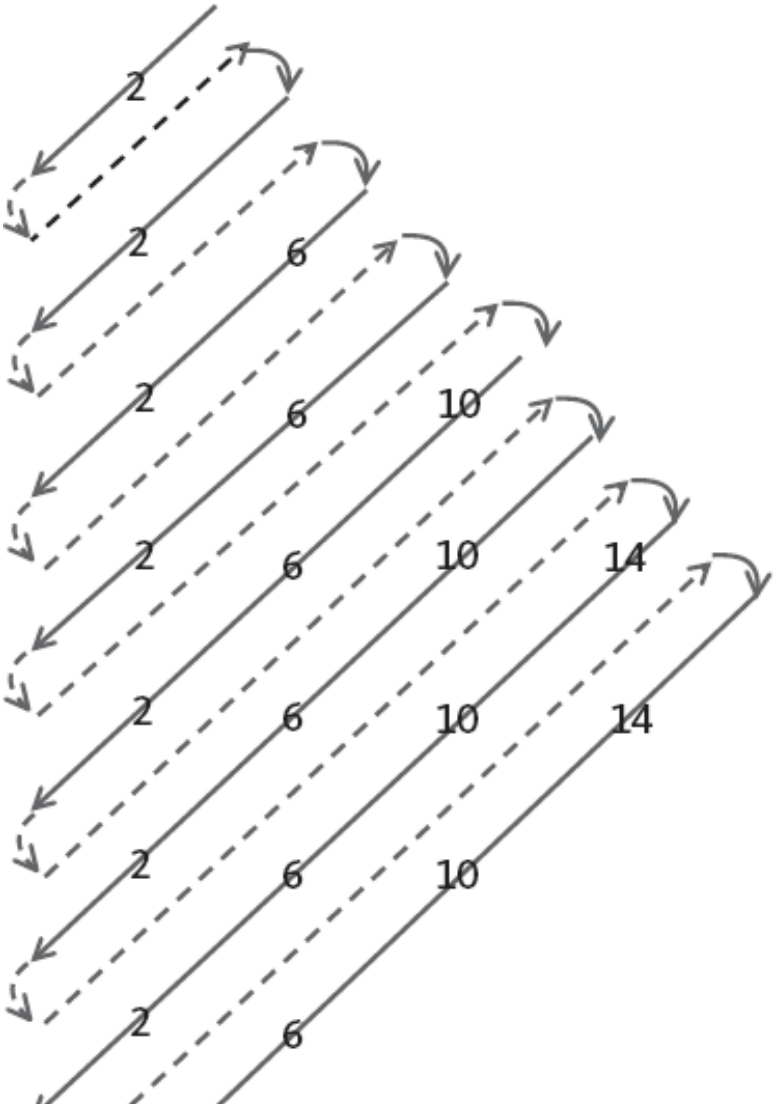
2
2
6
2
6
10
2
6
10
14
2
6
10
14
2
6
10
2
6

Рисунок 3. Ищем закономерность разделения электронов: каждый «загон», или тип орбиталей, может принять не больше двух, шести, десяти или 14 электронов. Линия, пересекающая числа справа, отмечает путь через таблицу Менделеева.

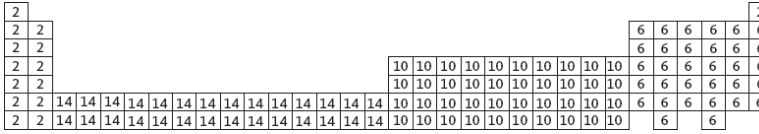

Рисунок 4. Периодическая таблица в виде четырех «континентов», соответствующих элементам, для которых на последних заполняемых типах орбиталей могут максимально разместиться два, шесть, десять или 14 электронов. Мы называем их *s-, p-, d-* и *f-* элементами соответственно.

Затем мы чертим диагональную зигзагообразную линию через эти числа, и она ведет нас через Периодическую таблицу в порядке увеличения зарядового числа: H, He, Li, Be, B и так далее. Если по мере продвижения мы будем заменять символ каждого элемента максимальным числом электронов в тех типах орбиталей, которые мы заполняем, то получим картину, изображенную на рисунке 4. Надеюсь, теперь стало совершенно очевидно, что географию Периодической таблицы можно приблизительно описать как четыре «континента», характеризующиеся соответственно двумя, шестью, де-

сятью или 14 электронами в последнем заполняемом заго-не, – или, как мы предпочитаем их называть, *s-, p-, d-* и *f–* элементы.

Это упражнение в нумерологии не интересовало бы химиков, если бы полученная в результате карта не помогала им маневрировать среди атомов и молекул в реальном мире; однако именно это она и делает[3]. Умение различать элементы по типу последней заполненной орбитали – *s, p, d* или *f* – полезно и служит первым шагом к пониманию природы химических веществ.

Время от времени химики перестраивают Периодическую таблицу, отображая ее в форме спирали, трехмерных конструкций, кругов или цилиндров. Ценители Периодической таблицы утверждают, что существует по крайней мере 700 ее версий[4], и некоторые из них подробно и детально подчеркивают различные отношения между элементами, не являющиеся очевидными в стандартной версии. Другие, однако, пытаются найти основополагающие принципы и смыслы в том, что в конце концов представляет собой всего лишь удобный способ изобразить большой объем собранных данных[5].

---

[3] Из квантовой механики можно вывести (хоть это и нетривиальное упражнение даже для физиков) такую же периодическую таблицу и множество удобных объяснений поведения химических элементов.

[4] Scerri E.R. The Periodic Table: Its Story and Its Significance. Oxford University Press, 2006.

[5] Ball P. There is No Hidden Understanding to be Teased out by "Improving" the Periodic Table, Argues Philip Ball. But Eric Scerri Begs to Differ // Chemistry World,

Можно было бы вообразить, как главный персонаж книг Дэна Брауна, героический профессор символистики Роберт Лэнгдон[6] несется по страницам романа в поисках «истинного» изображения Периодической таблицы – той штуки, которая, если ее обнаружить, приведет к тому, что мир «исчезнет и будет заменен чем-то еще более странным и необъяснимым»[7]. А может быть, ответ на главный вопрос Жизни, Вселенной и Всего Такого в книге «Автостопом по галактике» – не 42[8], а молибден?

