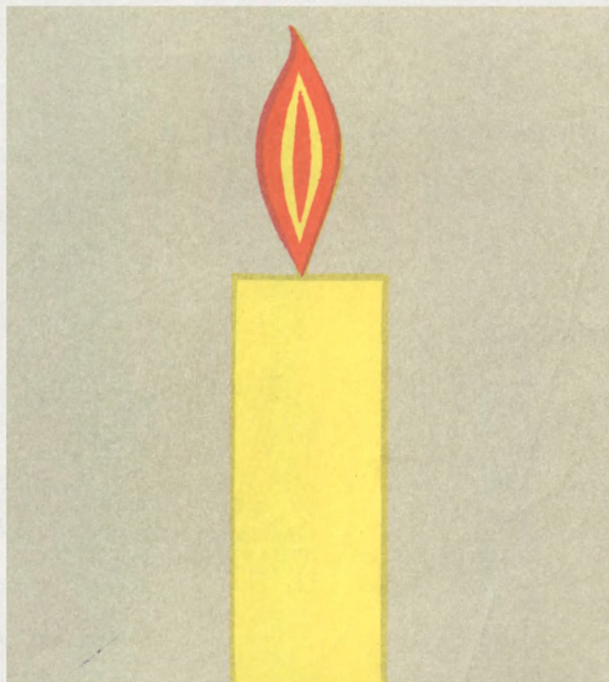




БИБЛИОТЕЧКА • КВАНТ •
выпуск 2

М. ФАРАДЕЙ

ИСТОРИЯ СВЕЧИ

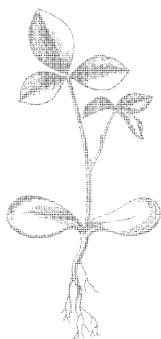




БИБЛИОТЕЧКА • КВАНТ •
выпуск 2

М. ФАРАДЕЙ

ИСТОРИЯ СВЕЧИ



МОСКВА «НАУКА»
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
1980

22.3

Ф 24

УДК 530.1

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Академик **И. К. Кикоин** (председатель), академик **А. Н. Колмогоров** (заместитель председателя), кандидат физ.-мат. наук **И. Ш. Слободецкий** (ученый секретарь), член-корреспондент АН СССР **А. А. Абрикосов**, академик **Б. К. Вайнштейн**, заслуженный учитель РСФСР **Б. В. Воздвиженский**, академик **В. М. Глушков**, академик **П. Л. Капица**, профессор **С. П. Капица**, член-корреспондент АН СССР **Ю. А. Осипьян**, член-корреспондент АПН СССР **В. Г. Разумовский**, академик **Р. З. Сагдеев**, кандидат хим. наук **М. Л. Смолянский**, профессор **Я. А. Смородинский**, академик **С. Л. Соболев**, член-корреспондент АН СССР **Д. К. Фаддеев**, член-корреспондент АН СССР **И. С. Шкловский**.

Редактор выпуска **Б. В. Новожилов**

Фарадей М.

Ф 24 История свечи: Пер. с англ./Под ред. **Б. В. Новожилова**.— М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980.— 128 с., ил.— Библиотечка «Квант»: 35 к.

Эта книга, которой уже более ста лет, представляет собой лекции для детей, прочитанные великим английским физиком Майклом Фарадеем. Фарадей рассказывает в ней о различных законах природы, с которыми связано горение свечи. Книга доставит подлинное удовольствие и школьнику, и учителю, и студенту, и физику. Все они прочтут книгу с неослабным интересом.

К лекциям Фарадея добавлено послесловие доктора физ.-мат. наук **Б. В. Новожилова**, которое знакомит читателя с современными представлениями о горении.

Ф $\frac{20400-114}{053(02)-80}$ 140-80. 1704000000

ББК 22.3
530

Ф $\frac{20400-114}{053(02)-80}$ 140-80. 1704000000

© Издательство «Наука»,
Главная редакция
физико-математической
литературы 1980.

ФАРАДЕЙ И ЕГО «ИСТОРИЯ СВЕЧИ»

«История свечи» — серия лекций, прочитанных великим английским ученым Майклом Фарадеем для юношеской аудитории.

Немного об истории этой книги и ее авторе.

Майкл (Михаил) Фарадей родился 22 сентября 1791 года в семье лондонского кузнеца. Его старший брат Роберт, унаследовавший профессию отца, сыграл в судьбе Майкла большую роль. Он всячески поощрял тягу брата к знаниям и на первых порах поддерживал его и материально. Весьма скромные доходы кузнеца не позволяли дать детям образование — Фарадей не закончил даже средней школы. Двенадцати лет он поступает учеником к владельцу книжной лавки и переплетной мастерской.

За десять лет, проведенных в переплетной мастерской, Фарадей проделал фантастическую работу. Он полностью ликвидировал пробелы в своем образовании и подготовил себя к научной деятельности. И это в роли ученика переплетчика! Фарадей прочитал всю доступную ему литературу по физике и химии, в том числе статьи по электричеству в «Британской энциклопедии». В домашней лаборатории он повторил все опыты, которые описывались в книгах. Фарадей посещает частные лекции по физике и астрономии, которые читались по вечерам и воскресеньям. Он много пишет, просит друзей отмечать стилистические и орфографические ошибки в своих статьях и упорным трудом вырабатывает ясный и лаконичный стиль.

В 1810 году умер отец Фарадея, через некоторое время окончился срок его учебы у переплетчика, и

Михаил должен был стать самостоятельным мастером. Карьера переплетчика не манила его, он хотел заниматься наукой и случай помог Фарадею. Одним из клиентов мастерской был член Королевского общества Дэнс. Видя тягу Фарадея к науке, Дэнс помог ему попасть на лекции выдающегося физико-химика Гэмфри Дэви в Королевском институте. Фарадей записал четыре лекции, а тетрадь лекций (тщательно переписанных и переплетенных) вместе с письмом послал лектору. Этот «смелый и наивный шаг», по выражению самого Фарадея, оказался переломным в его судьбе. В 1813 году Дэви пригласил Фарадея на освободившееся место ассистента в Королевский институт.

Благодаря блестящему таланту Фарадей быстро выдвинулся. Уже через три года начали появляться в печати его работы по химии. Затем последовал ряд классических работ по сжижению газов, где впервые было применено комбинирование охлаждения и сжатия вещества. Фарадей становится известен в английских научных кругах. В 1824 году его избирают в члены Королевского общества, в 1825 году он директор лабораторий и в 1827 году — профессор Королевского института.

Над одним из самых блестящих своих открытий — открытием электромагнитной индукции — Фарадей работал около десяти лет. Еще в 1821 году он формулирует в дневнике задачу — «превратить магнетизм в электричество». Это явление, исследованное ученым во всех деталях, сразу же приобрело огромное научное и практическое значение. Фактически в лабораторных установках Фарадея проглядываются и первый трансформатор, и первый электромотор и первая динамомашинa. Недаром Гельмгольц, оценивая роль Фарадея в истории человеческого общества, сказал: «До тех пор пока люди пользуются благами электричества, они всегда будут с благодарностью вспоминать имя Фарадея».

Материалистическая позиция Фарадея-естествоиспытателя проявилась в его убежденности в единстве и превращаемости всех «сил» (в те времена еще не был открыт закон сохранения энергии, и понятия силы и энергии не были четко определены) природы, в признании материальности среды, которую ранее

предпочитали называть пустотой, и, наконец, в отрицании дальнего действия. Фарадей наполнил физическим содержанием понятие поля как объекта, передающего действие одного тела, скажем, электрического заряда, на другой. Эта революционная идея в



ФАРАДЕЙ (1791 — 1867).

корне противоречила господствующим в те времена представлениям о мгновенной передаче действия на большие расстояния. Понятие поля — одно из основных понятий новой физики — физики XX столетия, свидетелями бурного развития которой мы являемся.

Не менее важен вклад Фарадея в учение об атомном строении вещества. Вспомним о его законах

электролиза. Ведь это из них следует вывод о дискретности, прерывистости вещества и электричества. Через несколько лет после смерти Фарадея из законов электролиза был вычислен заряд «атома электричества» — электрона.

Трудно удержаться от перечисления всех великих открытий Фарадея. Здесь и диа- и парамагнетизм, и вращение плоскости поляризации света в магнитном поле, и магнитная анизотропия, и постановка вопроса о влиянии магнитного поля на излучение, и исследование электрического разряда в газе и многое другое. Но совершенно невозможно не упомянуть еще об одной стороне деятельности Фарадея — стремлении доводить результаты научных исследований до применения их на практике. Он консультирует Общество английских маяков и много делает для замены лампового освещения в маяках электрическим. Он разрабатывает рецепты красок и усовершенствует электромагнитные машины для освещения. Он предпринимает дальние и трудные путешествия, чтобы испытать новые методы освещения. «Я люблю посещать кузницы..., отец мой был кузнец», — записывает Фарадей в своем дневнике. Да и ремесло переплетчика великий ученый не забыл. Он интересуется постановкой переплетного дела, сам переплетает свои дневники, а под старость, будучи членом почти всех академий мира, переплел в большой том свои почетные дипломы.

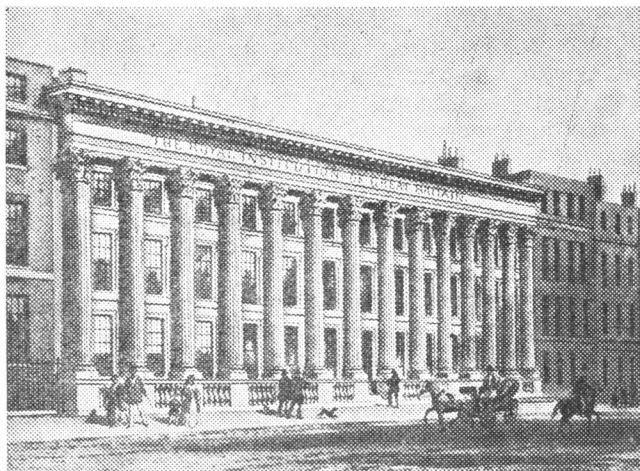
Фарадей умер 25 августа 1867 года, оставив после себя великие открытия и идеи, из которых развилась современная физика.

Всю свою творческую жизнь Фарадей проработал в Королевском институте в Лондоне. Кроме предоставления ученым возможности проводить исследования, в задачу Королевского института входила популяризация научных знаний. Для этого сотрудники института регулярно читали лекции по различным отраслям естествознания.

Фарадей в молодости посещал эти лекции, а впоследствии с успехом читал их сам. Помня свой трудный, через самообразование, путь в науку, Фарадей задумал организовать специальные лекции для детей. Надо сказать, что естественные науки в английской школе в то время не преподавались. Наоборот, су-

ществовало сильное противодействие введению этих предметов в школьные программы.

Фарадей выработал и осуществил два плана. Во-первых, проводились так называемые пятницы. Они носили характер непринужденной беседы между лектором и слушателями. В форме вопросов и ответов



Королевский институт Великобритании
(с акварели Т. Шеферда).

дети знакомились с основами физики и химии. Во-вторых, читались более строгие, тщательно подготовленные, курсы лекций в период зимних каникул. За двухнедельный период обычно проводилось шесть встреч.

Первый раз такой курс лекций был прочитан в 1826 году. В следующем году лекции начал проводить Фарадей. Всего он прочитал девятнадцать курсов лекций. Последняя (в 1860 году) серия лекций называлась «Химическая история свечи».

Как и всё, за что брался Фарадей, лекции были организованы превосходно. Для них предоставлялся большой лекционный зал Королевского института, приборы для проведения опытов заимствовались из лабораторий, а сами опыты тщательно подготавливались.

Фарадей не записывал лекций. То, что мы сейчас можем наслаждаться чтением «Истории свечи», связано со случайностью.~ Надо сказать, что на лекциях присутствовали и взрослые слушатели. И вот один молодой человек по имени Вильям Крукс, попавший на лекции, понял их ценность и дословно записал. Впоследствии Крукс стал крупным ученым, президентом Королевского общества.

Крукс опубликовал две серии лекций Фарадея: «О различных силах в природе» (1860 г.) и «Химическую историю свечи» (1861 г.), снабдив их рисунками и комментариями. В предисловии он выражает сожаление о невозможности передать форму изложения лекций так же хорошо, как их содержание. По воспоминаниям современников, Фарадей был прекрасным лектором (в молодости он специально изучал ораторское искусство).

«История свечи» неоднократно переиздавалась на многих языках. Впервые на русском языке она появилась в 1866 году еще при жизни Фарадея. С тех пор книга выходила еще несколько раз, однако последний раз почти четверть века назад.

В настоящем издании лекции Фарадея иллюстрируются рисунками Крукса. Кроме того, по предложению Редакционной коллегии «Библиотечки «Квант»» добавлено послесловие, которое знакомит читателя с современными представлениями науки о горении.

Б. Новожилов

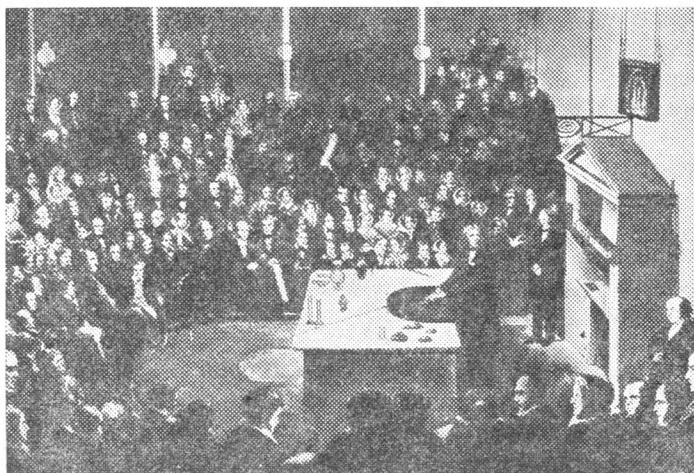
СВЕЧА. ПЛАМЯ. ЕГО ПИТАНИЕ. ЕГО СТРОЕНИЕ. ПОДВИЖНОСТЬ. ЯРКОСТЬ

В ответ на любезное внимание, проявленное вами к организованным нами лекциям, я собираюсь изложить вам в следующих беседах ряд сведений по химии, которые можно извлечь из горячей свечи. Я не первый раз провожу беседу на эту тему, и если бы это зависело только от меня, я бы с удовольствием возвращался к ней хоть ежегодно — до того эта тема интересна и до того изумительно разнообразны те нити, которыми она связана с различными вопросами естествознания. Явления, наблюдающиеся при горении свечи, таковы, что нет ни одного закона природы, который при этом не был бы так или иначе затронут. Рассмотрение физических явлений, происходящих при горении свечи, представляет собой самый широкий путь, которым можно подойти к изучению естествознания. Вот почему я надеюсь, что не разочарую вас, избрав своей темой свечу, а не что-нибудь поновее. Другая тема, возможно, была бы столь же хороша, но лучше свечи она быть не может.

Прежде чем я приступлю к изложению, разрешите мне предупредить вас: несмотря на глубину избранного нами предмета и несмотря на наше честное намерение разобраться в нем серьезно и на подлинно научном уровне, я хочу подчеркнуть, что не собираюсь адресоваться к старшим из числа здесь присутствующих. Я беру на себя смелость говорить с молодежью так, как если бы я сам был юношей. Так я поступал и раньше, так, с вашего разрешения, буду поступать и теперь. И хотя я с полной ответственностью сознаю, что каждое произносимое мною слово адресуется в конечном счете всему миру, такая ответственность не отпугнет меня от того, чтобы и

на этот раз говорить так же просто и доступно с теми, кого я считаю всего ближе к себе.

А теперь, мои молодые друзья, я прежде всего хочу рассказать вам о том, из чего делаются свечи. Некоторые из них представляют незаурядный интерес. Смотрите, вот кусочки древесины и ветки деревьев, славящихся своей способностью ярко гореть. А вот это — кусочек особого замечательного веществ-



Лекции Фарадея в Королевском институте
(с цветной литографии А. Блэкли).

ва, находимого в некоторых болотах Ирландии и образно называемого *свечным деревом*. Это дерево настолько твердое и прочное, что не всякий может его разломать, но вместе с тем оно так хорошо воспламеняется, что из него делают факелы и лучины. Оно горит как свеча, и дает превосходный свет. Это дерево очень наглядно показывает нам, в чем заключается природа свечи. Тут и горючее как таковое и перенос этого горючего к месту, где происходит химическая реакция, тут и равномерное, постепенное ее снабжение воздухом, тут и тепло и свет — все это создается кусочком дерева, которое, по существу говоря, представляет собой естественную свечу.

Но давайте будем говорить о настоящих свечах, употребляющихся в быту. Вот сальные свечки, называемые мокаными. Производятся они следующим образом. Хлопчатобумажные фитили, нарезанные одинаковыми кусками, подвешиваются на петельках и разом обмакиваются в растопленное сало (говяжье или баранье). Потом они вынимаются, охлаждаются и снова окунаются, пока вокруг фитиля не нарастает достаточно толстый слой сала. Чтобы вы могли получить представление о том, как разнообразны бывают свечи, посмотрите вот на эти — очень маленькие и преинтересные. Именно такими свечками пользовались горняки в каменноугольных шахтах. В прежние времена каждый горняк, спускаясь в шахту, должен был приносить с собой свечи, купленные за собственный счет. К тому же считалось, что с маленькой свечкой меньше, чем с большой, рискуешь вызвать взрыв рудничного газа в угольных копях. Как по этой причине, так и ради экономии горняки предпочитали пользоваться такими малюсенькими свечками, что на фунт ¹⁾ их шло двадцать, тридцать, сорок или даже шестьдесят штук. Свечи в шахтах были заменены сначала искровым освещением ²⁾, а затем лампой Дэви ³⁾ и другими типами безопасных ламп. Вот свеча, которую, говорят, полковник Пэслей поднял с «Ройал Джорджа» ⁴⁾. Она пролежала в море много лет, подвергаясь действию соленой воды. Вы видите, как хорошо могут сохраняться свечи: правда, она изрядно растрескалась и поломалась, но вот я ее зажег, и она равномерно горит, а сало, расплавляясь, возвращается к своему обычному состоянию.

¹⁾ 1 фунт = 453,6 г. (*Прим. ред.*)

²⁾ Искры, возникающие при стачивании наждачного круга, дают достаточно много света; вместе с тем они не воспламеняют рудничный газ из-за их сравнительной невысокой температуры. (*Прим. ред.*)

³⁾ Гэмфри Дэви (1778—1829) — знаменитый английский физик и химик, иностранный почетный член Петербургской Академии наук. Под его руководством начинал свою работу Фарадей. (*Прим. ред.*)

⁴⁾ «Ройал Джордж» затонул у Спитхэда 29 августа 1782 г. Полковник Пэслей начал работы по поднятию обломков судна посредством взрывов орудийного пороха в августе 1839 г. Свеча, которую показывал профессор Фарадей, подвергалась действию соленой воды свыше пятидесяти семи лет. (*Прим. В. Крукса.*)

Мистер Филд из Ламбета¹⁾ снабдил меня прекрасной коллекцией свечей и материалов, из которых они изготовляются. Вот, прежде всего, бычий жир, называемый, насколько я понимаю, русским салом, из которого изготовляются моканые свечи. Сало это по способу, изобретенному Гей-Люссаком²⁾ (или кем-то другим, кто передал ему этот производственный секрет), можно превратить в то прекрасное вещество, которое лежит рядом с ним — стеарин. Благодаря изобретению стеарина нынешняя свеча — это уже больше не жирный, противный предмет, каким была прежняя сальная свеча, — нет, это предмет до того чистый, что стекающие с него капли не пачкают вещей и их можно соскрести в виде порошка. Способ, который применил Гей-Люссак, состоит в следующем. Сначала сало кипятят с негашеной известью, причем получается нечто вроде мыла. Затем в него добавляют серную кислоту, которая связывает известь; остальная масса представляет собой стеарин, смешанный с некоторым количеством глицерина. Глицерин, выделяющийся при этом процессе, очень похож по своему составу на сахар. Эта смесь прессуется, — здесь вы видите несколько более или менее отжатых брусков, по которым можно судить, как по мере увеличения давления удаётся удалить все большее количество примесей. Совершенно отжатую массу расплавляют, и из нее отливаются те свечи, которые я вам показываю. Вот эта свеча стеариновая; она приготовлена описанным способом. А вот свеча спермацетовая, приготовленная из определенного сорта китового жира. Вот пчелиный воск, желтый и очищенный, также идущий на изготовление свечей. Вот еще интересное вещество — парафин. А вот парафиновые свечи, сделанные из добытого в ирландских болотах парафина. Есть у меня и еще некое вещество вроде воска, любезно присланное мне одним моим другом; оно привезено из Японии. Это тоже материал для изготовления свечей.