September 2010.

[6] Браун Д. Код да Винчи (The Da Vinci Code). АСТ, 2004.

[7] Адамс Д. Автостопом по галактике (The Hitchhiker's Guide to the Galaxy). АСТ, 1997.

[8] В книге Д. Адамса ответ на этот вопрос должен был разрешить все проблемы Вселенной. Для его получения был создан специальный компьютер, который после 7,5 миллиона лет вычислений дал на него ответ – 42.

1
Мистер Кхама придет к обеду[9]

Если вы знакомы с Периодической таблицей, то, наверное, ожидали, что в главе 1 будет рассказываться о водороде – легчайшем химическом элементе с зарядовым числом 1, который состоит из ядра всего с одним протоном с зарядом плюс один и одного вращающегося вокруг ядра отрицательно заряженного электрона. Однако эта книга следует собственной логике, и вместо водорода мы начнем с элемента, который когда-то считался самым тяжелым во Вселенной. Его зарядовое число 92.

Температура приближается к +38 °C, впереди прямой линией стелется ведущее на северо-восток шоссе, связывающее столицу Ботсваны, Габороне, с Франсистауном. Сейчас самый разгар сезона жары, и здесь, у самой кромки пустыни Калахари, пейзаж по идее должен иметь желтоватый оттенок, но вместо этого все буйно зеленеет после дождей. Мы останавливаемся и видим сотни одинаковых бабочек, собравшихся в маленьком озерце грязи; вернувшись на хорошо заасфальтированную, гладкую дорогу, мы бдительно следим за тем, чтобы избежать столкновения с время от време-

[9] Отсылка к фильму «Угадай, кто придет к обеду?» (Guess Who's Coming to Dinner). – *Прим. ред.*

ни встречающимися коровами, козами или ослами, которые наслаждаются зеленой травой, растущей на обочинах.

У большой угольной шахты и электростанции в Палапье мы сворачиваем с главной дороги налево и еще через час проезжаем мимо большого современного торгового центра, а потом, почти не заметив этого, въезжаем в Серове – поселение, которое считается самой крупной традиционной деревней в Африке[10]: около 90 000 человек живут здесь главным образом в одно- и двухэтажных домах, которые расположены особенным, совершенно не городским образом.

Мы видим указатели к музею, который не находим, и к *кготла* – его нам отыскать удается. Это большое открытое пространство – очень чистое, окруженное величественными деревьями и оградой высотой по пояс – до сих пор служит местом встреч совета племени *бамангвато* (слово *кготла* на языке тсвана означает «суд»), но сегодня здесь совершенно безлюдно.

А теперь давайте перенесемся назад во времени; 23 июня 1949 года все было совершенно иначе. Серове, в то время крупнейший городской центр британского протектората Бечуаналенд, только что наводнили многочисленные южноамериканские и британские журналисты, присоединившиеся к сотням соплеменников, собравшихся на *кготла*. Было не так жарко, потому что стояла зима, но в те времена это место было по-настоящему труднодоступным. В протекторате тогда

[10] Mwakikagile G. Botswana Since Independence. New Africa Press, 2009.

не было ни единого метра асфальтированных дорог, жизнь в стране была бедна и сурова, и британцы предпочитали довольно расслабленно руководить ею из более обустроенного Мафекинга в Южно-Африканском Союзе.

Все внимание в тот день было приковано к высокому, физически крепкому мужчине лет тридцати; он обращался к толпе людей, многие из которых проделали долгий путь, и к отсутствующей женщине. Кто они и что именно поставлено в этот день на карту?

Молодой мужчина – Серетсе Кхама, наследник вождей *бамангвато*. Он борется за то, чтобы его племя признало его брак с Рут Уильямс. Рут – молодая англичанка с твердым характером, бывшая служащая женской вспомогательной службы ВВС Соединенного Королевства, а теперь, по причине этого брака, бывшая сотрудница Лондонского Ллойда[11]. Ее уволили сразу после того, как общественность узнала о ее замужестве[12].

---

[11] Lloyd's of London – известный рынок страхования, существующий с XVIII века.

[12] Parsons N., Henderson W., Tlou T. Seretse Khama. Macmillan, 1995; Mbanga W., Mbanga T., Seretse & Ruth. Tafelberg, 2005; Dutfield M. A Marriage of Inconvenience. Harper Collins, 1990.

Рисунок 5. Серетсе Кхама обращается к суду племени в Серове, 1949 г. Фотография © Time & Life Pictures / Getty Images.

Вероятно, Серетсе – единственный человек в стране, получивший высшее образование: у него за плечами университет Форт-Хэйр в Южной Африке и обучение в Оксфорде; в настоящее время он изучает право в Иннер-Темпл в Лондоне. Он сын бывшего вождя; нынешний регент, его дядя Тшекеди, предназначил ему вести народ к современной жизни, но в его планы не входило то, что племянник влюбится

в белую женщину и женится на ней. Тшекеди и старейшины племени не одобряют этот брак и требуют развода.

Но Серетсе получает поддержку молодых людей племени, и симпатии совета склоняются в его пользу. Все могло бы на этом и закончиться, и на *кготла* было бы принято решение приветствовать Рут как будущую королеву, но вместо этого совет превратится в «Дело Серетсе» – дипломатический и публичный кошмар для последующих правящих кабинетов Великобритании, как лейбористов, так и тори, который продлится до середины 50-х годов.

Почему?.. По законам протектората британское правительство должно было утвердить нового правителя, но этому не суждено было случиться. Сначала это дело погрузилось в пучину бюрократической волокиты: было проведено расследование, выводы следственного комитета утаили, копии отчета уничтожили, и наконец в 1952 году супружескую пару без суда приговорили к вечной ссылке с родины Серетсе; сделал это лорд Солсбери, госсекретарь правительства тори по делам Содружества[13].

Мы не знаем наверняка, какие факторы сыграли решающую роль и повлияли на действия кабинета министров и рекомендации от высокопоставленных чиновников, однако существует одно примечательное совпадение, которое, возможно, решило исход дела.

В начале 30-х годов атомную физику и ядерную химию

[13] Ibidem.

считали не более чем дорогостоящим увлечением заумных исследователей, и страны, придававшие особое значение практической полезности науки (к примеру, СССР), почти не финансировали подобные исследования. Как следствие, радиоактивные вещества не пользовались большим спросом. Самым востребованным из них был радий, но и он не представлял большой ценности, а урановые руды, из которых он добывался, использовались лишь для окрашивания стекла (получалось прекрасно, но по очевидным причинам этого больше не делают).

Как все мы знаем, ситуация быстро изменилась, поскольку урану обязаны и Вторая мировая война, и Манхэттенский проект по созданию атомной бомбы, а позже и развитие гражданской атомной энергетики. Хотя этот металл существует в достаточном количестве (его содержание в земной коре составляет 2,3 ppm / 0,00027 %) и встречается чаще, чем, к примеру, олово, в те времена, когда на него возник спрос, пригодных для разработки месторождений было мало. Кроме того, процесс переработки руды в металл был довольно сложным и малоисследованным, поэтому разработку месторождений и производство урана невозможно было организовать быстро[14].

В 1939 году уран находился в дальнем углу Периодической таблицы. С зарядовым числом 92 он был самым тяже-

[14] Duffy R.J. History of Nuclear Power // Encyclopedia of Energy. Elsevier, 2004. Vol. 4.

лым из известных элементов, пока в 1940 году не открыли нептуний и плутоний; до окончания войны об этих двух элементах знали лишь несколько избранных. На самом деле местонахождение урана в Периодической таблице не было точно определено. В 1939 году он еще не переехал со своего изначального места прямо под вольфрамом (W)[15]. Весь ряд *трансурановых* элементов еще только предстояло открыть и поместить в особую категорию *актиноидов* – элементов с зарядовым числом от 89 до 103; это произошло в конце 40-х годов.

Во время Второй мировой войны США фактически получили монополию на уран, поскольку контролировали два его главных источника, существовавших в 1949 году: Эльдорадо в Канаде и Шинколобве в провинции Катанга в тогдашнем Бельгийском Конго[16]. Советский Союз был вынужден обходиться (по крайней мере, так считалось) захваченными запасами, оставшимися от немецкого проекта по созданию атомной бомбы, и тем, что еще можно было добыть в старой шахте города Йоахимстали (Яхимов) на территории нынешней Чехии.

Несмотря на то что идея получать в больших количествах дешевую атомную энергию, без сомнения, привлекала бри-

---

[15] И в моем издании Laerebog i uorganisk kemi Нильса Бьёррума 1946 года он все еще находится там, даже несмотря на то что Бьёррум в былые времена преподавал химию Нильсу Бору.

[16] 49 Uranium Rush // Popular Mechanics, 2 (91). 1949.

танское правительство, национальная безопасность, воплощенная в ядерном оружии, вероятно, была более важным пунктом повестки дня. Британские ученые принимали участие в Манхэттенском проекте, но все же США не поделились всеми результатами работы со своими бывшими союзниками, предоставив британцам самостоятельно работать над недостающими деталями и, что не менее важно, найти свои собственные запасы урана.

Когда нервничающие политики обратились к геологам, те предсказали (весьма точно, как позже выяснилось), что со временем геологоразведочные работы помогут обнаружить достаточные залежи урана, которые сделают возможным и долгосрочное использование атомной энергии, и разработку ядерного оружия. То, как именно им удалось это предсказать, останется за рамками этой книги, но геологические карты, показывающие состав грунта по различным типам скальных пород, были широко распространены уже в 1948 году, и, зная тип скальной породы, можно было предсказать, какие минералы можно найти в данной местности.

Однако, для того чтобы фактически обнаружить урансодержащую руду, нужно находиться на месторождении. В отношении урана существовало одно полезное устройство, которое могло превратить в геологоразведчика любого дилетанта, собирающего камни[17]: счетчик Гейгера. Этот недо-

[17] Как это показано на обложке американского журнала «Популярная механика» 1949 года.

рогой портативный прибор измеряет радиоактивность, хотя альфа-частицы (ядра гелия с двумя протонами и двумя нейтронами, испускаемые с высокой скоростью) труднее обнаружить, чем бета-частицы (электроны) или гамма-лучи (они подобны рентгеновским лучам, но обладают еще большей энергией). Эти три типа радиации обычно называют «ионизирующим излучением», поскольку они способны отрывать электроны от ядер, образуя заряженные ионы; и именно так их обнаруживает счетчик Гейгера.

Когда излучение проходит через трубку, наполненную газом – например, благородным неоном, – молекулы газа (вернее, его атомы, ведь неон как вещество состоит из отдельных атомов) сталкиваются с быстрыми частицами или с высокоэнергетическими фотонами, которые смогут выбить из атома неона электроны, превращая атомы в положительно заряженные ионы. Теперь в трубке содержатся ионы, и внезапно она обретает способность проводить электричество, совсем как водный раствор какой-нибудь соли (нейтральные молекулы на это не способны), и именно это создает показания измерительного прибора. Но обычно счетчик также издает отчетливое пощелкивание, чтобы помочь геологоразведчику легко обнаружить источник излучения.

Я не знаю, удавалось ли кому-то из этих любителей найти золото и получить – по крайней мере, в США – щедрую награду от правительства. Однако в конце войны для страны, которая хотела быстро обзавестись ядерным оружием, обе-

щания будущих шахт от геологов и геологоразведчиков были слабым утешением. Казалось, что удобное решение под рукой, когда выяснилось, что для получения урана, вероятно, можно использовать низкосортные руды золотых приисков Витватерсранда неподалеку от Йоханнесбурга[18]. Пробританский премьер-министр Южно-Африканского Союза фельдмаршал Ян Смэтс активно стремился к сотрудничеству, и переговоры уже велись, когда в 1948 году его партия проиграла выборы и к власти с большим перевесом голосов пришла Национальная партия под руководством Даниеля Франсуа Малана.

Новый режим немедленно принялся внедрять идеологию апартеида, и в июне 1949 года, когда происходило собрание *кготла* в Серове, парламент единогласно принял закон о запрещении смешанных браков. Вследствие этого Национальная партия ни за что не потерпела бы громкий смешанный брак прямо у себя под носом. Именно это и сообщил британскому правительству Д.Ф. Малан после триумфа Серетсе в Серове. Однако точных последствий в случае отказа британцев сотрудничать он не озвучил.