¹⁾ Ламбет — один из округов Лондона. (*Прим. ред.*)

²⁾ Гей-Люссак (1778—1850) — крупнейший французский физик и химик, иностранный почетный член Академии наук в Петербурге. (*Прим. ред.*)

А как же делаются такие свечи? Я уже рассказывал вам о свечах моканых, а теперь расскажу и о формованных. Представим себе, что какой-нибудь из этих сортов свечей делается из такого материала, который можно отливать в форму. «Отливать?» — скажете вы. «Ну, конечно, — ведь свечи растапливаются, а если их можно растопить, то их, наверно, можно отливать и в формы». Оказывается, нельзя. Удивительное дело: то здесь, то там, как при усовершенствовании производства, так и при разработке наилучших средств для достижения той или иной цели, приходится сталкиваться с такими фактами, которые, пожалуй, нельзя предугадать заранее. Так вот, свечи не всегда можно отливать в формы; восковые свечи, в частности, вовсе нельзя отливать: их делают особым способом, о котором я вам вкратце расскажу через пару минут. Воск — вещество, не поддающееся отливке, хотя оно прекрасно горит и легко плавится в свече.

Однако возьмем сначала материал, пригодный для отливки свечей. Взгляните на эту раму с отверстиями, в которых вставлены формы. Прежде всего надо в каждую форму продеть фитиль, и притом плетеный, не дающий нагара¹⁾; на всем своем протяжении фитиль натянут, так как наверху он держится на проволочной перекладинке, а внизу прикреплен к затычке, которая при заполнении формы не дает вытекать растопленному стеарину. После того как стеарин остынет, его излишек снимают, отрезают концы фитилей, и в формах остаются готовые свечи. Их опрокидывают и без труда вытряхивают: ведь, во-первых, у них форма слегка конусообразная, т. е. внизу они толще, чем наверху, и, во-вторых, при остывании объем их уменьшается. Так делают свечи стеариновые и парафиновые.

Восковые свечи делаются совершенно иначе. Вот смотрите. На раму навешиваются фитили с металлическими наконечниками, чтобы воск не целиком покрывал фитиль. Рама подвешивается так, чтобы она могла вращаться над котлом с растопленным воском. Рабочий зачерпывает ложкой воск из котла

¹⁾ Для того чтобы сделать золу более плавкой, подмешивают немного буры или фосфора. (Прим. В. Крукса.)

и, поворачивая раму, поливает фитили, один за другим; за это время воск на них успевает застыть, и рабочий их поливает вторично, и так далее, до требуемой толщины. Тогда их снимают. Благодаря любезности мистера Филда у меня есть несколько образчиков восковых свечей на разных стадиях изготовления, в том числе одна еще только половинной толщины. Сняв свечи с рамы, их катают по гладкой каменной плите, верхушке придают надлежащую коническую форму, а нижний конец аккуратно обрезают. Делается все это столь тщательно, что таким образом можно изготавливать свечи четвериковые, шестериковые и т. д., т. е. такие, которых на фунт идет ровно по 4, по 6 или сколько потребуется.

Однако не будем больше тратить времени на технологию производства свечей, а перейдем к подробному изучению свечи как таковой. Предварительно я вам скажу несколько слов о роскошно оформленных свечах — ведь оказывается, и свеча может быть превращена в роскошную безделушку. Посмотрите, в какие чудесные цвета они окрашены. Как видите, и для свечей используются недавно введенные в употребление химические краски — вот здесь ярко-розовая свеча, вот розовато-лиловая и т. д. Кроме того, для украшения свечам придают и различные формы: вот подобие прекрасной витой колонны, а вот и свечи с узорами. Если горит, скажем, эта свеча, то наверху получается как бы сияние Солнца, а внизу — букет цветов. Однако не все изящное и нарядное полезно. Если разобраться по существу, то эти витые свечи, при всей своей красоте, никуда не годятся как свечи: их портит как раз внешняя форма. Эти образчики, присланные мне добрыми друзьями из самых разных мест, я вам показываю для того, чтобы вы знали, что уже сделано и что еще должно сделать в том или ином направлении развития производства, причем иногда (как я уже вам сказал) жертвуют пользой.

Поговорим теперь о пламени свечи. Зажжем одну-две свечи, т. е. заставим их выполнять свою обычную работу. Как вы видите, свеча — совсем не то, что лампа. В лампе вы наполняете резервуар жидким маслом, опускаете в него фитиль из мха или из об-

работанного хлопка, а затем зажигаете верхушку фитиля. Когда пламя спускается вниз по фитилю к маслу, оно там меркнет, но в верхней части продолжает гореть. Вы, несомненно, спросите: каким образом масло, которое само по себе не горит, добирается до верха фитиля, где оно может гореть? Позже мы рассмотрим это явление, однако, при горении свечи наблюдается и другое, гораздо более удивительное обстоятельство. Ведь перед вами твердое вещество, настолько твердое, что для него не нужна посуда. А как же получается, что это твердое вещество может подняться до того места, где находится пламя? Как попадает туда это твердое вещество, не будучи жидкостью? А с другой стороны, как же оно не растекается, когда превращается в жидкость? Удивительная вещь эта свеча.

В зале у нас изрядный сквозняк; при некоторых опытах он нам будет помогать, а при других — мешать. Поэтому сейчас, для большей равномерности и для упрощения дела, я устрою так, чтобы пламя было спокойным. Ведь как можно что-нибудь изучать, когда мешают трудности, не относящиеся к делу? Мы воспользуемся одним хитроумным приспособлением, которым я часто любовался на тележках рыночных и уличных торговцев овощами или рыбой, когда по субботам торговля затягивается затемно. Вот оно: на свечку надето нечто вроде кольца, поддерживающего ламповое стекло; по мере сгорания свечи все это устройство можно передвигать. Таким образом, благодаря ламповому стеклу получается спокойное, устойчивое пламя, которое можно внимательно разглядывать, что, я надеюсь, вы сделаете у себя дома.

Прежде всего вы видите, что на свече образуется хорошенькая ямка вроде чашечки. По мере того как воздух притекает к свече, он движется вверх силой восходящего тока, производимого жарким пламенем свечи; эта струя воздуха так охлаждает со всех сторон воск, сало или другое вещество, из которого сделана свеча, что его внешний слой гораздо холоднее, чем середина. Середина плавится от пламени, доходящего по фитилю до того места, ниже которого оно гаснет в расплавленном воске; наружная же часть не плавится. Если бы я устроил в одном направлении

ветерок, восковая чашечка оказалась бы однобокой: в ее крае получилась бы выемка, через которую пошел бы жидкий воск. Ведь та же самая сила тяготения, которая не позволяет небесным телам разлетаться в разные стороны, держит и эту жидкость в горизонтальном положении; и если чашечка будет не горизонтальная, жидкий воск, конечно, перельется через край и образует наплыв на свече. Итак, вы видите, что чашечка правильной формы образуется благодаря этому равномерному восходящему току воздуха, действующему на всю внешнюю поверхность свечи и не дающему ей разогреваться. Для выделки свечей не годилось бы никакое горючее, не обладающее свойством образовывать такую чашечку; исключение составляет «дерево-свечка», т. е. та ирландская болотная древесина, которую я вам показывал. Там сам материал пористый, как губка, и пропитан собственным горючим. Теперь вы, очевидно, догадываетесь, почему так плохо горят разукрашенные свечи: они не имеют формы правильного цилиндра, а покрыты желобками, и поэтому у них при горении не получается того ровного края чашечки, благодаря которому свеча горит спокойным пламенем. Вы теперь, надеюсь, убедились, что в красоте любого процесса самое главное — его совершенство, иначе говоря, его целесообразность. Наиболее подходящий для нас предмет — это не тот, который лучше всех по виду, а который лучше всех на деле. Вот эта красивая свеча горит плохо: по ее краям воск всегда будет оплывать из-за неравномерности тока воздуха и плохой формы чашечки, которая при этом образуется. Вы сможете увидеть (и, надеюсь, внимательно разглядеть) результаты действия восходящего тока воздуха в тех случаях, когда вниз по свечке сбегает жидкий воск и в этом месте получается натека. По мере того как свечка постепенно сгорает, это утолщение, оставаясь на месте, образует столбик, торчащий у края чашечки; постепенно этот столбик оказывается все выше над остальным воском (или другим горючим), и воздух лучше обдувает его, так что столбик сильнее охлаждается и лучше сопротивляется воздействию тепла, распространяемого пламенем. Так вот, как во многих других вещах, так и в свечах, крупнейшие ошибки и неполадки часто наводят

на поучительные размышления, а не было бы этих ошибок, мы и не додумались бы до таких соображений. Вы пришли на эти лекции, чтобы научиться научному мышлению; и, я надеюсь, вы навсегда запомните, что каждый раз, как происходит то или иное явление,— особенно, если это что-то новое,— вы должны задать себе вопрос: «В чем здесь причина? Почему так происходит?» И рано или поздно вы эту причину найдете.

Второй вопрос, поставленный нами выше,— это каким образом горячая жидкость попадает из чашечки вверх по фитилю, к месту горения. Вы знаете, что у свечей восковых, стеариновых или спермацетовых пламя спускается по горящему фитилю не настолько, чтобы вовсе растопить это горючее, а занимает свое определенное место. Пламя как бы изолировано от находящегося под ним жидкого горючего и не разрушает краев чашечки. Вдумайтесь только, какой изумительный пример общей слаженности целого! До самого конца существования свечи действие каждой из ее частей строго координировано с другой. Какое прекрасное зрелище представляет собой такое горючее вещество, когда оно сгорает постепенно, не подвергаясь внезапным нападениям пламени! Вы это особенно оцените, когда узнаете, какой мощью обладает пламя, как оно может, овладев воском, разрушить его или даже одной своей близостью нарушить его форму.

Но как же все-таки горючее попадает в пламя? Прекрасное объяснение этому — волосное притяжение. «Волосное притяжение? — скажете вы. — Это еще что такое? Притяжение волос?» Ну, не важно, не обращайтесь внимания на этот термин; его придумали в старое время, пока мы еще не знали, что это за сила на самом деле. Так вот, именно благодаря так называемому капиллярному¹⁾, или волосному, при-

¹⁾ Капиллярное притяжение или отталкивание — причина поднятия или опускания жидкости в капиллярной трубке. Если трубку от термометра, открытую с обоих концов, погрузить в воду, то вода поднимется в ней выше внешнего уровня. Если же трубку опустить в ртуть, вместо притяжения будет отталкивание, и ртуть в трубке опустится ниже уровня в сосуде. (Прим. В. Крукса.) Латинское слово «капиллюс» значит «волос». Капиллярная трубка — трубка с каналом, «тонким как волос». (Прим. ред.)

тяжению горячее и переносится к тому месту, где происходит сгорание,— и притом не как-нибудь, а идеально к центру пламени. Сейчас я разъясню, что такое капиллярное притяжение, и приведу примеры. Это то действие или притяжение, которое заставляет плотно притягиваться друг к другу взаимно нерастворимые тела. Когда вы моете руки, вы их как следует смачиваете; мыло улучшает прилипание воды к рукам, и руки так и остаются мокрыми. Это происходит именно благодаря тому притяжению, которое я сейчас имею в виду. Больше того, если руки у вас совершенно чистые (а в житейских условиях они всегда чем-нибудь запачканы), то стоит вам опустить кончик пальца в теплую воду, как она поднимается по пальцу немножко выше уровня воды в сосуде, хотя, может быть, вы и не обратите на это внимания.

Вот здесь у меня довольно пористое вещество — столбик поваренной соли. В тарелку, где стоит столбик, я наливаю не воду, как вы, может быть, подумали, а насыщенный раствор соли, который уже больше растворять соль не сможет; таким образом, явление, которое вы увидите, нельзя будет объяснить растворением соли. Представим себе, что тарелка — это свеча, столбик соли будет фитилем, а этот раствор — растопленным салом или воском. Чтобы вам было виднее, я подкрасил раствор. Смотрите, я подливаю жидкость, а она поднимается по столбику соли все выше и выше, так что, если он не упадет, подкрашенная жидкость доберется до самого верха столбика. Так вот, если бы этот подсиненный раствор мог гореть и на верхушку соляного столбика мы поместили бы фитилек, жидкость бы горела, впитываясь в фитиль. Наблюдать явления, обусловленные капиллярностью, очень интересно, и при этом можно отметить некоторые любопытные обстоятельства. Когда вы вымыли руки, вы вытираете их полотенцем; полотенце намокает от воды именно благодаря такому смачиванию, так же как и фитиль напитывается салом или воском. Иногда неряшливые дети (да, впрочем, это случается и с людьми вообще аккуратными), вымыв руки в тазу, вытрут их, да и бросят полотенце так, что оно окажется висящим через край таза; понемногу вся вода из таза очутится на полу, так как полотенце будет играть роль сифона.

Чтобы вы воочию убедились в том, как воздействуют тела друг на друга, я сейчас покажу вам наполненный водой сосуд, сделанный из тончайшей проволоочной сетки. Его можно сравнить в одном отношении с фитилем, скрученным из хлопка, а в другом — с куском коленкора. Вы ясно видите, что этот сосуд — пористый: вот я наливаю сверху немножко воды, и она вытекает вниз. Вы бы вряд ли могли мне ответить, в каком состоянии находится этот сосуд, что в нем содержится и для чего он устроен. Сосуд полон воды, а между тем вы видите, что вода в него вливается и выливается, как если бы он был пустой. Чтобы доказать вам это, мне достаточно его опорожнить. Причина вот в чем: проволоочная сетка, будучи раз смочена, остается мокрой, а ячейки ее до того мелкие, что жидкость испытывает такое притяжение от одной нити к другой, что она не вытекает из сосуда, хотя он и пористый. Подобным же образом

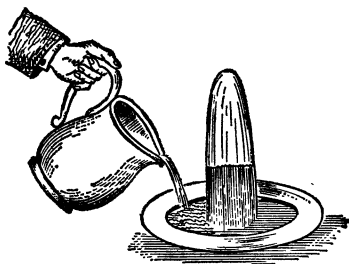


Рис. 1.

частицы растопленного сала или воска поднимаются вверх по хлопковому фитилю и добираются до верха; за ними следуют, по взаимному притяжению, новые частицы горючего; по мере того как они достигают пламени, они постепенно сгорают.

Вот и другой пример того же явления капиллярности. Взгляните на этот кусочек тростника. Мне случалось на улице видеть мальчиков, которые, подражая взрослым, делают вид, что курят сигары, — на самом деле это не сигара, а кусочек тростника. Это возможно из-за проницаемости тростника в одном направлении и благодаря его капиллярности. Вот я ставлю этот кусочек тростника на тарелку, содержащую немного камфары (которая во многом сходна с парафином); эта жидкость будет подниматься сквозь тростник точно так же, как подсиненный раствор поднимался сквозь столбик соли. Поскольку снаружи тростинка не имеет пор, жидкость не может проникать в этом направлении, но должна

проходить только вдоль тростника. Вот жидкость уже достигла верхушки нашей тростинки; теперь я могу ее зажечь, и у нас получится своего рода свечка. Жидкость поднялась благодаря капиллярному притяжению, проявляющемуся в кусочке тростника точно так же, как она поднимается по фитилю свечки.

Вернемся теперь к вопросу, почему свеча не горит вдоль всего фитиля. Единственная причина этого в том, что растопленное сало гасит пламя. Вы знаете, что если опрокинуть свечку так, чтобы горячее стекало на фитиль, свечка погаснет. Причина этого в том, что пламя не успело нагреть горячее настолько, чтобы оно могло гореть, как это происходит наверху, где горячее поступает в фитиль в небольшом количестве и подвергается полному воздействию пламени.

Есть еще одно обстоятельство, с которым вы должны познакомиться, и притом такое, без которого невозможно до конца разобратся в природе свечи, — а именно газообразное состояние горячего. Для того чтобы вы могли это понять, я покажу вам очень изящный опыт из повседневной жизни. Если вы умело задуете свечу, от нее поднимется струйка паров. Вы, конечно, хорошо знакомы с запахом задудой свечки, и это действительно неприятный запах. Но если вы ловко ее задуете, вы сможете хорошо рассмотреть эти пары, в которые превращается твердое ве-

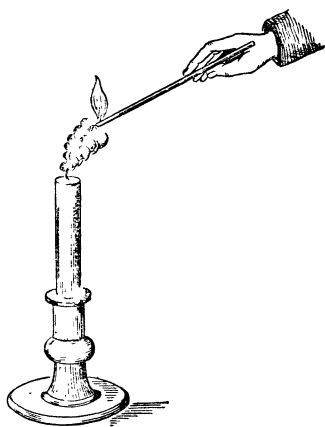


Рис 2.

щество свечи. Вот одну из этих свечей я погашу так, чтобы воздух вокруг нее остался спокойным; для этого мне нужно лишь некоторое время осторожно подышать на свечу. Если я затем поднесу к фитилю горящую лучинку на расстояние 2—3 дюймов¹⁾, вы увидите, как по воздуху от лучинки к фитилю пронесется полоска огня. Все это я должен проделывать быстро, чтобы горячие газы, во-первых, не ус-

¹⁾ 1 дюйм равен 2,54 см. (Прим. ред.)

пели остыть и сконденсироваться и, во-вторых, не успели рассеяться в воздухе.

Перейдем теперь к вопросу о форме пламени. Нам очень важно знать, в каком состоянии оказывается в конечном счете вещество свечи, очутившись на верхушке фитиля, где сияет такая красота и яркость, какая может возникнуть только от пламени. Сравните блеск золота и серебра и еще бóльшую яркость драгоценных камней — рубина и алмаза, — но ни то, ни другое не сравнится с сиянием и красотой пламени. И действительно, какой алмаз может светить как пламя? Ведь вечером и ночью алмаз обязан своим сверканием именно тому пламени, которое его освещает. Пламя светит в темноте, а блеск, заключенный в алмазе, — ничто, пока его не осветит пламя, и тогда алмаз снова засверкает. Только свеча светит



Рис. 3.



Рис 4.

сама по себе и сама для себя или для тех, кто ее изготовил. Давайте теперь рассмотрим форму пламени свечи внутри лампового стекла. Пламя здесь устойчивое и спокойное; форма его, показанная на рисунке, может меняться возмущениями потока воздуха и зависит от размеров свечи. Пламя имеет несколько вытянутый вид; вверху оно ярче, чем внизу, где среднюю его часть занимает фитиль, и некоторые части пламени вследствие неполного сгорания не так ярки, как вверху. У меня есть рисунок, сделанный много лет назад Гукером в то время, когда он проводил свои исследования. Это рисунок пламени лам-

пы, но все, что касается лампы, можно отнести и к свече. Ведь чашечка на верхушке свечи — все равно, что резервуар лампы; расплавленное вещество свечи — это ламповое масло; фитиль есть и у свечи и у лампы. Над фитилем, как видите, нарисовано небольшое пламя, а кроме того, изображено, как это в действительности и происходит, поднимающееся вокруг пламени вещество, которое вам не видно и о котором вы и не подозреваете, — если, конечно, вы не бывали здесь у нас на лекциях или не ознакомились с этим вопросом. Здесь изображен прилегающий к пламени участок воздуха, играющего существенную роль в образовании пламени и неизменно присутствующего везде, где есть пламя. Восходящий ток воздуха придает пламени продолговатую форму: ведь пламя, которое вы видите, вытягивается под воздействием этого тока воздуха на значительную высоту, как показано Гукером на чертеже линиями, изображающими продолжение воздушного потока. Все это можно видеть, поставив горящую свечу так, чтобы ее освещало Солнце и тень падала на листок бумаги. Как интересно: пламя — предмет сам по себе настолько яркий, что в его свете другие предметы отбрасывают тень, и вдруг оказывается, что можно уловить его собственную тень на белом листке. При этом, как это ни странно, можно вокруг пламени увидеть струйки чего-то, что не есть само пламя, а что увлекает за собой пламя в своем движении вверх. Сейчас я покажу вам этот опыт, но Солнце в нем будет заменено электрическим светом от вольтовой дуги. Вот это у нас будет солнце с его интенсивным светом; поставив между ним и экраном горящую свечу, мы получаем тень от пламени. Вот здесь вам видна тень самой свечи, вот тень от фитиля; как и на нашем чертеже, вы видите темноватую часть, а тут — более яркую. Но обратите внимание на любопытное явление: та часть пламени, которая на тени оказывается самой темной, в действительности самая яркая. И здесь и на чертеже вы видите, как струится восходящий поток горячего воздуха, который увлекает за собой пламя, снабжает его воздухом и охлаждает стенки чашечки с растопленным горючим.

Я могу продемонстрировать вам еще один опыт, чтобы показать, как пламя направляется либо вверх,

либо вниз, в зависимости от тока воздуха. Для этого опыта берется уже не пламя свечи, но теперь вы, несомненно, настолько привыкли к обобщениям, что можете улавливать сходство между различными явлениями. Так вот, я собираюсь тот восходящий ток воздуха, который уносит пламя вверх, превратить в ток нисходящий. Вот прибор, с помощью которого это легко сделать. Чтобы пламя не слишком коптило, мы вместо свечи будем сжигать спирт. Но это пламя я подкрасил особым веществом ¹⁾; дело в том, что если взять чистый спирт, его пламя вряд ли будет достаточно хорошо видно, чтобы вы могли проследить за ним. Зажигая этот спирт, получаем подкрашенное пламя; вы видите, я держу его в воздухе, и оно, естественно, устремляется вверх. Теперь вам вполне понятно, почему в обычных условиях пламя направляется вверх. Это зависит от тока воздуха, благодаря которому происходит сгорание. А теперь посмотрите: я дую на пламя сверху и таким изменением тока воздуха заставляю его устремиться вниз, в эту коленчатую стеклянную трубку. По ходу этих лекций мы еще вам покажем такую лампу, где пламя идет вверх, а дым — вниз, или же пламя идет вниз, а дым — вверх.

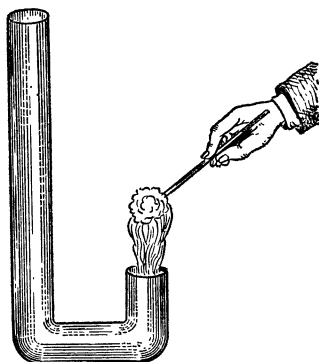


Рис. 5.

Итак, вы видите, что мы можем придавать пламени различные направления.

Я расскажу вам еще вот о чем. Форма пламени многих из тех свечей и ламп, которые вы здесь видите, очень изменчива оттого, что их все время обдувает воздухом с разных сторон. Однако при желании мы можем придать пламени неподвижную форму и сфотографировать его. И действительно, если мы хотим выяснить все его свойства и особенности, нам придется делать снимки пламени, чтобы его зафик-

¹⁾ В спирте была растворена хлористая медь — это дает красивое зеленое пламя. (Прим. В. Крукса.)

сировать в неподвижности. Если пламя достаточно большое, оно не сохраняет единства и однородности своей формы, а разбивается и вспыхивает с изумительной мощностью. Для следующего опыта я возьму горючее, которое хотя и отличается от свечного сала или воска, но, безусловно, может их заменить. Вот большой комок ваты, который нам будет служить фитилем. Я погружаю его в спирт и зажигаю. Смотрите, чем это пламя отличается от пламени обыкновенной свечи? Конечно, очень отличается в одном отношении — своей подвижностью и мощностью, красотой и живостью, которых нет у огонька свечи. Взгляните на эти тонкие огненные язычки. Вы видите то же направление общей массы пламени снизу вверх, но, кроме этого, вы видите, что из пламени вырываются язычки, чего у свечи вы не наблюдали. Так почему же это происходит? Я объясню вам: ведь если вы в этом разберетесь как следует, вы лучше сможете следить за ходом моей мысли при изложении дальнейшего. Вероятно, кое-кто из вас сам продельвал опыт, который я собираюсь вам показать. Я не ошибусь, полагая, что многим из вас случилось забавляться игрой с горящим изюмом? ¹⁾ По-моему, это прекрасная иллюстрация теории пламени. Во-первых, вот блюдо; заметьте, что если играть в эту игру по всем правилам, надо заранее хорошенько прогреть блюдо. Изюм тоже должен быть прогрет, а также и бренди (которого, впрочем, у меня здесь нет). Наливая спирт на блюдо, вы получаете чашечку и горючее — те необходимые условия, о которых у нас шла речь, — а разве изюминки не играют роль фитилей? Вот я бросаю изюм на блюдо, зажигаю спирт, и вы видите прекрасные язычки пламени, о которых я говорил. Эти язычки образуются вследствие того, что воздух струится, как бы вползает в блюдо через его края. Почему же так получается? Потому, что сила тяги и неравномерность действия пламени не дают воздуху течь вверх равномерным потоком. Он вторгается в блюдо так неравномерно, что пламя, которое при других условиях имело бы единообразную

¹⁾ Игра, заключающаяся в том, что в темной комнате зажигают бренди или спирт на блюде и вылавливают из него насыпанный туда изюм. Бренди — английский напиток, содержащий до шестидесяти процентов спирта. (*Прим. ред.*)

форму, оказывается разбитым на многочисленные отдельные язычки, каждый из которых существует независимо от других. Право, можно сказать, что здесь перед вами множество независимых свечек. Но, видя одновременно все эти язычки, не думайте, будто пламени свойственна именно эта форма. В действительности в каждый данный момент это пламя не имеет такой формы. Сильное пламя, какое вы только что видели на комке ваты, смоченной спиртом, никогда не имеет той формы, в которой вы его воспринимаете. Дело в том, что оно состоит из множества различных форм, сменяющих друг друга с такой быстротой, что глаз способен воспринять их только слитно.

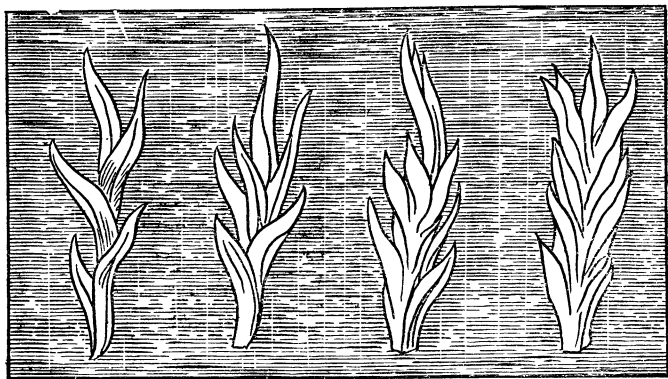


Рис. 6.

Некоторое время назад я задался целью разобраться в строении такого пламени — и вот вам схема, показывающая его составные части. Они существуют не одновременно, но кажутся нам одновременными потому, что мы видим весьма быструю смену этих форм.

Пора кончать лекцию. Как жаль, что приходится оборвать ее на игре в изюм, но задерживать вас я ни в коем случае не могу. Это мне будет уроком — строже придерживаться теоретической стороны дела и не тратить так много вашего времени на показ опытов.

СВЕЧА. ЯРКОСТЬ ПЛАМЕНИ. ДЛЯ ГОРЕНИЯ НЕОБХОДИМ ВОЗДУХ. ОБРАЗОВАНИЕ ВОДЫ

На прошлой лекции мы рассмотрели общие свойства и расположение жидкой части свечи, а также и то, каким образом эта жидкость попадает туда, где происходит горение. Вы убедились, что когда свеча хорошо горит в спокойном воздухе, пламя всегда имеет форму вытянутого вверх язычка, т. е. форму более или менее постоянную и притом очень интересную. А теперь я обращаю ваше внимание на то, какими средствами мы можем выяснить, что происходит в той или иной части пламени, почему это происходит, какое действие оно при этом оказывает и, наконец, куда девается вся свеча — ведь вы же прекрасно знаете, что зажженная свеча (если она хорошо горит) на наших глазах, сгорая, исчезает целиком, не оставляя в подсвечнике никаких следов, а это весьма любопытное обстоятельство. Чтобы тщательно исследовать свечу, я собрал несколько приборов, с применением которых вы познакомитесь по ходу лекции. Вот свеча; кончик этой стеклянной трубки я сейчас помещу в середину пламени, т. е. в ту часть его, которая на рисунке старины Гукера изображена сравнительно темной и которую вы всегда можете увидеть, если внимательно посмотрите на пламя (и при этом не будете колыхать его своим дыханием). Эту темную часть мы исследуем прежде всего.

Вот я беру ту согнутую стеклянную трубку, ввожу один конец ее в темную часть пламени, и вы сразу видите, как нечто, находившееся в пламени, входит в трубку и выходит из нее с другого конца. Если я введу другой конец трубки на некоторое время в колбу, вы увидите, как это нечто постепенно

высасывается из средней части пламени, проходит через трубку в колбу и там ведет себя совершенно иначе, чем на открытом воздухе. Оно не только выходит из конца трубки, но падает на дно колбы, как тяжелое вещество. И действительно, оказывается, что это не газ, а воск свечи, перешедший в парообразное состояние. (Запомните разницу между газом и парами: газ остается газом, а пары — это нечто такое, что конденсируется¹⁾.) Когда вы задуваете свечу, вы ощущаете противный запах, получающийся от конденсации этих паров. Они сильно отличаются от того, что находится вне пламени, и чтобы вам это стало яснее, я собираюсь

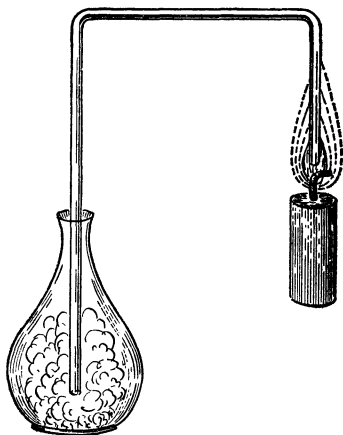


Рис. 7.

получить большее количество таких паров и поджечь их: ведь чтобы до конца изучить то, что есть в нашей свече в небольшом количестве, и иметь возможность исследовать его составные части, мы, как настоящие исследователи, должны научиться добывать его и в более значительных количествах. Теперь мистер Андерсон²⁾ даст мне горелку, и я покажу вам, что собой представляют эти пары. Вот в этой склянке я нагрею воск, чтобы он стал таким же горячим, как внутренность пламени этой свечи и вещество, окружающее фитиль. *(Лектор кладет в склянку немного воска и нагревает его над горелкой.)* Теперь, пожалуй, колба нагрета достаточно. Вы видите, что воск, который я туда положил, стал жидким и от него идет дымок. Сейчас будут подниматься пары. Продолжаю нагревание; теперь паров получается больше, вот я даже могу перелить пары из колбы в эту чашку и там их под-

¹⁾ Во времена Фарадея считалось, что не все газы могут быть сконденсированы. *(Прим. ред.)*

²⁾ Ассистент Фарадея. *(Прим. ред.)*

жечь. Стало быть, это в точности те же пары, как в середине пламени свечи. Чтобы вы могли убедиться, что это действительно так, давайте выясним, не собраны ли у нас вот в этой колбе настоящие горючие пары из середины пламени свечи. (*Лектор берет колбу, в которую была проведена трубка от свечи, и вводит в нее зажженную лучинку.*) Видите, как эти пары горят. Итак, это у нас пары из середины пламени свечи, возникшие благодаря его собственному жару. Это один из первых фактов, которые вы должны продумать в связи с продвижением воска в процессе его горения и с теми переменами, которым он подвергается. Сейчас я осторожно помешу в пламя кончик другой трубки. Действуя очень осторожно,

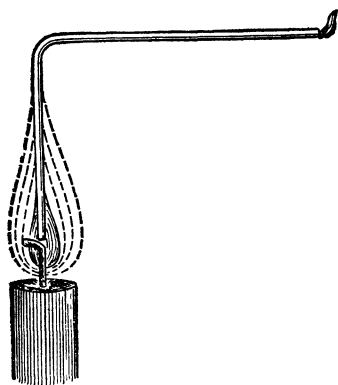


Рис. 8.

нам удастся добиться того, чтобы эти пары проходили сквозь трубку к ее другому концу, где мы их зажжем и получим настоящее пламя свечи на некотором расстоянии от нее самой. Ну, вот, поглядите. Разве это не изящный опыт? Вы слышали о газопроводах, а тут мы устроили настоящий «свечепровод». На этом опыте вы видите, что есть два четко различимых процесса: один — это возникновение паров, а

другой — это их сгорание, и каждый из этих процессов происходит в разных частях свечи.

Из того участка, где сгорание уже осуществилось, мне не удастся получить пары. Я передвину кончик трубки (см. рис. на стр. 27) в верхнюю часть пламени, и как только из трубки уйдут находившиеся в ней пары, она будет выводить из пламени нечто такое, что уже не будет горючим: оно уже сгорело. Каким образом сгорело? А вот как. В середине пламени вокруг фитиля имеются горючие пары; пламя окружено воздухом, который, как мы увидим, необходим для горения свечи, и между ними происходит интенсивное химическое взаимодействие, при котором воздух и

горючее воздействуют друг на друга, и в то самое время, как получается свет, разрушаются пары, находившиеся внутри пламени. Если вы станете выяснять, где находится самое горячее место в пламени, вы узнаете, что оно расположено очень любопытно. Вот я ввожу лист бумаги прямо в пламя — где самое горячее место? Вам видно, что *не* внутри. Оно расположено кольцом, как раз там, где, как я вам сказал, происходит химическая реакция; даже если ставить опыт так грубо, всегда получается кольцо (если только пламя не слишком будет колебаться от движения воздуха). Этот опыт каждый может легко повторить у себя дома. Возьмите полоску бумаги, выберите комнату, где нет сквозняка и поместите полоску прямо в середину пламени. Вы увидите, что бумага прогорит в двух местах, а в середине только слегка будет тронута огнем. Когда вы раз-другой удачно проделаете этот опыт, вы легко определите, где наиболее горячая часть пламени; вы сами убедитесь в том, что она там, где встречаются воздух и топливо.

Это в высшей степени важно для того, чтобы вы могли разобраться в дальнейшем. Воздух совершенно необходим для горения; мало того: вы должны понять, что необходим *свежий* воздух, иначе наши рассуждения и наши опыты не дадут правильного результата. Вот банка, в ней воздух; я опрокидываю банку и накрываю ею свечу; сперва свеча под банкой горит вполне благополучно и тем самым доказывает справедливость того, что я только что сказал. Однако скоро наступит перемена. Вот смотрите, как пламя вытягивается вверх, затем меркнет и наконец гаснет. А почему же оно гаснет? Не потому, что ему нужен просто воздух — ведь банка и сейчас так же полна воздуха, как вначале, — а потому, что пламя нуждается в чистом, свежем воздухе. Банка полна воздуха, частично измененного, частично не измененного; но в ней недостаточно того свежего воздуха, который необходим для горения свечи. Все эти факты, которые вам, юным химикам, надо собирать и сопоставлять. Обдумав их, мы сможем сделать дальнейшие шаги, которые приведут нас к интересным результатам. Вот, например, масляная лампа, которую я вам уже показывал. Это старинная лампа

Аргана¹⁾), очень удобная для наших опытов. Сейчас я увеличу ее сходство со свечой. (*Лектор закрывает отверстие в середине фитиля, через которое воздух проникает внутрь пламени.*) Вот фитиль; вот масло, которое по нему поднимается; а вот и пламя конусообразной формы. Оно плохо горит, потому что доступ воздуха уменьшен. Я ограничил доступ воздуха к пламени только его внешней стороной, и вот пламя заметно уменьшилось. Снаружи я не могу увеличить доступ воздуха, потому что фитиль и так большой; но если (как это хитроумно устроил Арган) я открою для воздуха проход в середину пламени, вы увидите, насколько лучше и светлее станет гореть лампа. Если же прекратить доступ воздуха, смотрите, как лампа коптит,— а почему?

Теперь у нас накопилось несколько очень интересных фактов, в которых надо разобраться: во-первых, горение свечи; во-вторых, ее угасание от недостатка воздуха; в-третьих, теперь к этому прибавилось неполное сгорание, а оно для нас настолько интересно, что я хочу, чтобы вы в нем разобрались так же досконально, как и в том случае, когда свеча горит наилучшим образом. Теперь я устрою большое пламя, так как нам нужны иллюстрации как можно более крупные. Вот фитиль большого размера. (*Лектор зажигает комок ваты, пропитанный скипидаром.*) В конечном счете все это — та же свеча. Если у нас фитили крупнее, то и снабжение воздухом должно быть больше, иначе сгорание будет менее совершенным. Вот смотрите, как от этого пламени в воздух летят хлопья горючего вещества. Чтобы эта не полностью сгоревшая часть не причиняла вам неудобства, я устроил вытяжную трубу, куда она и уносится. Посмотрите на сажу, летящую от пламени. До чего здесь неполное сгорание — ведь у нас пламя не получает достаточного воздуха. Так что же тут происходит? Дело в том, что отсутствует нечто, необходимое для горения свечи, и это приводит к очень плохим результатам. А что происходит со свечой, когда она горит в чистом воздухе, мы уже видели. Когда я вам

¹⁾ В масляной лампе, изобретенной швейцарским химиком Э. Арганом, фитиль имеет вид цилиндра, так что воздух поступает внутрь пламени. (*Прим. ред.*)

показывал одну сторону бумажки, обожженную кольцом пламени, я мог бы, перевернув этот листок, показать вам, что от горения свечи получается такая же сажа — то есть уголь, или, иначе говоря, углерод.

Но прежде чем это показать, давайте я объясню вам кое-что совершенно необходимое для понимания всего вопроса. Хотя в качестве основного предмета лекций я взял свечу и для иллюстрации общего понятия «горение» показываю вам ее горение в форме пламени, мы все-таки должны выяснить, всегда ли горение происходит именно в этой форме и бывают ли и другие виды пламени. Мы скоро убедимся, что они действительно бывают и что они для нас в высшей степени важны. Пожалуй, лучший способ убедить молодежь — это продемонстрировать разительный контраст. Вы знаете, что порох сгорает с пламенем; мы вполне можем называть это пламенем. Порох содержит углерод и другие вещества, которые в совокупности заставляют его сгорать с пламенем. А вот немного железных опилок. Я хочу сжечь эти два вещества вместе. У меня тут есть деревянная ступка, в которой я их смешаю. (Прежде чем перейти к этим опытам, разрешите мне высказать надежду, что никто из вас не наделает беды, попытавшись повторить для забавы. Ведь все это можно хорошо проделать, только если соблюдать осторожность, а небрежность может очень плохо кончиться.) Так вот, стало быть, тут у меня немножко порошу, который я кладу на дно этой маленькой деревянной ступки и смешиваю с ним железные опилки. Цель моя состоит в том, чтобы от пороха опилки загорелись и на воздухе, а тем самым была бы наглядно показана разница между веществами, сгорающими с пламенем и без пламени. Вот полученная смесь; теперь, когда я ее подожгу, вы должны будете следить за процессом горения, и вы увидите, что горение будет двоякое. Вы увидите, как порох будет гореть с пламенем, а железные опилки будут взлетать в воздух. Вы увидите, что и они тоже будут гореть, но не давая пламени. Каждая частичка железа будет гореть отдельно. (*Лектор поджигает смесь.*) Смотрите: порох горит с пламенем, а вот железные опилки — они горят совсем иначе. Итак, вы воочию убедились в существовании двух различных типов горения, и именно на

них основаны все практические применения и вся красота пламени, используемого нами в качестве источника света. Повторяю: будем ли мы для освещения пользоваться маслом, газом или свечами — пригодность всех их зависит от тех различий в процессе горения, которые вы только что наблюдали.