Различные правительства Великобритании долгое время отрицали, что находились под давлением Южной Африки, и использовали полуправду и беспочвенные обвинения для

[18] Willis R.P.H. The Uranium Story – An Update // The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, 106. 2006. P. 601–609; Masiza Z. A Chronology of South Africa's Nuclear Program // The Nonproliferation Review Fall, 1993. P. 35–55.

оправдания своих действий[19]. Однако в 1986 году кембриджский историк Рональд Хайам представил доказательства обратного[20], а в 1990 году независимо от Хайама это сделал журналист Майкл Датфилд в своей книге «Брак не по расчету»[21].

Вероятно, Национальная партия потратила некоторое время на поиски наилучшего инструмента убеждения, и, похоже, они выбрали для этого уран. Вскоре после того, как верховный комиссар Лейф Эгеланн лично доставил первое гневное послание от премьер-министра ЮАС, он же отправил ноту госсекретарю по делам Содружества, в которой заявлял, что переговоры по урану будут прекращены по крайней мере до конца октября 1949 года.

Затем на сцене появилось третье действующее лицо, которое, возможно, сделало урановый вопрос самым актуальным. 29 августа 1949 года Советский Союз удивил весь мир, и особенно западную разведку, взорвав первую ядерную бомбу более чем на три года раньше, чем ожидалось по оценкам ЦРУ.

Суть этой истории в том, что Рут, Серетсе и их маленькая дочь Жаклин жили в ссылке в Англии при двух британских правительствах подряд, несмотря на то что кабине-

---

[19] Parsons, Seretse Khama.

[20] Hyam R. The Political Consequences of Seretse Khama: Britain, the Bangwato and South Africa, 1948–1952 // The Historical Journal, 29. 1986.

[21] Dutfield, A Marriage of Inconvenience.

ты министров попали под жестокий огонь критики со стороны национальной и международной прессы, и надо сказать, что некоторые (хоть и не все) британские чиновники, имевшие отношение к этому делу, испытывали искренние угрызения совести. Премьер-министр Эттли заметил: «Как будто нас вынудили согласиться на отречение от престола Эдуарда VIII, чтобы не раздражать Ирландское Свободное государство и Соединенные Штаты Америки»[22].

В 1952 году заработал первый в Южной Африке урановый завод[23], а 26 сентября 1957 года супружеской паре Кхама позволили вернуться домой, хотя Серетсе официально так и не признали вождем бамангвато. К тому времени, как и предсказывали, на рынке уже было достаточное количество урана, а Южная Африка была в любом случае проигранным делом для Содружества: до знаменитой речи Гарольда Макмиллана «Ветер перемен» в Кейптауне[24] оставалось всего два с половиной года.

На этом заканчивается история об уране, но не исто-

---

[22] Hyam R., Henshaw P. Prime Minister's Office Papers // The Lion and the Springbok: Britain and South Africa Since the Boer War. Cambridge University Press, 2003.

[23] Willis, The Uranium Story; Masiza, A Chronology of South Africa's Nuclear Program.

[24] 3 февраля 1960 года в Кейптауне, говоря о деколонизации, Макмиллан объявил, что «над этим континентом веет ветер перемен, и Великобритания вынуждена с этим считаться». После этого в том же году большинство африканских колоний получили независимость.

рия Серетсе и Рут Кхама. Читатели восхитительной серии книг Александра Макколла Смита о «Женском детективном агентстве № 1», возможно, обратили внимание на портрет, висевший на стене у Мма Рамотсве: портрет первого президента Ботсваны сэра Серетсе Кхама, 1921–1980[25]. Мма Рамотсве глубоко его почитает и ставит на один уровень с королевой Великобритании и Нельсоном Манделой[26].

Так была ли принудительная ссылка четы Кхама следствием южноафриканского шантажа по поводу урана? Мы не знаем этого наверняка. Рональд Хайам и Питер Хеншоу утверждают в книге «Лев и антилопа: Великобритания и Южная Африка после Англо-бурской войны» (2003)[27], что правительство Великобритании было больше озабочено прямой аннексией своих южноафриканских протекторатов Южно-Африканским Союзом и что высылка четы Кхама рассматривалась как невысокая цена за защиту жителей нынешних Ботсваны, Лесото и Свазиленда от ига апартеида.

В то же время Хайам и Хеншоу отмечают, что для большинства министров это был стратегический вопрос, включавший в себя доступ к важным полезным ископаемым и основанный на «контексте и требованиях холодной войны». Уязвимость протекторатов сильно заботила министров и чиновников. Однако в британских архивах, похоже, нет дока-

---

[25] Леди Рут Уильямс Кхама, 1923–2002.

[26] McCall Smith A. The Number One Ladies Detective Agency. Polygon, 1999.

[27] Hyam, Henshaw, The Lion and the Springbok.

зательств прямой связи между прекращением переговоров по урану в 1949 году и действиями, предпринятыми против четы Кхама. Ответ на вопрос, разыгрывали ли южноафриканцы урановую карту в этой игре, следует искать в архивах Претории.

По моим личным представлениям, на короткий период 1949 года, последовавший за испытаниями советской бомбы, урановый вопрос сохранял важность, но в том, что касается всех действий, предпринятых британским правительством в последующие годы, был лишь одним из нескольких вторичных факторов, влиявших на его решения; вторым таким фактором были расовые предрассудки.

Некоторые говорят, что история Рут и Серетсе послужила источником вдохновения для последнего фильма, в котором снялся Спенсер Трейси, – «Угадай, кто придет к обеду?», где также снялись Сидни Пуатье, Кэтрин Хотон и Кэтрин Хепберн, а режиссером стал Стэнли Крамер. В этой классической голливудской постановке[28] Хотон – молодая белая женщина из среднего класса – приглашает своего жениха Пуатье, с которым она недавно обручилась, на обед со своими родителями. Фильм вышел на экраны в 1967 году, через полгода после того, как Верховный суд США признал незаконным запрет на межрасовые браки. В то время этот запрет широко применялся в 17 штатах, и «преступление» каралось тюрем-

[28] Фильм получил два «Оскара»: Хепберн получила награду за лучшую женскую роль, а Уильям Роуз – за лучший оригинальный сценарий.

ным заключением. Последним штатом, официально удалившим из свода законов этот так называемый акт против смешения рас, была Алабама в 2000 году[29].

Почему же оценки ЦРУ касательно русской атомной бомбы оказались столь неприлично ошибочными? В главе 2 мы исследуем ту часть Периодической таблицы, которая дает ответ на этот вопрос.

[29] Campbell D. Alabama Votes on Removing its Ban on Mixed Marriages Special Report: The US Elections // The Guardian, 3 November 2000.

2
Из Биттерфельда с любовью

В главе 2 мы попадем в обманчивый и мрачный мир разведки и шпионажа, а заодно узнаем, как добывать металл из горных пород.

В сентябре 1961 года Генри Лёвенхаупт бросил последние куски восточногерманского металлического кальция в реку Потомак и наблюдал за бурной реакцией, в результате которой вода закипела, поскольку металл передал два своих электрона в молекулы H_2O, в результате чего выделился водород и большое количество тепла. Разбор химических реакций может показаться пугающе трудным занятием, но на самом деле это совсем несложно, и по мере своего рассказа я обязательно продемонстрирую вам парочку уравнений. Просто запомните, что атомы и электроны никогда никуда не исчезают, и вы во всем разберетесь.

В виде уравнения описанное выглядело бы так:

$$Ca + 2H_2O \rightarrow Ca^{2+} + H_2 + 2OH^{-}.$$

Возможно, оно покажется вам немного похожим на реакцию металлического натрия с водой, которую многим из нас демонстрировали в школе; так оно и есть. Однако реакция с кальцием протекает немного медленнее, и в ней выделяется

меньше энергии, потому что от атома отрываются два электрона, а не один, как в случае с натрием[30]. (Отрыв электронов представляет собой то, что мы называем окислением, и кальций изменил степень окисления с 0 на +2.)

Мистер Лёвенхаупт наверняка все это знал. Он окончил Йельский университет, принимал участие в Манхэттенском проекте по созданию первой атомной бомбы и посвятил оставшуюся часть своей карьеры работе в ЦРУ – с основания этой организации в 1947 году и до своей отставки в 1991-м[31]. Брошенный в Потомак металлический кальций был остатками проекта, который мог бы спасти ЦРУ от первой для них крупной неудачи и который был частью одной из самых изощренных диверсионных операций в истории – операции «Гаечный ключ»[32].

Как мы выяснили в главе 1, испытания первой советской атомной бомбы в 1949 году стали полной неожиданностью для ЦРУ и МИ6. Но к их чести – по крайней мере, к чести американцев – надо отметить: для русских стало полной неожиданностью, что их немедленно вычислили. (Устройство этой системы обнаружения уже само по себе является интереснейшей историей.) Так почему же разведки США

---

[30] При реакции с металлическим натрием выделяется такое количество тепла, что водород иногда воспламеняется.

[31] Некролог Henry S. Lowenhaupt, 87; CIA Trailblazer // The Washington Post. 14 March 2006.

[32] Lowenhaupt H.S. Chasing Bitterfeld Calcium // Studies in Intelligence, 1 (17). 1996 (подчищенная версия: оригинал опубликован в 1973 г.).

и Соединенного Королевства так катастрофически недооценили скорость развития сталинской атомной программы? По существу, они неверно оценили способность Советского Союза производить уран. Для этого в дополнение к существующим запасам, захваченным у немцев, использовались бедные ураном руды из шахт в Уральских горах.

Шпионаж непосредственно на русских атомных объектах был исключен, однако большое количество информации можно было добыть из других источников. Одной из важных целей был *Uranverein* – «Урановый клуб» нацистской Германии: это кодовое название носила программа по созданию атомной энергии и ядерного оружия, которая попала под управление русских на оккупированной ими территории. Одним из ключевых вопросов было то, как именно русские собирались получать уран из урановых руд.

Согласно общему правилу, металлы нестабильны в своей нейтральной форме (с нулевой степенью окисления), с известными исключениями в виде благородных металлов – золота и серебра – и меди, которые, если вам повезет, можно обнаружить в виде самородков. Эти металлы очень крепко держатся за свои электроны, чем кардинально отличаются от натрия и кальция, которые только и ждут чего-то подходящего, чтобы сбросить туда электроны со своей последней заполненной орбитали[33].

---

[33] Мы использовали это слово в предисловии; возможно, в школе вы слышали другой термин – электронная оболочка.

При определенных обстоятельствах уран может быть так же хорош, как золото, но он ни в коем случае не является благородным металлом. В природе он обычно встречается в форме со степенью окисления +4, U^{4+}, с четырьмя оторванными электронами, обычно соединяясь с кислородом в UO_2 (или в минерал уранинит с примерной формулой U_3O_8, в котором сосуществуют ионы U^{4+} и U^{6+}). Чтобы вернуть электроны на место и получить металлический уран, нам потребуется нечто, что очень хочет отдать свои электроны, – то, что мы называем сильным восстановителем.

Большинство химических реагентов, которые используются при производстве урана из урановой руды, ничем не примечательны и используются также и для других целей, но из-за того, что уран настолько неблагородный, ему требуется очень сильный восстановитель, чтобы стать металлом. Немцы использовали металлический кальций, производившийся в Биттерфельде – маленьком городке под Лейпцигом в Восточной Германии и неподалеку от старой урановой шахты в Йоахимстале (Яхимове) в Чехии. Поскольку Германия была разделена оккупационными державами, а появление Германской Демократической Республики с ее строгим пограничным контролем было еще впереди, получение разведданных с занятой русскими территории было по крайней мере осуществимо, и МИ6 и ЦРУ пристально наблюдали за заводом в Биттерфельде (и друг за другом).