Бывают такие своеобразные виды пламени, что без некоторого хитроумия и умения подмечать тонкие различия невозможно определить, какой тут наблюдается тип горения. Возьмем, например, вот этот порошок. Он очень горючий; он состоит из массы отдельных зернышек. Порошок этот называется ликоподий¹⁾. Каждая из его пылинок может дать пары и вспыхнуть отдельным огоньком. Сейчас я зажгу немножко ликоподия, и вы увидите, что произойдет... Мы увидели целое облако пламени, как будто единое, нераздельное; однако это потрескивание (*лектор обращает внимание на звук, возникающий при горении*) доказывает, что сгорание было не непрерывным и не равномерным. Это и есть искусственная молния, которую вы видели в пантомимах, и надо сказать, что она очень хорошо имитирует настоящую. (*Лектор дважды продельывает этот опыт, продувая ликоподий из стеклянной трубки сквозь пламя спиртовки.*) Это пример горения, отличающийся от горения опилок, к которым мы еще вернемся.

Возьму теперь свечу и буду исследовать ту часть ее пламени, которая на глаз кажется самой яркой. Оказывается, там-то я и нахожу черные частицы, возникновение которых из пламени вы уже несколько раз наблюдали; сейчас я добуду их иначе. Вот я очищаю свечу от наплывов воска, получившихся из-за ветра. Теперь я беру стеклянную трубочку, которой мы уже пользовались в одном из предыдущих опытов, и вставляю ее в пламя, но на этот раз по-выше, так, чтобы ее кончик был едва погружен в яркую часть пламени. Вы видите, каков результат: вместо белых паров, которые получались раньше, теперь из трубочки выходит копоть, черная как чернила. Безусловно, это нечто совершенно иное, чем те белые пары; поднесем к концу трубочки горящую лучинку, и мы увидим, что выходящие пары и сами

¹⁾ Ликоподий — желтоватый порошок, споры плауна. Используется в пиротехнике. (*Прим. В. Крукса.*)

не горят и лучинку гасят. Так вот, эти частицы, как я уже и раньше вам говорил,— это всего-навсего копоть свечи. Недаром Свифт¹⁾ советовал лентяям развлекаться, расписывая на потолке узоры с помощью свечи. Так что же это за черное вещество? Это тот же самый углерод, который имеется в свече. Как же он возникает из свечи? Очевидно, он был в свече,— ведь откуда бы ему взяться иначе?

Теперь слушайте внимательно и следите за ходом моего объяснения. Вам вряд ли приходило в голову, что вещество, летающее в лондонском воздухе в виде частиц копоти и сажи,— это как раз то, что придает самую красоту и жизнь пламени, в котором оно сгорает точно так же, как у нас сгорали железные опилки. Вот тонкая проволоочная сетка, не пропускающая пламени. Я думаю, вам почти сразу будет видно, что когда я ее опущу на пламя таким образом, чтобы она касалась той его части, которая обычно бывает самой яркой, сетка придавит пламя, и пламя начнет коптить.

Теперь мне нужно, чтобы вы поняли следующий пункт моего рассуждения. Всякий раз, когда какое-нибудь вещество горит так, как горели железные опилки в пламени пороха, т. е. не переходя в паробразное состояние, а либо становясь жидким, либо оставаясь твердым телом, оно чрезвычайно ярко светится. Чтобы наглядно доказать вам это, я отвлекусь от свечи и приведу несколько других примеров. Ведь то, что я вам должен рассказать, применимо ко всем веществам, горючим и не горючим,— они интенсивно светятся, если остаются в твердом состоянии; именно присутствием твердых частиц в пламени свечи и объясняется ее яркий свет.

Вот платиновая проволоочка — тело, которое от нагревания не изменяется. Я ее раскалю на этом пламени — смотрите, до чего она ярко светится. Я сделаю пламя малосветящимся, и хотя платиновая проволоочка получит от него мало тепла, вы все же увидите, что этого нагрева будет достаточно, чтобы довести накал проволоочки до гораздо большей яркости, чем яркость самого пламени. В этом пламени

¹⁾ Джонатан Свифт (1667—1745) — знаменитый английский писатель, автор «Путешествий Гулливера». (Прим. ред.)

содержится углерод; а теперь я возьму такое пламя, в котором углерода нет. Вот в этом сосуде находится некое горючее вещество — пока назовите его парами или газом, как хотите, — в котором нет твердых частиц; поэтому я и беру его как пример пламени, горящего без всякого твердого вещества. Когда я введу в это пламя твердое тело, вы увидите, до чего пламя жаркое и как ослепительно оно заставляет светиться это твердое тело. Вот трубка, через которую подается особый газ, называемый водородом; о нем вы все узнаете на следующей лекции. А вот здесь — вещество, называемое кислородом, при помощи которого водород может гореть; в результате их смешения мы получаем несравненно более высокую температуру, чем от пламени свечи. Если же поместить в это пламя какое-нибудь твердое вещество, получается свет. Возьмём кусок извести — вещества, которое не горит и не испаряется при высокой температуре (а не испаряясь, остается твердым и раскаленным). Сейчас вы сможете наблюдать, как известь будет светиться. Сжигая водород в кислороде, получаем очень высокую температуру; пока еще света очень мало — не из-за того, что мало тепла, а из-за отсутствия твердых частиц — но вот я держу этот кусочек извести в кислородно-водородном пламени — смотрите, как он ослепительно светится! Это и есть прославленный «друммондов свет», соперничающий со светом вольтовой дуги и почти равный солнечному свету¹⁾. А вот здесь у меня кусочек углерода, или древесного угля, который будет гореть и давать нам свет точно так же, как если бы этот углерод сгорал в качестве составной части свечи. Высокая температура пламени свечи разлагает пары воска и высвобождает частицы углерода; они поднимаются вверх, раскаленные и светящиеся, как светится сейчас вот этот кусочек, а затем уходят в воздух. Но эти частицы, сгорев, никогда не уходят из пламени в форме углерода — нет, они переходят в воздух в виде совершенно невидимого вещества, о котором мы поговорим в дальнейшем.

¹⁾ Название связано с фамилией английского капитана Томаса Друммонда, впервые применившего этот источник света для практических целей. (*Прим. ред.*)

Подумайте, как прекрасен этот процесс, при котором такое невзрачное вещество, как уголь, делается таким сияющим! Вы видите, что дело здесь сводится к следующему: всякое яркое пламя содержит эти твердые частицы; и все то, что горит и дает твердые частицы — будь то во время горения, как это происходит в пламени свечи, будь то непосредственно после горения, как в примере с порохом и железными опилками, — все это дает нам прекрасный свет.

Сейчас я вам это проиллюстрирую. Во-первых, вот кусочек фосфора, которому свойственно гореть ярким пламенем. Из этого мы теперь можем сделать вывод, что фосфор обязательно дает такие твердые частицы либо в момент самого горения, либо после него. Вот фосфор зажжен, и я накрываю его стеклянным колпаком, чтобы не дать улечься тому, что получится в результате горения. Что это за клубы дыма? Этот дым состоит как раз из тех частиц, которые получаются от горения фосфора. Далее, вот два вещества — бертолетова соль и сернистая сурьма.

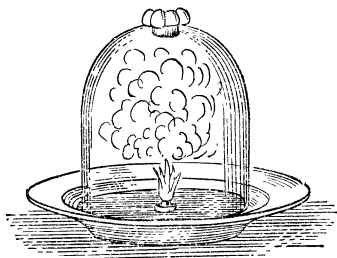


Рис 9.

Я их слегка перемешаю, и тогда их можно будет сжечь различными способами. Чтобы показать вам образчик того, что такое химическая реакция, я капну на них серной кислоты, и они мгновенно вспыхнут. (*Лектор поджигает смесь серной кислотой.*) Теперь по внешнему виду этого явления вы можете сами судить, получается ли при горении твердое вещество. Я вам указал и ход рассуждения, который приведет вас к ответу на этот вопрос, положительному или отрицательному: ведь что же представляет собой это яркое пламя, как не выделяющиеся твердые раскаленные частицы?

Вот тут у мистера Андерсона накаленный в печи тигелек. Я сейчас брошу в него цинковых опилок, и они будут гореть таким пламенем, как у нас горел порох. Этот опыт вы можете сделать дома. А теперь

мне нужно, чтобы вы посмотрели, каков будет результат сгорания цинка. Вот он горит. И прекрасно горит — можно сказать, как свеча. Но что это за клубы дыма? И что это за облачка, похожие на клочки шерсти, разлетающиеся по всей аудитории и дающие вам знать о себе, не дожидаясь, чтобы вы подошли ко мне их рассмотреть? В старину их называли «философской шерстью». Некоторое количество этого пушистого вещества у нас останется и в тигле. Для следующего опыта я возьму тот же цинк, но не в опилках, а кусочком, чтобы продукты горения не разлетались по всему залу. Вы увидите, что, по существу, будет происходить то же самое. Вот кусочек цинка, вот горелка (*лектор указывает на водородное пламя*), и теперь мы примемся за дело — постараемся сжечь этот металл. Вы видите, что он светится — стало быть, происходит горение; а вот и белое вещество, в которое, сгорая, превращается цинк. Итак, если я буду считать это водородное пламя подобием пламени свечи и покажу вам какое-нибудь вещество, вроде цинка, горящим в водородном пламени, вы убедитесь, что это вещество светится только во время горения, т. е. пока оно накалино. Вот я беру белое вещество, получившееся от сгорания цинка, и помещаю его в водородное пламя. Смотрите, как оно чудно светится — и именно потому, что это твердое вещество.

Вернусь теперь к тому пламени, какое мы рассматривали раньше, и выделю из него частицы углерода. Возьмем камфару, которой свойственно гореть копящим пламенем. Но если я через эту трубочку проведу частицы копоти в водородное пламя, вы увидите, что они будут сгорать и испускать свет, так как мы их нагреем вторично. Вот, смотрите. Здесь частицы углерода, зажженные вторично. Это те самые частицы сажи, которые хорошо были видны на фоне белой бумаги. Теперь же, оказавшись в жарком пламени водорода, они воспламеняются и поэтому дают такой яркий свет. Если же частицы не выделяются, пламя у нас получается несветящимся. Пламя светильного газа дает такой яркий свет именно благодаря тому, что во время горения из этого газа образуются частицы углерода, которые присутствуют в его пламени, точно так же, как и в пламени свечи.

Яркость пламени можно очень быстро изменить. Вот, например, яркое газовое пламя. Если я буду подводить столько воздуха к пламени, чтобы газ полностью сгорал, прежде чем успеют выделяться эти частицы, у меня такой яркости не получится.

Устроить это можно вот как. На горелку я надеваю колпачок из тонкой проволочной сетки, а затем зажигаю газ над колпачком; видите, газ горит несветящимся пламенем, так как перед сгоранием с газом смешивается достаточное количество воздуха. Если же я подниму сетчатый колпачок, то под ним, как вы видите, газ не горит. Углерода в этом газе вполне достаточно; однако вы видите, каким бледным, голубоватым пламенем горит он там, где к нему обеспечен доступ воздуха, и они могут смешаться перед сгоранием. Такой голубоватый оттенок получается и в том случае, если я буду дуть на яркое газовое пламя так, чтобы сжигать весь этот углерод до того, как он успеет раскалиться. *(Лектор иллюстрирует свои слова на опыте, дует на газовую горелку.)* Единственная причина, почему от такого дутья пламя теряет яркость, заключается в том, что углерод смешивается с достаточным количеством воздуха для его сгорания, прежде чем он в пламени выделится в свободном состоянии. Вся разница в цвете пламени происходит исключительно от того, что твердые частицы не успевают выделиться, прежде чем газ сгорает.

Итак, вы убедились на опыте, что при сгорании свечи получают некоторые вещества и что в числе этих продуктов сгорания находится уголь, т. е. сажа. Этот уголь, сгорая, дает некий другой продукт; теперь мы займемся выяснением, что это за другой продукт горения. Мы видели, как что-то улетучивалось и исчезало. Теперь мне нужно, чтобы вы поняли, сколько вещества улетает в воздух, а для этой цели мы устроим горение в несколько большем масштабе. Вот от этой свечи поднимается нагретый воздух. Двух-трех опытов будет достаточно, чтобы показать вам восходящий ток газа. Но чтобы дать представление о количестве вещества, которое таким образом летит вверх, я сейчас сделаю еще один опыт и постараюсь уловить часть получающихся продуктов горения. Для этого у меня есть детский воз-

душный шар: сейчас я им воспользуюсь только как своего рода меркой для тех продуктов горения, которыми мы в данный момент занимаемся. А пламя я устрою простое — такое, чтобы оно наилучшим образом соответствовало поставленной мною цели. Вот эта тарелка будет представлять собой, так сказать, «чашечку» свечи; горючее — спирт, налитый в тарелку; над ним я помещу эту трубу для тяги — такое устройство лучше, чем если бы я предоставил это дело случаю. Сейчас мой помощник зажжет горючее,

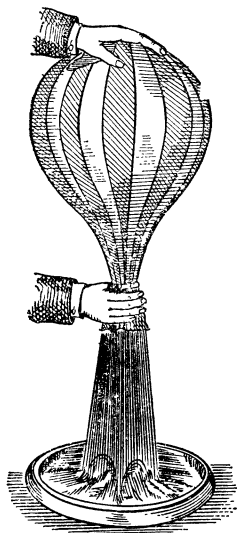


Рис. 10

а здесь, у верхушки трубы, мы будем улавливать продукты горения. То, что мы получаем у верхушки трубы, это, вообще говоря, то же самое, что получается при сгорании свечи; но здесь пламя не светящееся, так как мы взяли вещество, бедное углеродом. Запускать шар я сейчас не собираюсь, моя цель не в этом, а я его сюда прилажу, чтобы показать вам результат действия веществ, поднимающихся как от свечи, так и от этого пламени в вытяжной трубе. *(К верхнему отверстию трубы приставляется горловина шара, и он сразу начинает наполняться.)* Вы видите как шар рвется кверху, но отпустить его нельзя: ведь он, пожалуй, может наткнуться на газовые лампы

вон там, наверху, а это было бы очень некстати. *(По просьбе слушателей гасят верхние лампы, лектор отпускает шар, и тот улетает вверх.)* Ну, вот, разве это не доказывает вам, какой значительный объем вещества получается при горении? А теперь смотрите *(лектор помещает над свечой широкую стеклянную трубку)*: через эту трубку проходят все продукты горения этой свечи, и вы сейчас увидите, что трубка совсем помутнеет. Я беру горящую свечу, накрываю ее банкой и, чтобы вам было видно происходящее, освещаю ее с противоположной от вас стороны. Как видите, стенки банки затуманиваются и свет слабеет.

Именно продукты сгорания и заставляют свет меркнуть, и от них же и мутнеют стенки банки. Если вы, придя домой, возьмете ложку, которая лежала на холоде, и подержите ее над пламенем свечи (только так, чтобы ложка не закоптила), вы увидите, что она запотеет, как эта банка. Еще лучше удастся опыт, если вы сумеете раздобыть для него серебряное блюдо или что-нибудь вроде этого. А теперь, чтобы заранее подготовить вас к нашей следующей встрече, скажу вам, что это помутнение получается от воды. На следующей лекции я покажу вам, что ее нетрудно будет получить в жидком виде.

ПРОДУКТЫ ГОРЕНИЯ. ВОДА, ОБРАЗУЮЩАЯСЯ ПРИ ГОРЕНИИ. ПРИРОДА ВОДЫ. СЛОЖНОЕ ВЕЩЕСТВО. ВОДОРОД

Надеюсь, вы хорошо помните, что в конце прошлой лекции я использовал выражение «продукты горения свечи». Ведь мы убедились, что когда горит свеча, мы можем при помощи соответствующих приборов получить из нее разнообразные продукты горения. Во-первых, у нас оказался уголь, или копоть, которая не получалась, когда свеча горела хорошо; во-вторых, было какое-то другое вещество, которое имело вид не дыма, а чего-то другого, но составляло часть того общего потока, который, восходя от пламени, становится невидимым и исчезает. Были там также и другие продукты горения, о которых должна была идти речь дальше. Мы ведь, помните, обнаружили, что в составе струи, восходящей от свечи, одну часть можно сконденсировать, поставив на ее пути холодную ложку, чистую тарелку или любой другой холодный предмет, другая же часть не конденсируется. Сперва мы исследуем конденсирующуюся часть продуктов; как это ни странно, мы найдем, что это всего-навсего вода. Прошлый раз я об этом упомянул мельком — только сказал, что среди подпадающих к конденсации продуктов сгорания свечи есть и вода. Сегодня же я хочу привлечь ваше внимание как раз к воде, чтобы вы могли ее тщательно исследовать не только в связи с нашей основной темой, но также и вообще, в связи с вопросом о ее существовании на земном шаре.

Сейчас у меня все готово для опыта по конденсации воды из продуктов горения свечи, и я прежде всего постараюсь доказать вам, что это действительно вода. Пожалуй, лучший способ показать ее присутствие сразу всей аудитории — это продемонстрировать какое-нибудь действие воды, которое было бы ясно видно, а затем испытать таким образом то, что

соберется в каплю на дне вот этой чашечки. (*Лектор подставляет свечу под чашечку со смесью льда и соли.*) Здесь у меня некое вещество, открытое сэром Гэмфри Дэви; оно очень энергично реагирует с водой, и я этим воспользуюсь, чтобы доказать наличие воды. Это калий, добываемый из поташа. Я беру маленький кусочек калия и бросаю его в эту чашку. Вы видите, как он доказывает наличие воды в чашке — калий вспыхивает, горит ярким, сильным пламенем и при этом бегаёт по поверхности воды. Теперь я убегу свечу, которая некоторое время горела у нас под чашечкой со смесью льда и соли; вы видите, что со дна чашечки свисает капля воды — сконденсированного продукта горения свечи. Я покажу вам, что калий даст с этой водой такую же реакцию, как с водой в чашке. Смотрите. Калий вспыхивает и горит совершенно так же, как в предыдущем опыте. Другую каплю воды я улавливаю на это стекло, кладу на нее кусочек калия, и по тому, как он загорается, вы можете судить о том, что здесь присутствует именно вода. А вы помните, что эта вода возникла из свечи.

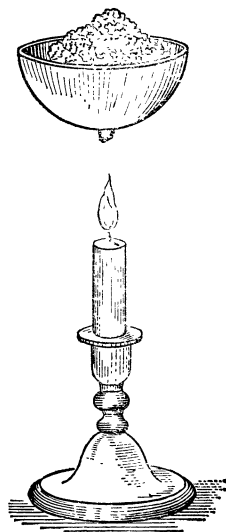


Рис. 11.

Точно так же, если я накрою вот той банкой зажженную спиртовку, вы скоро увидите, как банка запотеет от осаждающейся на ней росы, а эта роса опять-таки есть результат горения. По каплям, которые будут капать на подостланную бумагу, вы, без сомнения, через некоторое время увидите, что от горения спиртовки получается изрядное количество воды. Я не буду сдвигать эту банку, и вы потом сможете посмотреть, сколько воды накопится. Подобным же образом, поместив охлаждающее устройство над газовой горелкой, я также получу воду, потому что вода образуется и при горении газа. В этой банке собрано некоторое количество воды — идеально чистой, дистиллированной воды, полученной

при горении светильного газа; она ничем не отличается от воды, какую вы могли бы добыть путем перегонки из речной, океанской или ключевой — это в точности такая же вода.