В 1947 году были собраны доказательства того, что завод в Биттерфельде ежемесячно производит 30 тонн дистиллированного металлического кальция высокой чистоты. Дистилляция ассоциируется у нас с отделением этанола от воды и производством спирта на винокурнях. Этот метод основан на разных температурах кипения двух веществ: этанол закипает при 78 °C, а вода – при 100 °C; однако на самом деле дистилляция – это очень распространенный метод очистки в химической промышленности, применимый к самым разным веществам. Если охладить воздух до состояния жидкости (для этого он должен быть очень-очень холодным), его можно подвергнуть дистилляции и выделить разные его компоненты, такие как азот или неон[34]. Кальций плавится при 842 °C и кипит при 1484 °C, но эти температуры снижаются при понижении атмосферного давления. Однако для этого вовсе не обязательно строить химический завод в Гималаях, поскольку создать похожие условия на заводе довольно легко, и в 1946 году США уже внесли вакуумные насосы в «список контроля за экспортом», помешав торговой организации русских получить большой заказ.

Задача, стоявшая перед Лёвенхауптом и его коллегами, звучала так: им нужно было удостовериться, что 30 тонн кальция в месяц отправятся для использования в советской

[34] Это важный промышленный процесс. Неон и другие благородные газы используются в самых разных целях, а жидкий азот очень важен для охлаждающих установок, но его нужно отделить от жидкого кислорода – весьма опасного вещества.

ядерной программе, а не для какого-либо понятного употребления в немецкой промышленности. Проведя расследование, они установили, что около 5 тонн не особенно чистого металла ежемесячно производилось во время войны для компаний Osram и Phillips – по всей видимости, для изготовления радиоламп; еще 20 тонн различных сплавов кальция с алюминием и цинком ежемесячно продавались немецким железным дорогам. Таким образом, получалось, что 30 тонн дистиллированного кальция никак не могли попасть к покупателям в немецкой промышленности, и, когда находившийся на заводе в Биттерфельде агент сообщил, что 26 июля 1947 года три железнодорожных вагона с дистиллированным кальцием отправились по адресу: Электросталь, Москва, п/я 3, Курская железная дорога, все должны были понять, что правда выплыла наружу.

Чтобы выяснить, что именно русские собирались делать с этим кальцием, агент на заводе в Биттерфельде похитил его образец, и, когда ЦРУ получили результаты полного анализа, стало ясно, что он обладает всеми техническими характеристиками, необходимыми для преобразования ионов урана в металлический уран высокой степени чистоты, готовый для применения в атомной энергетике. Добиться этого можно было следующим способом: сначала нужно было создать молекулы UF_4, а затем провести их реакцию с металлическим кальцием, чтобы получить фторид кальция и металлический уран. Эту реакцию удобнее записать в виде вот

такого уравнения:

$$2Ca + UF_4 \rightarrow 2CaF_2 + U.$$

Вы не видите в подробностях, как электроны меняют свою принадлежность в этой реакции, но, поскольку фтор всегда считается имеющим степень окисления минус один, за исключением газообразной формы F_2, легко понять, что уран стартует со степени окисления +4, а каждый из двух атомов кальция приходит к степени окисления +2.

Одно из полезных свойств уравнения химической реакции заключается в том, что теперь мы можем точно подсчитать, сколько урана русские могли производить каждый месяц. Не буду утомлять вас деталями[35], но этот процесс не особенно отличается от подсчета количества меренги и майонеза, которое вы можете приготовить из определенного числа яиц. Поскольку уран гораздо «тяжелее» кальция, теоретически можно получить почти 200 тонн урана из 30 тонн кальция. При реальном производстве эта цифра ниже, а кальций используется с большим избытком. Американцы подсчитали, что с техническим максимальным выходом, равным примерно 1:2,2, из 30 тонн кальция получится лишь 66 тонн урана.

---

[35] Тем не менее вот эти детали. На каждый атом урана вам требуется два атома кальция. Поскольку атомная масса урана – 238, а кальция – 40, это означает, что на 80 г кальция вы можете получить 238 г урана, а 30 тонн кальция дадут вам (по крайней мере, если теоретически предположить, что реакция пройдет хорошо) $30 \times 238 : 80 = 187$ тонн урана.

И все же основанные на этих цифрах подсчеты демонстрировали, что у русских гораздо больше урана, чем предсказывалось на основании доступных им источников этого элемента. По неясным причинам (Лёвенхаупт винил в этом «спесь») эта информация не привела к соответствующим действиям, иначе дата первых испытаний русской атомной бомбы наверняка была бы пересмотрена. Неизвестно, привело бы это к каким-либо изменениям, но фактором, который, возможно, оказал некое влияние, стала операция «Гаечный ключ», разработанная легендарным офицером МИ6 и химиком Эриком Уэлшем.

Самой важной технической характеристикой металлического кальция можно считать содержание примесного бора. Бор – элемент с символом B и зарядовым числом 5 – существует в природе в двух формах, которые мы называем *изотопами*: одна с пятью протонами и пятью нейтронами в ядре, ^{10}B, и одна с дополнительным нейтроном, ^{11}B, или бор-11 (использование надстрочных и подстрочных индексов показано на рисунке 6). Для ученых-ядерщиков бор-10 представлял собой большую проблему, так как его атомы поглощали любые нейтроны, которыми обстреливали образец урана, чтобы расщепить его атомы (а также вторичные нейтроны, полученные в результате этого расщепления, где продуктом был плутоний), в итоге превращаясь в бор-11. Если в металлическом уране было слишком много бора-10, то ядерная реакция просто прекращалась.

Обычный химический анализ металлического кальция с завода в Биттерфельде не показал бы, сколько изотопов каждого типа в нем присутствует, поскольку их химические свойства идентичны: в обычных тестах проверялось лишь то, что содержание бора составляло менее одной части на миллион. Капитану Уэлшу пришла в голову идея заменить природный бор, в котором содержится лишь 20 % губительного бора-10, на искусственно обогащенный образец. При условии, что происхождение образца никогда не будет предано огласке, материал с 90 %-ным содержанием бора-10 (при таком его уровне ядерное применение металлического урана становится совершенно невозможным) можно было получить в Комиссии США по атомной энергии, которая, в свою очередь, получила его как побочный продукт Манхэттенского проекта.

Рисунок 6. Как пишутся массовое число и зарядовое число рядом с символом элемента? «5» и «B» говорят об одном и том же, но «11» обозначает конкретный изотоп, который мы также можем назвать бор-11.

Однако операция так и не была осуществлена, несмотря на то что обогащенный материал передали агенту на завод в Биттерфельд. Производство кальция на некоторое время остановилось, и агент опасался, что операцию разоблачили; а потом русские взорвали свою бомбу и построили собственные заводы по производству кальция, и всю операцию свернули. Но агент зря беспокоился. Уэлш настаивал на проведении операции под непосредственным руководством «С» («М» в романах о Джеймсе Бонде), в обход Кима Филби[36] и ему подобных, так что операция была бы вполне надежной – или, по крайней мере, настолько надежной, насколько это вообще возможно для подобных затей[37]. (Немецкого инженера и агента МИ6 вскоре эвакуировали и поселили в Аргентине под другим именем[38].)

Образец материала с примесями бора спокойно вернулся из Восточной Германии в Комиссию США по атомной энергии, и не существует никаких письменных свидетельств, что он когда-либо покидал отведенную ему полку в хранилище. Биттерфельд сыграл в истории урана центральную роль, но в нынешние времена ему приходится довольствоваться тем,

---

[36] Один из руководителей британской разведки, коммунист, агент советской разведки с 1933 года и член Кембриджской пятёрки.

[37] Goodman M.S. Spying on the Nuclear Bear: Anglo-American Intelligence and the Soviet Bomb. Stanford University Press, 2007.

[38] Campbell C. A Questing Life. iUniverse, 2006.

что там проводится фестиваль хеви-метал музыки United Metal Maniacs.

Даже если мы не облучаем атомы урана нейтронами, они естественным образом разрушаются сами в процессе, известном как радиоактивный распад. Этот распад может происходить разными способами. В одном из вариантов распада излучается альфа-частица, больше известная как ион He^{2+}. В противоположность металлическому кальцию – мощному восстановителю, который охотно отдает свои электроны, – He^{2+} является сильным окислителем и крадет электроны у любого атома, встретившегося у него на пути, чтобы стать нормальным газообразным гелием. Весь имеющийся на Земле гелий, включая тот, которым заполнены воздушные шарики, купленные детям на прогулке в парке, когда-то был частью атома урана или тория (торий, Th, с зарядовым числом 90 – это еще один важный природный радиоактивный элемент). Воздушный шар с гелием, или, вернее, его отсутствие, станет одной из главных тем в главе 3.

3
Загадочное происшествие с собакой в дирижабле[39]

В главе 3 мы играем с огнем и газами и изучаем одно из самых важных для науки уравнений.

Йозефу Шпе нужно было покормить собаку; в этом не было ничего странного. Проблема заключалась в том, что его немецкая овчарка Улла находилась в грузовом отсеке, куда вход пассажирам был воспрещен. Если бы все шло по плану, то и это не было бы проблемой, если не считать сердитых замечаний от членов экипажа, которые не понимали потребностей его хвостатой подруги и коллеги по сценическим выступлениям[40].

Но этот полет пошел не по плану, и частые визиты в хвостовую часть дирижабля доставят Йозефу много неприятно-

---

[39] Отсылка к роману Марка Хэддона The Curious Incident of the Dog in the Night-Time (в России книга вышла под заголовком «Загадочное ночное убийство собаки»). – *Прим. ред.*

[40] Brinck B. «Stockholms-Tidningen». Шведский журналист находился на борту дирижабля Hindenburg в 1937 г. и отправил домой в Стокгольм несколько статей во время последнего путешествия; эти статьи были процитированы в 2011 г. в документальном фильме канала Sveriges Radio под названием Ombord på Hindenburg, снятом 30 января 2010 г.

стей в последующие годы[41].

Департамент энергетики США и его аналоги в Европе и Японии тратят миллиарды на разработку будущих способов применения водорода в сфере энергетики – например, в качестве топлива для автомобилей и автобусов[42]. Главное преимущество такого топлива – его экологически чистое сгорание: две молекулы водорода соединяются с одной молекулой кислорода и образуют две молекулы воды. Возможно, будущее за «водородной экономикой», но, к несчастью для его сторонников, история водорода в качестве топлива связана с трагедией дирижабля Hindenburg («Гинденбург»).

Мы вскоре вернемся к бедной собаке Йозефа Шпе, но пока поразмыслим над тем, что над головами собаки и всех пассажиров роскошного комфортабельного дирижабля находились огромные баллоны, наполненные водородом – это самый легкий из химических элементов: в его атомах лишь один протон и один электрон. У простого вещества водорода наименьшая плотность из всех газов, и он образуется из двух атомов водорода, соединенных одной-единственной химической связью, где два положительно заряженных ядра делят между собой два отрицательно заряженных электрона. Этот газ, H_2, нес из немецкого Франкфурта на авиабазу

---

[41] Russell P. Faces of the Hindenburg. 2013. URL: http://facesofthehindenburg.blogspot.com.

[42] The Hydrogen and Fuel Cells Program // U.S. Department of Energy. 2013. URL: http://www.hydrogen.energy.gov/.

Лейкхерст в США самый большой в мире дирижабль, который за предыдущий год совершил множество успешных путешествий в разные точки земного шара.

Сейчас мы склонны удивляться тому, что людям вообще пришла в голову идея путешествовать по миру в том, что можно назвать летающей бомбой. Но мы забываем, что немецкие торговые дирижабли, которые производила немецкая компания Luftschiffbau Zeppelin GmbH, имели отличные показатели безопасности.[43] Например, дирижабль Graf Zeppelin («Граф Цеппелин») прослужил без единой аварии восемь лет, совершая регулярные рейсы главным образом между Германией и Бразилией, а большие дирижабли по всему миру (за некоторыми немногочисленными исключениями) использовали в качестве подъемной силы именно водород – и делали это на протяжении примерно 30 лет.

Итак, в обитой асбестом курительной комнате на борту дирижабля Hindenburg, совершавшего свой первый регулярный рейс Франкфурт – Нью-Йорк в 1937 году, Шпе и другие пассажиры на досуге наслаждались видом на Атлантический океан и совершенно не думали о водороде. На любительской съемке, сделанной Шпе и чудесным образом уцелевшей в катастрофе, видно, как они увлеченно указывают друг другу на проплывающие айсберги, пока дирижабль приближается к Американскому континенту на достойной уважения ско-

[43] Личное общение. Рихард Ван Тройрен пользовался данными из Schiller H.V. Zeppelin, Wegbereiter des Weltluftverkehrs. Kirschbaum Verlag, 1966.