Вода — химический индивид¹⁾, она всегда одинакова. Мы можем подмешать к ней посторонние вещества или удалить из нее содержащиеся в ней примеси; однако вода как таковая остается всегда собой — твердой, жидкой или газообразной. Вот здесь (*лектор показывает другой сосуд*) вода, полученная при горении масляной лампы. Из масла, если его надлежащим образом сжигать, можно получить даже несколько большее по объему количество воды. А вот здесь вода, добытая из восковой свечи путем довольно длительного опыта. И так мы можем перебрать одно за другим почти все горючие вещества и убедиться, что если они, как свеча, дают пламя, то при их сгорании получается вода. Такие опыты вы можете проделать сами. Для начала очень хороша ручкоятка кочерги²⁾, если ее удастся достаточно долго продержат над пламенем свечи так, чтобы она остывала холодной, вы сможете добиться, чтобы на ней каплями осела вода. Для этого годится и ложка, и поварешка, и вообще любой предмет, лишь бы он был чистым и обладал достаточной теплопроводностью, т. е. чтобы он мог отводить тепло и, таким образом, конденсировать пары воды.

Теперь, если уж вдаваться в то, как происходит это удивительное выделение воды из горючих материалов в процессе их горения, я должен прежде всего рассказать, что вода может существовать в различных состояниях. Правда, вы уже знакомы со всеми видоизменениями воды, но тем не менее нам сейчас необходимо уделить им некоторое внимание для того, чтобы мы могли осознать, каким образом вода, претерпевая, подобно Протею³⁾, свои многообразные

¹⁾ Под химическими *индивидами* понимают тела, состоящие целиком из атомов или молекул одного сорта. Им противопоставляют *смеси* или *растворы*, состоящие из различных химических индивидов. (*Прим. ред.*)

²⁾ Имеется в виду кочерга с массивной металлической ручкой. (*Прим. ред.*)

³⁾ Протей — в греческой мифологии морское божество, вещий старец. Ему приписывалась удивительная способность принимать различные образы и мгновенно исчезать. (*Прим. ред.*)

изменения, остается всегда одним и тем же веществом — все равно, получена ли она из свечи при ее сгорании, или же из рек или океана.

Начнем с того, что в наиболее холодном состоянии вода представляет собой лед. Однако мы с вами как естествоиспытатели — ведь я надеюсь, нас с вами можно объединить под этим названием, — говоря о воде, называем ее водой, все равно, находится ли она в твердом, жидком или газообразном состоянии; в химическом смысле это всегда вода. Вода есть соединение двух веществ, одно из которых мы получали из свечи, а второе нам предстоит найти вне ее. Вода может встречаться в виде льда, и за последнее время вы имели прекрасную возможность убедиться в этом. Лед превращается обратно в воду при повышении температуры. В прошлое воскресенье мы видели яркий пример этого превращения, которое привело к печальным последствиям в некоторых наших домах¹⁾. Вода в свою очередь превращается в пар, если ее достаточно нагреть. Та вода, которую вы видите здесь перед собой, обладает наибольшей плотностью²⁾, и хотя она меняется по весу, по состоянию, по форме и многим другим свойствам, она продолжает оставаться водой. При этом, будем ли мы превращать ее в лед путем охлаждения или же в пар путем нагревания, вода по-разному увеличивается в объеме: в первом случае — очень незначительно и с большой силой, а во втором — изменение объема велико. Например, я беру этот тонкостенный жестяной цилиндр и наливаю в него немножко воды. Вы видели, как мало я налил, и можете без труда самостоятельно сообразить, какова будет высота воды в этом сосуде: вода покроет дно слоем приблизительно в два дюйма. Теперь я собираюсь превратить эту воду в пар, чтобы показать вам разницу

¹⁾ Лекции Фарадея читались в период зимних каникул. Видимо, чередовались заморозки и оттепели, которые приводили к затоплению подвальных помещений. (*Прим. ред.*)

²⁾ Наибольшую плотность вода имеет при 39,1 градуса по шкале Фаренгейта. (*Прим. В. Крукса.*) В шкале Фаренгейта температурный интервал между точкой таяния льда и точкой кипения воды разделен на 180 градусов, причем точке таяния льда приписана температура $+32^{\circ}$. Легко сосчитать, что приведенное в примечании к английскому изданию значение температуры соответствует четырем градусам по шкале Цельсия. (*Прим. ред.*)

в объеме, занимаемом водой в ее различных состояниях — воды и пара.

А пока разберем, что происходит при превращении воды в лед. Это можно осуществить, охлаждая ее в смеси толченого льда с солью¹⁾, и я это сделаю, чтобы показать вам расширение воды при этом превращении в нечто, обладающее большим объемом. Вот эти чугунные бутылки (*показывает одну из них*) очень прочные и очень толстостенные — их толщина примерно треть дюйма. Их очень аккуратно наполнили водой, не оставив в них ни пузырька воздуха, и затем плотно завинтили. Когда мы заморозим воду в этих чугунных сосудах, мы увидим, что они не смогут вместить получившийся лед. Происходящее внутри них расширение разорвет их на куски. Вот это — обломки точно таких же бутылок. Наши две бутылки я кладу в смесь льда и соли, и вы убедитесь, что при замерзании вода изменяется в объеме с такой большой силой.

А теперь давайте посмотрим на изменения, происшедшие с той водой, которую мы поставили кипятиться; она, оказывается, перестает быть жидкостью. Об этом можно судить по следующим обстоятельствам. Я прикрыл часовым стеклом горлышко колбы, в которой сейчас кипит вода. Видите, что происходит? Стеклышко вовсю стучит, как будто клапан в машине, потому что пар, поднимающийся от кипящей воды, с силой вырывается наружу и заставляет этот «клапан» подпрыгивать. Вы без труда можете сообразить, что колба целиком заполнена паром — ведь иначе он не стал бы прокладывать себе дорогу силой. Вы видите также, что в колбе содержится какое-то вещество, значительно большее по объему, чем вода, — ведь оно не только наполняет всю колбу, но, как видите, и улетает в воздух. Однако вы не наблюдаете существенной убыли в количестве оставшейся воды, и это вам показывает, сколь велико изменение объема при превращении воды в пар.

Вернемся опять к нашим чугунным бутылкам с водой, которые я положил вот в эту охлаждающую смесь, чтобы вы могли наблюдать, что с ними про-

¹⁾ В смеси с солью температура таяния льда понижается. (Прим. ред.)

изойдет. Как вы видите, между водой в бутылках и льдом во внешнем сосуде сообщения нет. Но между ними происходит перенос тепла, так что если опыт удастся (ведь мы его проводим в очень большой спешке), вы через некоторое время, как только холод завладеет бутылками и их содержимым, услышите взрыв: это лопнет какая-нибудь из бутылок. И, осмотрев затем бутылки, мы обнаружим, что их содержимое представляет собой куски льда, частично покрытые чугуновой скорлупой, которая оказалась

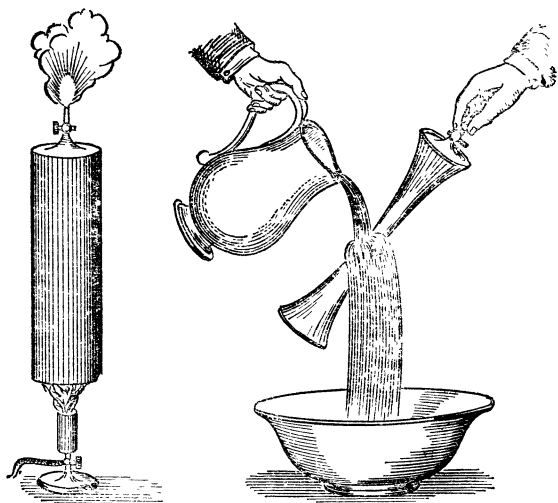


Рис. 12.

для них слишком тесной, потому что лед занимает больше места, чем вода, из которой он получился. Вы прекрасно знаете, что лед на воде плавает; если зимой под мальчиком подламывается лед и он проваливается в воду, он попытается выкарабкаться на льдину, которая его поддержит. Почему же лед плавает? Подумайте, и вы, наверно, найдете объяснение: лед по объему больше, чем та вода, из которой он получается; поэтому лед легче, а вода тяжелее.

Вернемся теперь к действию тепла на воду. Посмотрите, какая струя пара выходит из этого жестяного цилиндра! Очевидно, пар его целиком заполняет,

раз он оттуда так валит. Но если посредством тепла мы можем превращать воду в пар, то посредством холода мы можем вернуть пар в состояние жидкости. Возьмем стакан или любой другой холодный предмет и подержим его над этой струей пара — смотрите, как он быстро запотеваает! Пока стакан не согреется, он будет продолжать конденсировать пар в воду — вот она уже стекает по его стенкам. Я покажу вам еще один опыт с конденсацией воды из парообразного состояния обратно в жидкое. Вы уже видели, что один из продуктов горения свечи — водяной пар. Мы получали его в жидком виде, заставляя оседать на дне чашечки с охлаждающей смесью. Чтобы показать вам неизбежность таких переходов, я завинчу горлышко этого жестяного цилиндра, который теперь, как вы видели, наполнен паром. Посмотрим, что произойдет, когда мы охладим цилиндр снаружи и этим заставим водяной пар вернуться в жидкое состояние. *(Лектор обливает цилиндр холодной водой, и тотчас же его стенки вдавливаются внутрь.)* Вот видите, что получилось. Если бы я, завинтив горлышко, продолжал нагревать цилиндр, его бы разорвало давлением пара, а когда пар возвращается в жидкое состояние, цилиндр оказывается смятым, так как внутри него образуется пустота в результате конденсации пара. Сосуд вынужден уступить, его стенки вдавливаются внутрь; наоборот, если бы завинченный цилиндр с паром нагревался дальше, их бы разорвало изнутри. Эти опыты я вам показываю для того, чтобы обратить ваше внимание на то, что во всех этих случаях нет превращения воды в какое-нибудь другое вещество: она продолжает оставаться водой.

А как вы себе представляете, насколько увеличивается объем воды, когда она переходит в газообразное состояние? Взгляните на этот куб *(показывает кубический фут)*, а вот рядом с ним кубический дюйм¹⁾. Форма у них одинаковая, и различаются они только по объему. Так вот, одного кубического дюйма воды оказывается достаточно для того, чтобы расшириться до целого кубического фута пара. И

¹⁾ В футах двенадцать дюймов. 1 фут равен 30,4 см. *(Прим. ред.)*

наоборот, от действия холода это большое количество пара сожмется до такого маленького количества воды... (*В этот момент лопается одна из чугунных бутылок.*) Ага! Вот взорвалась одна из наших бутылок,— смотрите, вдоль нее идет трещина шириной в восьмую дюйма. (*Тут разрывается другая бутылка, и охлаждающая смесь разлетается во все стороны.*) Вот и вторая бутылка лопнула; ее разорвало льдом, хотя чугунные стенки были почти в полдюйма толщиной. Такого рода изменения происходят с водой всегда; не думайте, что их обязательно надо вызывать искусственным путем. Это только сейчас нам пришлось воспользоваться такими средствами, чтобы ненадолго устроить около этих бутылок зиму в малом масштабе вместо настоящей длинной и суровой зимы. Но если вы побываете в Канаде или на Крайнем Севере, вы убедитесь, что там наружная температура достаточна, чтобы произвести на воду тот же эффект, какого мы здесь добивались нашей охлаждающей смесью.

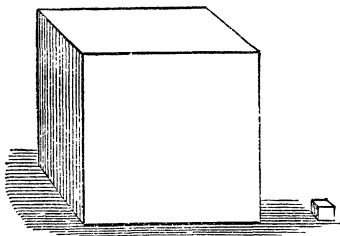


Рис. 13.

Однако вернемся к нашим рассуждениям. Стало быть, никакие изменения, происходящие с водой, не смогут теперь ввести нас в заблуждение. Вода — везде одна и та же вода, получена ли она из океана или из пламени свечи. Где же, в таком случае, находится та вода, которую мы получаем из свечи? Чтобы ответить на этот вопрос, я должен буду немного забежать вперед. Совершенно очевидно, что эта вода частично появляется из свечи,— но была ли она в свече прежде? Нет, воды не было ни в свече, ни в окружающем воздухе, необходимом для горения свечи. Вода возникает при их взаимодействии: одна составная часть ее берется из свечи, другая — из воздуха. Именно это мы должны теперь проследить, чтобы до конца понять, каковы химические процессы, происходящие в свече, когда она горит перед нами на столе. Как же мы до этого доберемся? Мне-то известно множество путей, но я хочу,

чтобы вы додумались сами, размышляя над тем, что я вам уже сообщил.

Думаю, что кое-что вы сможете сообразить вот как. В начале сегодняшней лекции мы имели дело с неким веществом, своеобразную реакцию которого с водой открыл сэр Гэмфри Дэви¹⁾. Я напому вам эту реакцию, повторив еще раз опыт с калием. С этим веществом надо обращаться очень осторожно: ведь если у нас на кусок калия попадет хоть капля воды, это место сейчас же загорится, а от него, при условии свободного доступа воздуха, живо загорелся бы и весь кусок. Так вот, калий — это металл с прекрасным ярким блеском, быстро изменяющийся на воздухе и, как вы знаете, в воде. Я опять кладу кусочек калия на воду, — видите, как он чудесно горит, образуя как бы плавающий светильник и используя для горения вместо воздуха воду. Положим теперь в воду немного железных опилок или стружек. Мы обнаружим, что они также претерпевают изменения. Меняются они не так сильно, как этот калий, но до некоторой степени схожим образом: они ржавеют и воздействуют на воду, хотя и не столь интенсивно, как этот чудесный металл, но, в общем, их реакция с водой носит тот же характер, что и реакция калия. Сопоставьте мысленно эти различные факты. Вот еще один металл — цинк; вы имели случай убедиться в его способности гореть, когда я вам показывал, что при его сгорании получается твердое вещество. Я полагаю, что если сейчас взять узкую стружку цинка и поддержать ее над пламенем свечи, то вы увидите явление, так сказать, промежуточное между горением калия на воде и реакцией железа — произойдет горение особого рода. Вот цинк сгорел, оставив белую золу. Итак, мы видим, что металлы горят и действуют на воду.

Шаг за шагом мы научились управлять действием этих различных веществ и заставлять их рассказывать нам о себе. Начнем с железа. У всех химических реакций есть общая черта: они от нагревания

¹⁾ Калий, металлическая основа поташа, был открыт в 1807 г. Гэмфри Дэви, которому удалось выделить его из поташа при помощи вольтовой батареи. Из-за сильного сродства к кислороду калий разлагает воду с выделением водорода, который воспламеняется и горит с выделением тепла. (Прим. В. Крукса.)

усиливаются. Поэтому нам часто приходится применять тепло, если надо детально и внимательно исследовать взаимодействие тел. Вам, надо полагать, уже известно, что железные опилки прекрасно горят в воздухе, но я все же покажу это вам сейчас на опыте, чтобы вы твердо усвоили то, что я вам собираюсь рассказать о действии железа на воду. Возьмем горелку и сделаем ее пламя полым — вы уже знаете, для чего: я хочу подвести воздух к пламени и изнутри. Затем возьмем щепотку железных опилок и будем бросать их в пламя. Видите, как они хорошо горят. Это и есть химическая реакция, которая происходит, когда мы поджигаем эти частицы железа.

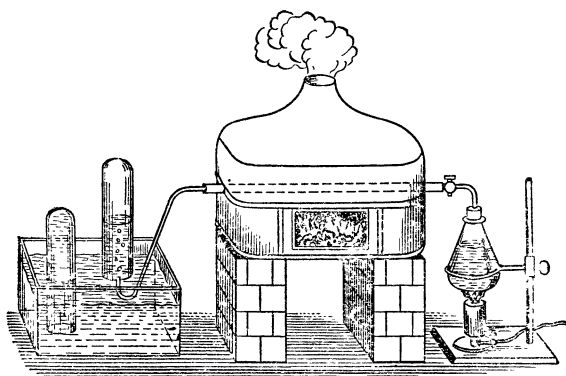


Рис. 14.

Теперь разберем эти различные виды взаимодействия и выясним, что́ станет делать железо, когда оно встретится с водой. Все это оно само нам расскажет, и притом так занимательно и систематично, что, я уверен, вы получите большое удовольствие.

Вот тут у меня печь с проходящей сквозь нее железной трубкой вроде ружейного ствола. Эту трубку я набил блестящими железными стружками и поместил ее над огнем, чтобы она раскалилась докрасна. Сквозь эту трубку мы можем пропускать либо воздух, чтобы он приходил в соприкосновение с железом, либо пар из этого маленького кипятильника, присоединив его к концу трубки. Вот кран, который закрывает водяному пару доступ в трубку, пока нам

не понадобится его туда впустить. В этих сосудах — вода, которую я подсинил, чтобы вам виднее было, что произойдет. Вы уже прекрасно знаете, что если из этой трубки будет выходить именно водяной пар, то он при пропускании через воду обязательно сгустится; ведь вы же убедились, что пар, будучи охлажден, не может остаться в газообразном состоянии; в нашем опыте с этим жестяным цилиндром вы видели, как пар сжался в небольшой объем, и в результате оказался исковерканным цилиндр, в котором находился пар. Таким образом, если бы я стал пропускать пар сквозь эту трубку, и притом она была бы холодная, пар сгустился бы в воду; вот почему трубку раскаляют для проведения того опыта, который я сейчас собираюсь показать вам. Впускать пар в трубку я буду небольшими порциями, и когда вы увидите его выходящим из другого конца трубки, вы сможете сами судить, продолжает ли он оставаться паром.

Итак, пар обязательно превращается в воду, если понижать его температуру. Но этот газ, который поступает из раскаленной трубки и температуру которого я понизил, пропуская его сквозь воду, собирается в банке и не превращается в воду. Подвергну этот газ другому испытанию. (Банку приходится держать опрокинутой, иначе наше вещество из нее улетучится.) Я подношу огонек к отверстию банки, газ с легким шумом загорается. Отсюда понятно, что это не водяной пар — ведь пар тушит огонь, а гореть не может, — здесь же вы только что видели, что содержимое банки горело. Добыть это вещество можно как из воды, получающейся в пламени свечи, так и из воды любого другого происхождения. Когда этот газ получается в результате действия железа на водяной пар, железо приходит в состояние, весьма сходное с тем, в каком оказались эти железные опилки, когда они сгорели. Эта реакция делает железо более тяжелым, чем оно было раньше. В том случае, если железо, оставаясь в трубке, подвергается накаливанию и снова остывает без доступа воздуха или воды, его масса не меняется. Но когда сквозь эти железные стружки мы пропустили струю водяного пара, железо оказалось тяжелее, чем прежде: оно присоединило к себе нечто из пара и пропустило мимо

себя нечто другое, что мы и видим вот в этой банке. А теперь, раз у нас есть еще полная банка этого газа, я покажу вам очень интересную вещь. Газ этот — горючий, так что я мог бы сразу поджечь содержимое этой банки и доказать вам его горючесть; но я намерен показать вам и еще кое-что, если мне удастся. Дело в том, что полученное нами вещество очень легкое. Водяному пару свойственно конденсироваться, а это вещество не конденсируется, и ему свойственно уноситься в воздух. Возьмем другую банку, пустую, т. е. в которой нет ничего, кроме воздуха; исследуя ее содержимое зажженной лучинкой, можно убедиться, что в ней действительно ничего другого нет. Теперь я возьму банку, полную добытого нами газа, и буду обращаться с ним, как с легким веществом: держа обе банки опрокинутыми, я подведу одну под другую и переверну. Что же теперь содержится в той банке, где был газ, добытый из пара? Вы можете убедиться, что теперь там только воздух. А тут? Смотрите, тут находится горючее вещество, которое я таким образом перелил из той банки в эту. Газ сохранил свое качество, состояние и особенности — тем более он заслуживает нашего рассмотрения, поскольку он получен из свечи.