рости 134 км/ч[44].

Как глупо, думаем мы сегодня; почему они не использовали вместо водорода гелий? А потом вспоминаем, что США наложили на нацистскую Германию торговое эмбарго, поэтому немцы не могли покупать гелий. Но при проверке деталей выясняется, что история сложнее и интереснее, чем этот простой, общеизвестный, но, как мы увидим дальше, неверный «факт»[45].

Разумеется, инженеры знали о гелии. Этот одноатомный газ с двумя протонами, двумя нейтронами и двумя электронами обладает большей плотностью, чем водород, и потому не имеет такой подъемной силы. Мы можем прийти к такому заключению, поскольку и H_2, и He (а также почти все остальные газы) подчиняются чудесному закону химии, который называется *уравнением состояния идеального газа*. Помимо прочего, уравнение состояния идеального газа говорит нам, что, если мы удвоим вес (или, что более корректно, массу) газовой молекулы, плотность газа тоже удвоится.

Однако у гелия есть и технические преимущества. То, что частицы простого вещества гелия в два раза тяжелее, означает, что гелий представляет собой лучший теплоизолятор, чем водород, – а этот фактор не стоит игнорировать в слу-

---

[44] Пленка, отснятая на борту дирижабля Hindenburg во время последнего полета. YouTube, URL: http://www.youtube.com/watch?v= 0rSzc8JxBFg.

[45] Medlicott W.N. The Economic Blockade // History of the Second World War, United Kingdom Civil Series. Longmans, Green and Co., 1952.

чае с дирижаблем, который весь день жарится на солнце. Проблема нагревания проистекает из того, что газ, подчиняющийся уравнению состояния идеального газа, при увеличении температуры на 10 % (по шкале Кельвина) также увеличится в объеме на 10 % (или, если газ заключен в сосуд постоянного объема, на 10 % увеличится его давление на стенки сосуда). Инженеры должны были тщательно просчитывать оба этих следствия, чтобы удостовериться, что и контейнеры с газом, и алюминиевый корпус дирижабля смогут выдержать такое механическое напряжение. Так почему же с гелием меньше проблем? Потому что гелий медленнее нагревается: поскольку средняя скорость молекул тем ниже, чем они тяжелее, это означает, что гелий медленнее проводит тепло. Этот вывод мы тоже можем сделать из уравнения состояния идеального газа (надеюсь, теперь понятнее, почему оно настолько чудесно), а в холодных частях света мы извлекаем из этого знания пользу, устанавливая в домах окна с двойным или тройным остеклением, наполненные аргоном – газом, молекулы которого имеют массу, превышающую массу азота – главного компонента воздуха.

Уравнение состояния идеального газа имело колоссальное значение не только для основателей современной химии, но и для инженеров, проектировавших дирижабли, которые могли выдерживать изменения в объеме и давлении газа, а также адаптировавших их конструкцию к разным подъемным газам – водороду и гелию.

Большим преимуществом гелия является то, что он наименее активный из всех простых веществ: не существует ни одного известного нам сложного вещества, в котором атомы гелия соединялись бы с атомами других элементов. Поэтому этот газ не может вступать в опасные реакции, в противоположность водороду, который с готовностью вступает в реакцию с кислородом, и в некоторых пропорциях эта реакция становится взрывной.

Большая трудность для Германии, а также для Британии и Франции заключалась в том, что в Европе гелия не было. Единственным в мире поставщиком гелия были США, а в 20-х годах он даже там был в дефиците.

Гелий получается в результате радиоактивного распада более тяжелых элементов в недрах Земли, в особенности тория и урана. Гелий просачивается через отверстия и трещины в скальных породах и добывается как примесный компонент природного газа. Поскольку в 20-х годах бурение осуществлялось в основном для получения нефти, природный газ добывали в небольших количествах, поэтому и гелия получали мало. Говорят, что, когда флот США запустил USS Shenandoah («Шенандоа»; см. рис. 8) – первый из четырех гигантских дирижаблей на основе гелия, в его газовых баках находилась большая часть когда-либо произведенного гелия и что, когда в 1924 году на вооружение был принят дирижабль USS Los Angeles («Лос-Анджелес»), возникли трудности с использованием двух воздушных судов одновременно

из-за нехватки гелия.

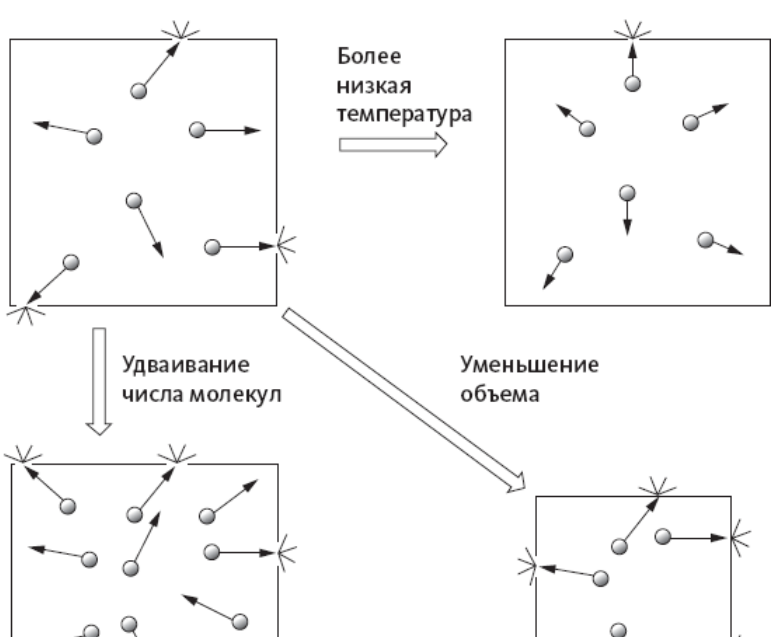

Рисунок 7. Универсальный газовый закон рассказывает нам, как ведет себя газ в нормальных условиях. *Вверху слева*: давление (P) на стенки сосуда – например, купленного в зоопарке воздушного шарика – возрастает, потому что молекулы газа ударяются о стенки, и чем больше таких ударов в секунду происходит, тем выше давление. *Вверху справа*

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.