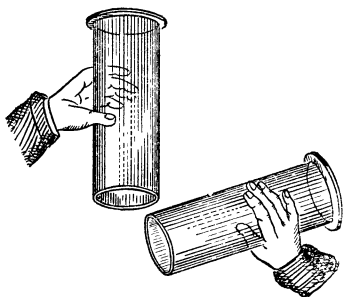


Рис. 15.

Это же вещество, которое мы только что добыли путем воздействия железа на пар или воду, можно получить и при помощи тех других веществ, которые, как вы уже видели, так энергично действуют на воду. Если взять кусочек калия, то, устроив все как следует, можно получить этот самый газ. Если же вместо калия взять кусочек цинка, то, исследовав его весьма тщательно, мы найдем, что основная причина, почему цинк не может подобно калию длительно действовать на воду, сводится к тому, что под действием воды цинк покрывается своего рода защитным слоем. Иначе говоря, если мы поместим в наш сосуд только

цинк и воду, они сами по себе не вступят во взаимодействие и результатов мы не получим. А что, если я смою растворением защитный слой, т. е. мешающее нам вещество? Для этого мне нужно немножко кислоты; и как только я это сделаю, я увижу, что цинк действует на воду точно так же, как железо, но при обычной температуре. Кислота не изменяется вовсе, за исключением того, что она соединяется с получающейся окисью цинка. Вот я наливаю немного кислоты в сосуд — результат такой, как будто она кипит ключом. От цинка отделяется в большом количестве что-то такое, что не является водяным паром. Вот полная банка этого газа. Вы

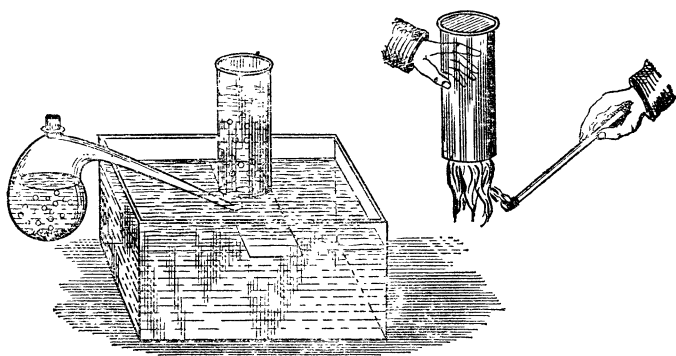


Рис. 16.

можете убедиться, что, пока я держу банку опрокинутой вверх дном, в ней остается как раз то же самое горючее вещество, какое я добывал в опыте с железной трубкой. То, что мы получаем из воды, — это то же вещество, которое содержится в свече.

Теперь давайте четко проследим связь между этими двумя фактами. Этот газ — водород, вещество, принадлежащее к тем, которые мы называем химическими элементами, потому что их нельзя разложить на составные части. Свеча — тело не элементарное, так как из нее мы можем получить углерод, а также и водород, — из нее или, по крайней мере, из той воды, которую она выделяет. Этот газ и назван водородом потому, что это элемент, который, в сочетании с другим элементом, порождает воду.

Мистер Андерсон уже успел получить несколько банок этого газа. Нам предстоит проделать с ним некоторые опыты, и я хочу показать вам, как их лучше всего делать. Я не боюсь вас этому научить: ведь я хочу, чтобы вы сами занимались опытами, но при том непременно условии, чтобы вы их проделывали внимательно и осторожно и с согласия ваших домашних. По мере того, как мы продвигаемся в изучении химии, нам приходится иметь дело с веществами, которые могут оказаться довольно вредными, если попадут не туда, куда надо. Так, кислоты, огонь и горючие вещества, которые мы здесь применяем, могли бы причинить вред, если ими пользоваться неосторожно. Если вы захотите добывать водород, вы легко можете получить его, заливая кусочки цинка кислотой — серной или соляной. Вот посмотрите на то, что в прежние времена называлось «философской свечой»: это бутылочка с пробкой, через которую проходит трубка. Я кладу в нее несколько мелких кусочков цинка. Этот приборчик послужит нам сейчас на пользу, так как я хочу показать вам, что вы у себя дома можете добывать водород и проделать с ним кое-какие опыты по собственному желанию. Сейчас я вас объясню, почему

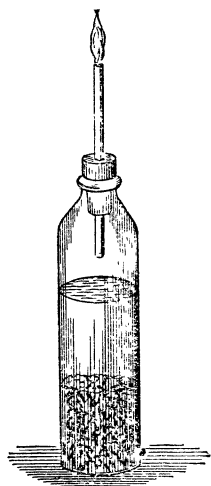


Рис. 17

я так аккуратно наливаю эту бутылочку почти до полна, но все-таки не совсем. Эта предосторожность вызывается тем, что получающийся газ (который, как вы видели, очень горюч) оказывается чрезвычайно взрывчатым в смеси с воздухом и мог бы надеяться бед, если бы вы поднесли огонь к концу этой трубочки, прежде чем весь воздух будет изгнан из оставшегося над водой пространства. Волью туда серную кислоту. Я взял очень мало цинка, а больше серной кислоты с водой, так как мне нужно, чтобы наш приборчик работал в течение некоторого времени. Поэтому я нарочно так и подбираю соотношение составных частей, чтобы газ вырабатывался в

надлежащем количестве — не слишком быстро и не слишком медленно.

Возьмем теперь стакан и подержим его верхним дном над концом трубки; я рассчитываю, что водород благодаря своей легкости некоторое время не улетучится из этого стакана. Сейчас мы проверим содержимое стакана — есть ли в нем водород. Думаю, что я не ошибусь, сказав, что мы уже его уловили. *(Лектор подносит к банке с водородом горящую лучинку.)* Ну, вот видите, так и есть. Теперь я поднесу лучинку к концу трубки. Вот водород и горит, вот наша «философская свеча». Вы можете сказать, что ее пламя слабое, никудышное, но оно такое

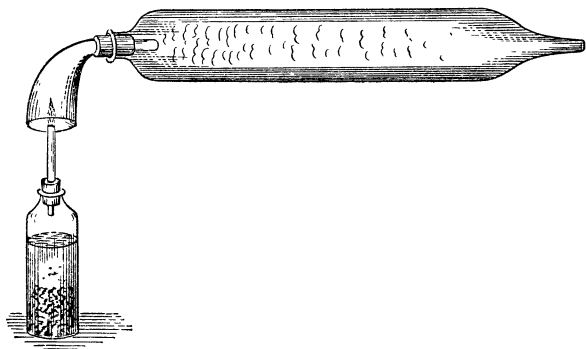


Рис. 18.

горячее, что вряд ли какое-нибудь обыкновенное пламя даст столько же тепла. Оно продолжает ровно гореть, и теперь я поставлю прибор так, чтобы мы могли исследовать то, что из этого пламени получится, и использовать добытые таким образом сведения. Поскольку свеча производит воду, а этот газ получается из воды, посмотрим, что он нам даст при сгорании, т. е. в том самом процессе, который претерпевала свеча, когда она горела в воздухе. Для этой цели я ставлю нашу склянку вот под этот аппарат, чтобы иметь возможность сконденсировать в нем все, что только сможет возникнуть от горения. Через короткое время вы увидите, как в этом цилиндре появится туман и по стенкам начнет стекать вода. Полученная из водородного пламени вода бу-

дет во всех испытаниях вести себя совершенно так же, как вода, полученная ранее: ведь общий принцип ее получения одинаков.

Водород — интересное вещество. Он такой легкий, что способен уносить предметы вверх; он гораздо легче воздуха, и я, пожалуй, смогу вам это показать на таком опыте, который кому-нибудь из вас, может быть, и удастся повторить, если вы наловчитесь. Вот наша банка — источник водорода, а вот мыльная вода. К банке я присоединяю резиновую трубку, на другом конце которой приспособлена курительная трубка. Опуская ее в мыльную воду, я могу выдувать мыльные пузыри, наполненные водородом. Смотрите, когда я надуваю пузыри своим дыханием, они не держатся в воздухе, а падают. Теперь заметьте разницу, когда я наполняю пузыри водородом. *(Тут лектор стал надувать мыльные пузыри водородом, и они унеслись под потолок зала.)* Видите, это вам показывает, до чего легок водород, раз он уносит с собой не только обыкновенный мыльный пузырь, но и свисающую с него каплю.

Можно еще убедительнее доказать легкость водорода — он способен поднимать пузыри куда крупнее этих: ведь в прежние времена водородом наполняли даже воздушные шары. Мистер Андерсон сейчас присоединит эту трубку к нашему источнику водорода, и у нас тут пойдет струя водорода, так что мы сможем надуть вот этот коллодиевый шар. Мне даже не приходится предварительно удалять из него весь воздух: я ведь знаю, что водород и так сможет унести его вверх. *(Тут были надуты и взлетели два шара: один — свободный, другой — на привязи.)* Вот и еще один, покрупнее, из тонкой пленки; мы его наполним и предоставим ему возможность подняться. Вы увидите, что все шары будут продолжать держаться наверху, пока газ из них не улетучится.

Каково же соотношение масс этих веществ — воды и водорода? Взгляните на таблицу. В качестве мер емкости я здесь взял пинту и кубический фут и против них проставил соответствующие цифры. Одна пинта водорода имеет массу $\frac{3}{4}$ грана — нашей мельчайшей единицы массы, а кубический фут его имеет массу $\frac{1}{12}$ унции, тогда как пинта воды имеет массу

3750 гран, а кубический фут воды имеет массу почти тысячу унций¹⁾). Таким образом, вы видите, сколь колоссальна разница между массой кубического фута воды и водорода.

Ни в процессе своего горения, ни потом в качестве продукта сгорания водород не дает никакого вещества, которое может стать твердым. Сгорая, он дает только воду. Холодный стакан над пламенем водорода запотевает, и немедленно выделяется заметное количество воды. При горении водорода не возникает ничего, кроме такой же самой воды, как та, которая на ваших глазах была получена из пламени свечи. Запомните важное обстоятельство: водород — это единственное вещество в природе, дающее при сгорании только воду.

А теперь нам надо постараться найти еще дополнительное доказательство того, что собой представляет вода, и ради этого я немного задержу вас, чтобы на следующую лекцию вы пришли более подготовленными к нашей теме. Мы можем так расположить цинк, — который, как вы убедились, действует на воду с помощью кислоты, — чтобы вся энергия получила там, где она нужна. За моей спиной стоит вольтов столб, и в конце сегодняшней лекции я покажу вам, на что он способен, чтобы вы знали, с чем мы будем иметь дело в следующий раз. Вот у меня в руках концы проводов, передающих ток от батареи; я их заставлю действовать на воду.

Мы уже убедились, какой силой сгорания обладают калий, цинк и железные опилки, но ни одно из этих веществ не проявляет такой энергии, как вот это. *(Тут лектор соединяет концы проводов, идущих от электрической батареи, и получается яркая вспышка.)* Этот свет получается благодаря реакции целых сорока цинковых кружочков, из которых состоит батарея. Это — энергия, которую я по желанию могу держать в руках с помощью этих проводов, хотя она погубила бы меня в один миг, если бы я, по недосмотру, приложил эту энергию к самому себе: ведь она отличается чрезвычайной интенсивностью, и количество энергии, которая здесь выделяется, пока

¹⁾ 1 пинта = 0,568 литра, 1 гран = 0,0648 г, 1 унция = 28,3 г. *(Прим. ред.)*

вы успеете досчитать до пяти (*лектор снова соединяет полюса и показывает электрический разряд*), так велико, что оно равняется энергии нескольких гроз, вместе взятых. А для того, чтобы вы могли убедиться в интенсивности этой энергии, я присоединю концы проводов, передающих энергию от батареи, к стальному напильнику, и, пожалуй, мне удастся таким образом сжечь напильник. Источником этой энергии является химическая реакция. Следующий раз я приложу эту энергию к воде и покажу вам, какие результаты у нас получатся.

ВОДОРОД В СВЕЧЕ. ВОДОРОД СГОРАЕТ И ПРЕВРАЩАЕТСЯ В ВОДУ. ДРУГАЯ СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ ВОДЫ — КИСЛОРОД

Я вижу, вам еще не надоела свеча, иначе вы бы не стали проявлять столько интереса к этой теме. Когда наша свеча горела, мы убедились, что она дает в точности такую же воду, к какой мы привыкли в повседневной жизни. При дальнейшем исследовании этой воды мы нашли в ней интересное вещество — водород. Это легкое вещество у нас сейчас вот здесь, в банке. Затем мы убедились в горючести водорода, а также в том, что он дает воду. Помнится также, что я познакомил вас вкратце с одним аппаратом, который я охарактеризовал как некий химический источник энергии или силы, устроенный так, чтобы по этим проводам передавать нам свою энергию. Тогда же я сказал, что употребляю эту энергию для того, чтобы разложить воду на части, — так сказать, разорвать ее на куски, — с целью узнать, что же, кроме водорода, содержится в воде. Ведь вы помните, когда мы пропускали водяной пар сквозь железную трубку, мы получали очень значительное количество газа, но отнюдь не столько по массе, сколько мы туда впускали воды в виде пара. Теперь нам предстоит выяснить, каково то, другое вещество, которое там имеется.

Давайте сделаем несколько опытов, чтобы вы могли разобраться, что собой представляет этот прибор, т. е. батарея, и для чего она употребляется. Прежде всего давайте приведем в соприкосновение некоторые известные нам вещества, а затем посмотрим, какое воздействие на них окажет батарея. Вот медь (обратите внимание на различные видоизменения, в которых она может существовать), а вот азотная кислота; вы увидите, что она, обладая вообще очень сильным химическим действием, будет весьма энергично действовать на медь. Вот она ис-

пускает красивые рыжие пары, но так как эти пары нам будут только мешать, мистер Андерсон некоторое время подержит колбу около вытяжной трубы, чтобы нам досталась польза и красота этого опыта без его неприятной стороны. Медь, которую я положил в эту колбу, растворится и при этом превратит кислоту с водой в голубую жидкость, содержащую медь и другие вещества; затем я покажу вам, какое действие окажет электрическая батарея на эту жидкость.

А пока мы проведем другой опыт, чтобы вы могли увидеть, каковы возможности этой батареи. Вот здесь вещество, которое для вас неотличимо от воды. Подобно воде оно содержит какие-то еще не известные нам вещества. Этим раствором некоей соли ¹⁾ я могу пропитать бумажку, а затем подвергну ее действию нашей батареи, и мы посмотрим, что получится. Произойдет несколько существенных явлений, которыми мы и воспользуемся для дальнейших рассуждений. Бумажку, пропитанную раствором, я кладу на лист станиоля,— во-первых, чтобы она не испачкалась, а во-вторых, чтобы удобнее было подводить электрическую энергию. Как вы видите, этот раствор не претерпевает никаких изменений ни от того, что мы его поместили на станиоль, ни от чего бы то ни было другого, с чем я до сих пор приводил его в соприкосновение; таким образом, он вполне пригоден для испытания действия батареи. Но сперва проверим, в порядке ли наша батарея, продолжает ли она находиться в том же состоянии, как прошлый раз. Это легко можно выяснить. Вот провода; я сближаю их концы, но пока еще энергии нет, потому что отключены те пути для электричества, которые мы называем электродами. *(На концах проводов происходит внезапная вспышка.)* Ага! Вот мистер Андерсон подал мне сигнал, что все готово. Прежде чем мы приступим к нашему опыту со смоченной бумажкой, я попрошу его снова разомкнуть цепь батареи, а здесь мы соединим полюса платиновой проволооч-

¹⁾ Под действием электрического тока из раствора уксуснокислого свинца на отрицательном полюсе выделяется свинец, а на положительном — бурая перекись свинца. Из азотнокислого серебра выделяются соответственно серебро и перекись серебра. *(Прим. В. Крукса.)*

кой. Если теперь окажется, что нам удастся раскалить током эту довольно длинную проволочку, мы сможем спокойно приступить к своему опыту со смоченной бумажкой. Сейчас вы увидите, какова энергия нашей батареи. (*Ассистент включает цепь, и соединительная проволочка раскаляется докрасна.*) Смотрите, как прекрасно передается энергия через эту проволочку, причем я нарочно взял тонкую, чтобы показать вам, с какой мощной силой мы имеем дело. Теперь, располагая этой энергией, мы ее применим к исследованию воды.

Вот два кусочка платины; если я их положу на эту бумажку (*смачивает бумажку раствором*), то никакой реакции, как видите, не произойдет; и если я их опять сниму, все останется, как было, без малейших изменений. Теперь следите за тем, что будет происходить: если я прикоснусь каким-нибудь из этих двух полюсов к платиновой пластинке, то по отдельности ни тот, ни другой не окажут ровно никакого действия. Однако если я сделаю так, чтобы они одновременно оба касались платины,—смотрите, что получается. (*Под обоими полюсами появилось по бурому пятну.*) Видите, какой результат; вы можете убедиться, что я из белого вещества выделил что-то бурое. Теперь я все это расположу несколько иначе... вот так... и один из полюсов приложу снизу к станиолю, подстилающему бумагу,—ну, теперь получается такое чудесное действие тока на бумагу, что надо попробовать, не удастся ли мне что-нибудь написать таким способом — своего рода телеграмму. (*Лектор вывел на бумаге концом одного из проводов слово «молодежь».*) Вот какие интересные результаты у нас получаются!

Вы видите, что из этого раствора мы извлекли нечто такое, о чем раньше и не подозревали. Теперь возьмем вот эту колбу у мистера Андерсона и посмотрим, что мы можем получить отсюда. Это ведь та жидкость, которую мы сегодня приготовили из меди и азотной кислоты за то время, пока занимались другими опытами. И хотя получена она в спешке и, может быть, опыт с ней у меня не вполне удастся, но я предпочитаю готовить ее не заранее, а у вас на глазах, чтобы вы могли видеть, что я делаю.

Теперь смотрите, что будет происходить. Пусть эти две платиновые пластинки служат полюсами батареи — я потом соединю их с проводами. Я собираюсь привести их в соприкосновение с раствором, как мы это только что делали на бумаге. Для нас все равно, находится ли раствор на бумаге или в банке, лишь бы мы подвели к нему полюса батареи. Если я погружу в раствор эти платиновые пластинки сами по себе (*лектор погружает их в жидкость, не соединяя с батареей*), то выну их такими же чистыми и белыми, какими их туда опустил. Однако когда мы привлечем к делу энергию батареи (*соединяет платиновые пластинки с батареей и вновь опускает их в раствор*), — смотрите, вот эта пластинка (*показывает пластинку*) сразу как будто превращается из платины в медь. Видите, она стала как медная, а вот та (*показывает другую*) совсем чистая, как была. Если же я возьму и поменяю полюса батареи, налет меди переместится с одной пластинки на другую: та пластинка, которая только что была покрыта медью, окажется чистой, а чистая покроется налетом меди. Итак, вы видите что ту самую медь, которую мы ввели в этот раствор, мы можем и извлечь из него при помощи батареи.

Отставим этот раствор и посмотрим, какое действие батарея будет оказывать на воду. Вот две платиновые пластинки, которые я сделаю полюсами батареи, а это — сосуд. Я могу разобрать его на части и показать вам его устройство. В эти две чашечки (*А и В*) я наливаю ртуть, так что она будет находиться в контакте с концами проводов, соединенных с платиновыми пластинками. В сосуд *С* я наливаю слегка подкисленную воду (кислота прибавляется только для облегчения реакции, и сама она при этом не претерпевает никаких изменений). В пробку сосуда *С* вставлена изогнутая стеклянная трубка *Д*; она подведена под банку *Е* и она, может быть, напомнит вам отводную трубку, присоединенную к трубке с железными стружками в том опыте с печью, который мы проделывали в прошлый раз. Вот я собрал прибор, и мы теперь попытаемся так или иначе воздействовать на воду. Прошлый раз я пропускал водяной пар сквозь трубку, раскаленную докрасна; теперь же я буду пропускать электрический ток сквозь

содержимое этого сосуда. Может статься, я при этом вскипачу воду; в таком случае я получу пар,— а вы знаете, что пар при остывании сгущается, и, таким образом, вы сможете судить, вскипятил я воду или нет. Но может статься, что, пропуская электрический ток сквозь воду, я не вскипачу ее, а получу какой-нибудь другой результат. Об этом вы сможете судить на основании опыта.

Один провод я присоединю к *A*, другой — к *B*, и вы скоро увидите, останется ли вода спокойной. Кажется, что вода всю кипит; но кипит ли она на

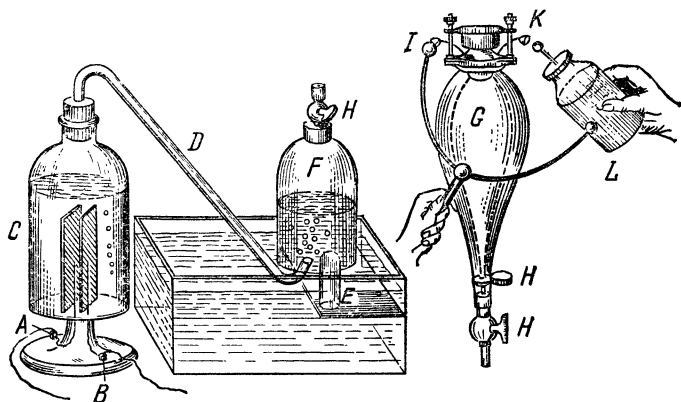


Рис. 19.

самом деле? Давайте проверим, что оттуда выходит — водяной пар или нет? Я думаю, вы скоро увидите, что банка наполнится парами, — если то, что поднимается пузырьками из воды, представляет собой пар. Но пар ли это? Ну, конечно, нет. Ведь вы же видите, что это нечто остается неизменным. Оно не превращается в воду, и потому это никак не может быть паром; это, очевидно, какой-то устойчивый газ. Так что же он собой представляет? Водород? Или что-нибудь другое? Что ж, испытаем его. Если это водород, он должен гореть. *(Тут лектор зажигает некоторое количество собравшегося газа, который сгорает со взрывом.)* Несомненно, это что-то горючее, но горит оно не так, как водород. Тот бы не дал такого шума; однако свет при горении этого газа был по цвету похож на водородное пламя.

Впрочем, этот газ способен гореть и без доступа воздуха. Вот почему я собрал еще один прибор, приспособленный для того, чтобы сделать опыт более тщательно. Вместо открытого сосуда я взял закрытый. Я хочу показать вам, что этот газ, каков бы он ни оказался, может гореть без воздуха; в этом отношении он отличается от свечи, которая без воздуха гореть не может. Прделаем мы это следующим образом. Вот стеклянный сосуд (G), в который впаяны две платиновые проволочки (I и K); к ним я могу подвести электрический ток. Мы можем соединить этот сосуд с воздушным насосом и выкачать из него воздух, а затем поставить его на банку, соединить с ней и впустить в него тот газ, который образовался в результате воздействия батареи на воду; можно сказать, что мы получили его, превратив в него воду, — я вправе употребить такое выражение и сказать, что мы действительно, по ходу нашего опыта, превратили воду в этот газ. Мы не только изменили ее состояние, но по-настоящему превратили воду в это газообразное вещество; и вся вода, которая была при этом опыте разложена, находится тут, в банке. Вот я привинчиваю к банке F сосуд G , тщательно соединяю их трубки кранами H, H, H , и если вы будете следить за уровнем воды в банке F , вы заметите, что он повысится, когда я открою краны (H, H, H), т. е. газ из этой банки поднимется в верхний сосуд. Теперь я закрою эти краны, так как сосуд G уже наполнился газом. Перенеся его для безопасности в эту камеру, я пропущу через него электрическую искру от лейденской банки L . Сосуд сейчас совершенно прозрачный, а после взрыва он затуманится. Стенки его настолько толсты, что звука слышно не будет. *(Через сосуд пропускается электрическая искра, поджигающая взрывчатую смесь.)* Вы видели этот яркий свет? Я снова привинчу сосуд G к банке F , открою краны, и вы убедитесь, что уровень воды в банке вторично повысится. *(Краны открываются.)* Как видите, эти газы исчезли. *(Лектор имеет в виду газы, первоначально собранные в банке и только что зажженные электрической искрой.)* В сосуде их место освободилось, и в сосуд вошла новая порция газа. Из вспыхнувших газов образовалась вода. Если мы все повторим *(делает*

опыт снова), у нас опять получится пустота, в чем вы убедитесь по подъему воды в банке *F*. После взрыва у меня всегда оказывается пустой сосуд, потому что тот пар или газ, в который мы при помощи батареи превратили воду в банке *C*, взрываясь от искры, превращается в воду. И действительно, через некоторое время вы увидите, как капельки воды будут понемногу стекать по стенкам этого верхнего сосуда и собираться на дне.

Здесь мы имели дело с водой совершенно безотносительно к атмосфере. Вода, содержащаяся в свече, образовалась в свое время при участии атмосферы. А таким путем, как сейчас, воду можно получать независимо от воздуха. Значит, в воде должно содержаться также и то другое вещество, которое горящая свеча берет из воздуха и которое, соединяясь с водородом, дает воду.

Вы только что видели, как один из полюсов нашей батареи с помощью вот этого провода притягивал к себе медь, извлекая ее из сосуда с голубым раствором. И, конечно, мы вправе задать себе такой вопрос: если батарея имеет такую власть над раствором металла, который мы сами можем приготовить и разложить, то не окажется ли возможным разложить воду на составные части и отделить их друг от друга? Посмотрим, что произойдет с водой вот в этом приборе, где металлические концы батареи далеко разнесены. Один провод я присоединяю тут, у *A*, другой — там, у *B*. На каждый полюс можно надеть по маленькой подставке с отверстием, для того чтобы надежно разделить газы, выделяющиеся на полюсах (ведь вы убедились, что из воды у нас получается не водяной пар, а газы).

Ну, вот, теперь провода присоединены надлежащим образом к сосуду с водой, и вы видите, как пузырьки идут вверх. Давайте соберем эти пузырьки и выясним, из чего они состоят. Вот стеклянный цилиндр *O*; я наполняю его водой, опрокидываю и ставлю его над полюсом *A*; другой цилиндр, *H*, я таким же образом помещаю над полюсом *B*. Теперь у нас сдвоенный прибор для получения газа на обоих полюсах. Оба эти цилиндра будут наполняться газом. Вот, пошло дело! Правый цилиндр *H* наполняется очень быстро, а левый, *O*, — не так быстро. Хотя я

и упустил несколько пузырьков, но видно, что реакция протекает равномерно; и если бы не то обстоятельство, что цилиндры не совсем одинаковые, вам было бы видно, что здесь в цилиндре *H*, газа вдвое больше, чем там, в цилиндре *O*. Оба эти газа бесцветны; они находятся над водой, не конденсируясь; они одинаковы по всем признакам — я хочу сказать, по всем видимым признакам; однако мы должны исследовать эти вещества и выяснить, что они собой представляют. Каждого газа у нас помногу, и нам легко делать с ними опыты.

Начнем с цилиндра *H*; я надеюсь, вы скоро поймете, что в нем содержится водород. Вспомните все свойства водорода: это легкий газ, хорошо сохраняющийся в опрокинутых сосудах, горящий бледным пламенем у края банки. Проверьте, удовлетворяет ли

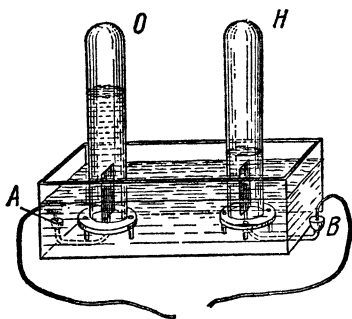


Рис. 20

наш газ всем этим условиям. Если это водород, он останется здесь, в цилиндре, который я держу опрокинутым. (*Лектор подносит к цилиндру горящую лучинку, и водород загорается.*) Ну, а что же находится в другом цилиндре? Вы знаете, что оба газа вместе дают взрывчатую смесь. Но что же представляет собой вторая составная часть воды и благодаря которой, следовательно, горит водород? Мы знаем, что вода, налитая нами в сосуд, состояла из совокупности этих двух веществ. Мы убедились, что одно из них — водород; но что же представляет собой второе вещество, которое до опыта находилось в воде, а теперь есть у нас в изолированном виде? Я введу в этот газ зажженную лучинку. Сам газ не будет гореть, но он заставит гореть лучинку (*вносит в газ зажженную лучинку*). Вот видите, как он усиливает горение дерева, как он заставляет лучинку гореть несравненно ярче, чем на воздухе. Итак, у нас здесь в чистом виде то второе вещество, которое содержится в воде и которое, когда вода образовалась при

горении свечи, было, очевидно, взято из окружающего воздуха. Как же мы его назовем? *А*, *В* или *С*? Давайте назовем его *О*, назовем его кислородом. Имя очень хорошее, характерно звучащее. Итак, значит, это кислород присутствовал в воде и составлял такую значительную часть ее.

Теперь мы сможем яснее понимать наши опыты и исследования: ведь когда мы все это хорошенько продумаем, мы сразу сообразим, почему свеча горит в воздухе. Разделив воду на составные части при помощи электричества, мы получаем два объема водорода и один объем вещества, сжигающего водород. Это соотношение объемов представлено на следующей схеме, где указаны также и массы этих составных частей. Отсюда видно, что кислород — второй составной элемент воды — вещество очень тяжелое по сравнению с водородом.

<i>Объем</i>			<i>Масса</i>
1 <i>Водород</i>	8 <i>Кислород</i>	<i>Кислород</i>	88,9
		<i>Водород</i>	11,1
	9 <i>Вода</i>		<hr/> 100,0

Пожалуй, теперь, после того как мы выделили кислород из воды, мне пора вам рассказать, как он получается в больших количествах. Кислород, как вы сразу же сообразите, есть и в атмосфере, иначе как же могла бы свеча давать при сгорании воду? Без кислорода это было бы совершенно невозможно. А можем ли мы добывать кислород из воздуха? Что же, есть такие способы, очень сложные и трудные, посредством которых можно получить кислород из воздуха, но мы воспользуемся другим, более простым способом.

Вот это вещество называется перекисью марганца. Минерал этот очень невзрачный, но очень полезный; если его раскалить докрасна, он выделяет, кислород.

Вот чугунная бутылка, в которую заложено некоторое количество этого вещества; в горлышко встав-

лена трубка. Мистер Андерсон поместит этот сосуд в огонь: ведь сосуд чугуный и может выдержать жар. А вот так называемый хлорат калия¹⁾. Это вещество в больших количествах производится для отбеливания пряжи и тканей, для использования в химии и медицине, для фейерверков и других целей. Я смешаю его с перекисью марганца (кстати, окислы меди и железа дали бы такие же результаты). Для получения кислорода из такой смеси достаточно будет нагреть сосуд до температуры гораздо более

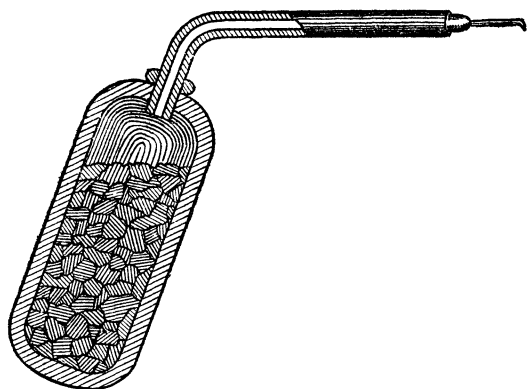


Рис. 21.

низкой, чем красное каление. Я не собираюсь добывать много кислорода — нам он нужен только для опытов. Однако вы сейчас убедитесь, что если я помещу в сосуд слишком мало смеси, то первая порция газа будет непригодна к употреблению, потому что она смешается с тем воздухом, который уже находится в сосуде. Как видите, нагревание на обычной спиртовке оказывается совершенно достаточным, чтобы получить кислород из смеси бертолетовой соли с перекисью марганца, так что у нас пойдут одновременно два процесса добывания кислорода. Смотрите, как обильно выделяется газ из этой маленькой порции смеси!

Исследуем этот газ и выясним, каковы его свойства. Вы видите, что здесь получается в точности

¹⁾ Бертолетова соль. (Прим. ред.)

такой же газ, как тот, который у нас получался в опыте с батареей: газ бесцветен, в воде не растворяется и по видимым свойствам похож на обычный атмосферный воздух. (Эту первую банку, содержащую смесь воздуха с первыми порциями выделяющегося кислорода, мы отставим подальше и приготовимся к проведению опытов надлежащим образом.) У кислорода, который мы добывали из воды при помощи электрической батареи, была ярко выражена способность заставлять гореть дерево, воск и т. п.; очевидно, мы можем рассчитывать и здесь найти то же самое свойство. Испытаем газ. Посмотрите, вот как горит лучинка в воздухе, а вот как она горит в этом газе. (*Лектор опускает лучинку в кислород.*) Видите, как она ярко и хорошо горит!

Вы также можете наблюдать еще вот что: этот газ — тяжелый; водород же поднялся бы вверх подобно воздушному шару или даже еще быстрее: ему не мешал бы вес оболочки. Нетрудно убедиться, что, хотя мы получили из воды вдвое больше по объему водорода, чем кислорода, отсюда еще не следует, чтобы у нас его было вдвое больше и по массе: ведь один газ тяжелый, а другой — очень легкий. Мы располагаем методами определения массы газов или воздуха, но я не буду здесь заниматься этим, а просто сообщу вам, какова масса водорода и кислорода. Пинта водорода имеет массу всего три четверти грамма, а тот же объем кислорода — около двенадцати граммов. Это очень большая разница. Масса кубического фута водорода — $\frac{1}{12}$ унции, а масса кубического фута кислорода — $1\frac{1}{3}$ унции. Продолжая таким образом, мы могли бы дойти до таких масс вещества, которые можно определить с помощью весов, и таких, которые мы можем исчислять на центнеры и тонны, в чем вы очень скоро убедитесь.

Так вот, вернемся к этой способности кислорода — поддерживать горение, — по которой мы можем его сравнивать с воздухом. Я возьму огарок свечи и на нем покажу вам это свойство. Вот наша свечка горит в воздухе, — а как же она будет гореть в кислороде? У меня тут есть банка с кислородом, и я накрою ею свечку, чтобы вы могли сравнить действие этого газа с действием воздуха. Ну, смотрите, Это похоже на тот яркий свет, который вы видели

у полюсов электрической батареи. Подумайте, до чего здесь сильна реакция! И тем не менее, по ходу всей этой реакции не возникает ничего такого, что бы не получалось при сгорании свечи в воздухе. В кислороде наблюдается такое же выделение воды и точно такие же явления, какие происходят, когда свеча горит в воздухе.

Теперь, познакомившись с этим новым веществом, мы можем исследовать его несколько подробнее, чтобы иметь уверенность в том, что мы в общем хорошо поняли, что собой представляет эта составная часть продуктов сгорания свечи. Способность этого вещества поддерживать горение изумительно велика. Возьмем, например, эту простейшую лампочку, являющуюся своего рода прототипом всякого рода ламп, применяемых для самых различных целей, — для маяков, для освещения предметов, рассматриваемых в микроскоп, и т. д. Если бы понадобилось заставить ее гореть очень ярко, вы бы сказали: «Раз свеча лучше горела в кислороде, то почему бы и лампе не гореть ярче!» Конечно, она будет лучше гореть. Сейчас я нарочно устрою так, чтобы эта лампочка у нас горела тускло, а затем мистер Андерсон передаст мне трубку, подводящую сюда кислород из банки, где он у нас накопился, и я поднесу ее к пламени лампочки... Вот пошел кислород! И какое получилось пламя! Ну, а что будет с лампой, если я прекращу подачу кислорода? *(Закрывается кран, и лампа опять становится тусклой.)* Поразительно, до чего мы усиливаем горение при помощи кислорода! Он влияет на горение не только водорода, углерода или свечи — он усиливает все виды горения вообще.

Посмотрим, например, как будет гореть в кислороде железо. Ведь вы уже видели, как слабо горит железо в воздухе. Вот банка с кислородом, а вот железная проволока; но даже если бы это был брус толщиной в руку, и то он горел бы совершенно так же, как проволока. К концу проволоки я сперва прикрепляю кусочек дерева и зажигаю его, а затем опускаю все вместе в банку. Смотрите! Дерево горит



Рис. 22

так, как оно и должно гореть в кислороде. А сейчас горение передастся железу... Вот загорелось и железо. Как ярко оно горит. Так оно и будет гореть долгое время. Если мы обеспечим подачу кислорода, железо будет продолжать гореть, пока не сгорит дотла.

Оставим теперь железо и обратимся к какому-нибудь другому веществу. Однако нам придется ограничиться немногими опытами, так как у нас не хватит времени для всех тех иллюстраций, которые вы могли бы посмотреть, будь у нас больше времени. Возьмем кусочек серы,— вы знаете, как сера горит на воздухе. Так вот, поместим ее в кислород, и вы

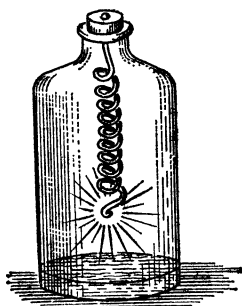


Рис. 23

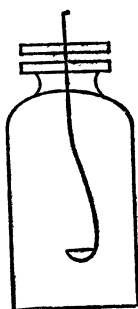


Рис. 24.

убедитесь, что все, что может гореть в воздухе, может гореть и в кислороде, и притом гораздо интенсивнее. Это наведет вас на мысль, что, пожалуй, сам атмосферный воздух обязан именно этому газу своей способностью поддерживать горение. Сера очень спокойно горит в кислороде, но вы же видите, что реакция здесь несравненно сильнее и интенсивнее, чем при горении серы в обыкновенном воздухе.

Теперь я покажу вам горение еще одного вещества — фосфора. Здесь условия более подходящие для этого опыта, чем у вас дома. Фосфор — вещество весьма горючее; а если так обстоит дело в воздухе, то что вы можете ожидать от горения фосфора в кислороде? Показывать вам его в полной силе я не собираюсь, так как есть риск, что при этом взорвется весь прибор. Даже и так банка может треснуть, несмотря на все мои предосторожности. Видите, как

горит фосфор на воздухе. Но какой изумительный свет он испускает при горении в кислороде! (*Лектор опускает зажженный фосфор в банку с кислородом.*) Вот вы тут видите, как отскакивают твердые частицы, благодаря которым это горение и оказывается таким ослепительно ярким.

До сих пор это свойство кислорода и вызываемое им яркое горение мы испытывали при помощи таких веществ, которые не содержатся в воде и в свече. Теперь нам надо еще рассмотреть это свойство в отношении к водороду. Помните, у нас произошел небольшой взрыв, когда мы дали возможность кислороду и водороду смешаться и гореть вместе. Вы помните также, что когда я сжигал кислород и водород вместе в одной струе, у нас получалось очень мало света, но очень много тепла. Теперь я собираюсь поджечь смесь кислорода и водорода в той же пропорции, в какой они содержатся в воде. Вот сосуд, в котором смешан один объем кислорода с двумя объемами водорода. Таким образом, эта смесь по своей природе не отличается от того газа, который мы сегодня получали при помощи электрической батареи. Здесь у нас чересчур много газа, чтобы сжечь его одновременно, поэтому я устроил приспособление, чтобы надувать этой смесью газов мыльные пузыри, а затем их поджигать и таким образом на опыте убедиться, как кислород поддерживает горение водорода. Прежде всего проверим, удастся ли нам надуть пузырь. Вот пошел газ. (*Через курительную трубку, присоединенную к банке со смесью, лектор пропускает газ в мыльную воду.*) Вот и пузырь. Я ловлю его на ладонь. Пожалуй, мои действия в этом опыте покажутся вам странными, но я просто хочу вам доказать, что не всегда можно доверяться шуму и звукам, а лучше держаться подлинных фактов. (*Лектор поджигает на своей ладони мыльный пузырь; происходит взрыв.*) Я боюсь поджечь пузырь прямо у трубки, потому что взрыв может проникнуть в банку — тогда она разлетелась бы на куски. По всем этим видимым явлениям и по звуку вы можете судить, что кислород с чрезвычайной готовностью и стремительностью соединяется с водородом.

Я надеюсь, что из всего сказанного выше вы теперь можете составить себе понятие о том, что

представляет собой вода по отношению к кислороду и к воздуху. Почему кусочек калия разлагает воду на составные части? Потому, что в воде он находит кислород. Я сейчас повторю этот опыт. Что выделяется в свободном состоянии, когда я кладу в воду калий? Выделяется водород, и он-то и горит, а кислород соединяется с калием. Так этот кусочек калия, разлагая всякую воду, в том числе хотя бы воду, полученную при горении свечи, забирает из нее кислород, в свое время забранный свечой из воздуха, и тем самым высвобождает водород. Даже если положить кусочек калия на лед, то, как это ни странно, лед подожжет калий. Я это вам покажу для того, чтобы расширить ваше представление обо всем этом и чтобы вы могли убедиться, до какой степени внешние обстоятельства влияют на результаты опыта. Ведь калий на льду, а получается какое-то подобие вулканического извержения!

Ну, теперь мы познакомились с этими необычайными и удивительными реакциями. На следующей лекции я покажу вам, что такие странные и опасные явления не угрожают нам не только при горении свечи, но и при горении светильного газа в уличных фонарях и топлива в наших каминах, если только мы будем соблюдать соответствующие правила, подсказанные нам природой.

КИСЛОРОД СОДЕРЖИТСЯ В ВОЗДУХЕ. ПРИРОДА АТМОСФЕРЫ. ЕЕ СВОЙСТВА. ДРУГИЕ ПРОДУКТЫ ГОРЕНИЯ СВЕЧИ. УГЛЕКИСЛОТА. ЕЕ СВОЙСТВА

Мы уже убедились, что водород и кислород можно получить из воды, полученной нами при горении свечи. Вы знаете, что водород берется из свечи, — а кислород, вы полагаете, берется из воздуха. Но в таком случае вы вправе спросить меня: «Почему же получается, что воздух и кислород не одинаково хорошо сжигают свечу?» Если у вас свежо в памяти, что произошло, когда я накрыл огарок банкой с кислородом, вы припомните, что тут горение шло совсем иначе, чем в воздухе. Так в чем же дело? Это очень существенный вопрос, и я приложу все старания, чтобы вы в нем разобрались; он непосредственно связан с вопросом о природе атмосферы и поэтому для нас чрезвычайно важен.

Мы располагаем несколькими способами распознавания кислорода, помимо простого сжигания в нем тех или иных веществ. Вы видели, как горит свеча в кислороде и как на воздухе; вы видели, как горит фосфор на воздухе и как в кислороде; вы видели, как горит в кислороде железо. Но, кроме этих способов распознавания кислорода, есть и другие, и я разберу некоторые из них, чтобы расширить ваш опыт и ваши знания. Вот, например, сосуд с кислородом. Я вам докажу присутствие этого газа. Я возьму тлеющую лучинку и опущу ее в кислород. Вы из прошлой беседы уже знаете, что произойдет: тлеющая лучинка, опущенная в банку, покажет вам, есть ли в ней кислород или нет. Есть! Мы это доказали горением. А вот и другой способ распознавания кислорода, очень интересный и полезный. Здесь у меня две банки, каждая из которых наполнена газом. Они разобщены пластинкой, чтобы эти газы не смешивались. Я убираю пластинку, и начинается перемешивание газов: каждый газ как бы вползает в банку, где

находится другой. «Так что же тут происходит? — спросите вы. — Они вместе не дают такого горения, какое мы наблюдали у свечи». Но вот взгляните, как присутствие кислорода можно распознать по его соединению с этим вторым веществом¹⁾. Какой великолепно окрашенный газ получился. Он сигнализирует мне о присутствии кислорода. Тот же опыт можно проделать и путем смешения этого пробного газа с обыкновенным воздухом. Вот банка с воздухом — таким, в котором стала бы гореть свеча, — а вот банка с этим пробным газом. Я даю им возможность смешиваться над водой, и вот результат: содержимое испытательной банки втекает в банку с воздухом, и вы видите, что происходит точно такая же реакция. Это доказывает, что в воздухе есть кислород, т. е. то самое вещество, которое мы уже добывали из воды, полученной при сгорании свечи. Но все-таки почему же свеча не так хорошо горит в воздухе, как в кислороде? Сейчас мы к этому перейдем. Вот у меня две банки; они наполнены газом до одинакового уровня, и на вид они одинаковы. По правде говоря, я сейчас даже не знаю, которая из этих банок содержит кислород, а которая — воздух, хотя мне известно, что их заранее наполнили именно этими газами. Но у нас есть пробный газ, и я сейчас выясню, есть ли между содержимым обеих банок какая-либо разница в способности вызывать покраснение этого газа. Я впускаю пробный газ в одну из банок. Следите, что происходит. Как видите, покраснение есть, — стало быть, здесь кислород. Испытаем теперь вторую банку. Как видите, покраснение не так отчетливо, как в первой банке. Далее происходит любопытнейшая вещь: если смесь двух газов во второй банке хорошенько взболтать с водой, красный газ поглотится; если впустить еще порцию испытательного газа и опять взболтать банку, поглощение красного газа повторится; и так можно продолжать, пока будет оставаться кислород, без которого невозможно это явление. Если я введу воздух, дело не изменится; но как только я введу воду, красный газ исчезнет; и я могу продолжать,

¹⁾ Бесцветная окись азота, соединяясь с кислородом, образует бурные пары двуокиси азота. (Прим. ред.)

таким образом, впускать все больше и больше испытательного газа, пока у меня в банке не останется нечто такое, что уже не будет окрашиваться от прибавления того вещества, которое окрашивало воздух и кислород. В чем же дело? Вы понимаете, что в воздухе, кроме кислорода, содержится еще что-то, и оно-то и остается в остатке. Сейчас я впущу в банку еще немного воздуха, и если он покраснеет, вы будете знать, что там еще оставалось какое-то количество красящего газа и что, стало быть, не его нехваткой объясняется то, что воздух израсходовался не весь.

Это поможет вам понять то, что я теперь скажу. Вы видели, что когда я сжег фосфор в банке, и получившийся из фосфора и кислорода дым осел, изрядное количество газа осталось неизрасходованным, подобно тому как наш пробный газ оставил что-то незатронутым. И действительно, после реакции остался вот этот газ, который не изменяется ни от фосфора, ни от красящего газа. Этот газ — не кислород, но, однако, это составная часть атмосферы.

Таков один способ разделения воздуха на те два вещества, из которых он состоит, т. е. на кислород, сжигающий наши свечи, фосфор и все прочее, и на вот это другое вещество — азот, в котором они не горят. Этой второй составной части в воздухе гораздо больше, чем кислорода. Этот газ оказывается очень интересным веществом, если заняться его исследованием, но вы, может быть, скажете, что он совсем не интересный. В некоторых отношениях это так: ведь он не проявляет никаких блестящих эффектов горения. Если его испытывать зажженной лучинкой, как я испытывал кислород и водород, то он не будет ни сам гореть, как водород, ни заставлять гореть лучинку, подобно кислороду. Как бы я его ни испытывал, я не смогу от него добиться ни того, ни другого: он и не загорается и не дает гореть лучинке — он гасит горение любого вещества. При обычных условиях ничто не может в нем гореть. У него нет ни запаха, ни вкуса; это не кислота и не щелочь; по отношению ко всем нашим внешним чувствам он проявляет полное безразличие. И вы могли бы сказать: «Это ничто, оно не заслуживает внимания химии; чего ради оно существует в воздухе?»

И тут-то нам пригодится умение делать выводы из опыта. Предположим, что вместо азота или смеси азота с кислородом, наша атмосфера состояла бы из чистого кислорода,— что бы с нами случилось? Вы прекрасно знаете, что кусок железа, зажженный в банке с кислородом, сгорает дотла. При виде топящегося камина вообразите, что случилось бы с его решеткой, если бы вся атмосфера состояла из одного только кислорода: чугунная решетка стала бы гореть куда сильнее, чем каменный уголь, которым мы топим камин. Огонь в топке паровоза — это было бы все равно, что огонь на складе горючего, если бы атмосфера состояла из кислорода. Азот разбавляет кислород, умеряет его действие и делает его полезным для нас. К тому же азот уносит с собой весь тот чад и газы, которые, как вы видели, возникают при горении свечи, рассеивает их по всей атмосфере и переносит их туда, где они оказываются нужны для поддержания жизни растений, а тем самым и человека. Таким образом, азот выполняет в высшей степени важную работу, хотя вы, ознакомившись с ним, говорите: «Ну, это совсем ничемная штука». В своем обычном состоянии азот представляет собой неактивный элемент: никакое воздействие, кроме сильнейшего электрического разряда, да и то только в очень слабой степени, не может заставить азот непосредственно вступить в соединение с другим элементом атмосферы или с иными окружающими веществами. Это вещество совершенно индифферентное, т. е., иначе говоря, безразличное,— а тем самым и безопасное.

Но прежде чем подвести вас к этому выводу, я должен сперва кое-что рассказать вам о самой атмосфере. Вот таблица, показывающая процентный состав атмосферного воздуха:

	по объему	по массе
Кислород	20	22,3
Азот	80	77,7
	100	100,0

Она правильно отражает относительные количества кислорода и азота в атмосфере. Отсюда мы видим, что в пяти пинтах воздуха содержится всего одна

пинта кислорода на четыре пинты азота; иначе говоря, по объему азот составляет $\frac{4}{5}$ атмосферного воздуха. Все это количество азота уходит на то, чтобы разбавить кислород и смягчить его действие; в результате и свеча надлежащим образом снабжается горючим и наши легкие могут дышать воздухом без вреда для здоровья. Ведь для нас не менее важно получать кислород для дыхания в надлежащем виде, чем иметь соответствующий состав атмосферы для горения угля в камине или свечи.

Теперь я сообщу вам массы этих газов. Пинта азота имеет массу $10\frac{4}{10}$ грана, а кубический фут — $1\frac{1}{6}$ унции. Такова масса азота. Кислород тяжелее: пинта его имеет массу $11\frac{9}{10}$ грана, а кубический фут — $1\frac{1}{5}$ унции.

Вы уже несколько раз задавали мне вопрос: «Как определяют массу газов?», и я очень рад, что этот вопрос вас заинтересовал. Сейчас я вам покажу, это дело очень простое и легкое. Вот весы, а вот медная бутылка, аккуратно выточенная на токарном станке и при всей своей прочности имеющая наименьшую возможную массу. Она совершенно непроницаема для воздуха и снабжена краном. Сейчас кран открыт, и поэтому бутылка наполнена воздухом. Весы эти очень точные, и бутылка в ее теперешнем состоянии уравновешена на них гирями на другой чашке. А вот и насос, при помощи которого мы можем нагнетать воздух в эту бутылку. Сейчас мы накачаем в нее известное количество воздуха, объем которого будет измеряться емкостью насоса. *(Накачивается двадцать таких объемов.)* Теперь мы закроем кран и положим бутылку обратно на весы. Смотрите, как чашка весов опустилась: бутылка стала гораздо тяжелее, чем прежде. Емкость бутылки у нас не изменилась, — значит, воздух в том же объеме стал тяжелее. Благодаря чему? Благодаря тому воздуху, который мы в нее накачали насосом. вдобавок к имевшемуся воздуху. Сейчас мы выпустим воздух вот в ту банку и предоставим ему возможность вернуться в прежнее состояние. Все, что мне для этого нужно сделать, сводится к тому, чтобы плотно соединить медную бутылку с банкой и открыть краны, — и вот вы видите, у нас тут собран весь тот объем воздуха, который я только что

накачал в бутылку двадцатью взмахами насоса. Чтобы удостовериться, что у нас по ходу этого опыта не произошло никакой ошибки, мы опять положим бутылку на весы. Если она теперь снова окажется уравновешена первоначальной нагрузкой, мы сможем быть совершенно уверены, что мы правильно проделали опыт. Да, она уравновесилась. Вот таким образом мы и можем узнать массу тех добавочных порций воздуха, которые мы в нее накачивали. Так

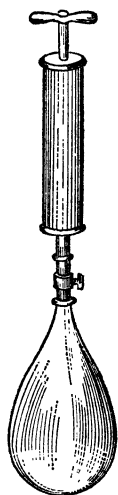


Рис. 25.

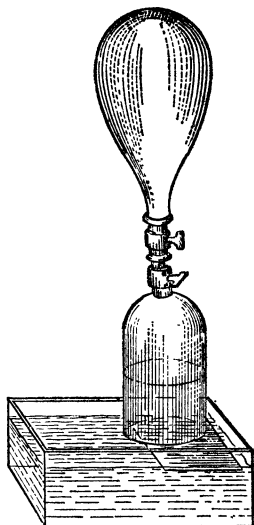


Рис. 26.

можно установить, что кубический фут воздуха имеет массу $1\frac{1}{5}$ унции. Но этот скромный опыт никак не сможет довести до вашего сознания всю сущность полученного результата. Поразительно, насколько цифры возрастают, когда мы переходим к более крупным объемам. Вот такое количество воздуха (кубический фут) имеет массу $1\frac{1}{5}$ унции. А как вы думаете, какова масса воздуха вон в том ящике наверху (я его специально заказывал для этих расчетов)? Воздух в нем имеет массу целый фунт. Массу воздуха в этом зале я вычислил, но эту цифру вы вряд ли угадали бы: это больше тонны. Вот как

быстро возрастают массы, и вот как важно присутствие атмосферы и содержащихся в ней кислорода и азота, а также работа, которую она производит, перемещая предметы с места на место и унося вредные испарения.

Дав вам эти несколько примеров, относящихся к весомости воздуха, я перейду теперь к показу некоторых следствий из этого факта. Вам обязательно надо с ними познакомиться, иначе вам многое останется неясным. Помните ли вы такой опыт? Случалось ли вам когда-нибудь его видеть? Для него берется насос, несколько похожий на тот, которым я только что накачивал воздух в медную бутылку.

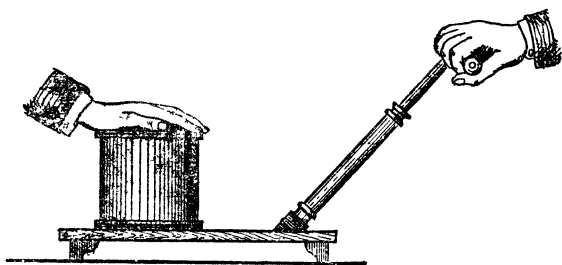


Рис. 27.

Его нужно расположить так, чтобы я мог наложить ладонь на его отверстие. В воздухе моя рука передвигается так легко, как будто она не чувствует никакого сопротивления. Как бы я ни двигался, мне почти не удастся добиться такой скорости, чтобы я ощутил большое сопротивление воздуха этому движению. Но когда я кладу руку сюда (на цилиндр воздушного насоса, из которого затем выкачивается воздух), вы видите, что происходит. Почему моя ладонь пристала к этому месту так плотно, что за ней передвигается и весь насос? Смотрите! Почему мне еле-еле удастся освободить руку? В чем дело? Дело в весе воздуха — того воздуха, который надо мной.

А вот и другой опыт, который, я думаю, поможет вам еще лучше разобраться в этом вопросе. Верх этой банки затянут бычьим пузырем, и когда из нее будет выкачиваться воздух, вы увидите в несколько измененном виде тот же эффект, что и в предыдущем

опыте. Сейчас верх совершенно плоский, но стоит мне сделать хотя бы очень слабое движение насосом, и поглядите, как пузырь опустился, как он прогнулся внутрь. Вы сейчас увидите, как пузырь будет втягиваться все больше и больше внутрь банки, пока, наконец, он не будет окончательно вдавлен и прорван силой давящей на него атмосферы. (*Пузырь лопнул с громким хлопком.*) Так вот, это произошло всецело от силы, с которой воздух давил на пузырь, и вам нетрудно будет понять, как тут обстоит дело.

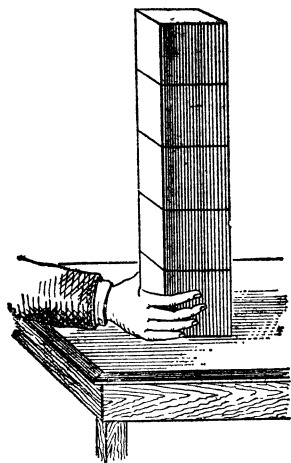


Рис. 28.

Посмотрите на этот столбик из пяти кубиков: таким же образом расположены друг над другом и частицы, нагроможденные в атмосфере. Вам вполне понятно, что четыре верхних кубика покоятся на пятом, нижнем, и что если я его выну, все остальные опустятся. Так же обстоит дело и в атмосфере: верхние слои воздуха поддерживаются нижними, а когда из-под них выкачивается воздух, происходят изменения, которые вы наблюда-

ли, когда моя ладонь лежала на цилиндре насоса и в опыте с бычьим пузырем, а сейчас увидите еще лучше.

Эту банку я завязал резиновой перепонкой. Сейчас я буду выкачивать из нее воздух, а вы следите за резиной, отделяющей воздух внизу от воздуха наверху. Вы увидите, как будет проявляться атмосферное давление по мере выкачивания воздуха из банки. Смотрите, как втягивается резина — ведь я могу даже руку опустить в банку, — и все это только в результате мощного, колоссального воздействия воздуха над нами. Как четко проявляется здесь этот интересный факт!

После конца сегодняшней лекции вы сможете помериться силами, пытаясь разнять вот этот прибор.

Он состоит из двух полых медных полушарий, плотно пригнанных друг к другу и снабженных трубкой с краном для выкачивания воздуха. Пока внутри имеется воздух, полушария легко разнимаются; однако вы убедитесь, что, когда мы выкачиваем воздух через эту трубку с краном и вы будете их тянуть — один в одну сторону, другой в другую, — никому из вас не удастся разнять полушария. Каждому квадратному дюйму площади сечения этого сосуда, когда воздух выкачан, приходится выдерживать около пятнадцати фунтов. Потом я предоставлю вам возможность испытать свои силы — попробуйте преодолеть это давление воздуха.

Вот еще интересная вещица — присоска, забава мальчиков, но только усовершенствованная для научных целей. Ведь у вас, у молодежи, полное право использовать игрушки для целей науки, тем более, что по нынешним временам из науки стали делать забаву. Вот присоска, только она не кожаная, а резиновая. Я приклепываю ее к поверхности стола, и вы сразу видите, что она к нему прочно прилипла. А почему она так держится? Ее можно передвигать, она легко скользит с места на место, — но, как ни старайся ее поднять, она, пожалуй, скорее стол за собой потянет, чем оторвется от него. Снять ее со стола удастся только тогда, когда ее сдвинешь к самому краю, чтобы впустить под нее воздух. Прижимает ее к поверхности стола только давление воздуха над ней. Вот и еще одна присоска — прижимаем их друг к другу, и вы увидите, как прочно они пристанут. Мы можем употребить их, так сказать, и по прямому назначению, т. е. прилепить к окнам и стенам, где они продержатся несколько часов и пригодятся на то, чтобы на них вешать какие-нибудь предметы.

Однако мне надо показать вам не только игрушки, но и опыты, которые вы сможете повторить дома. Наглядно доказать существование атмосферного давления можно таким изящным опытом. Вот стакан воды. Что, если я попрошу вас ухитриться так опрокинуть его вверх дном, чтобы вода при этом не пролилась? И не потому, что вы подставите руку, а исключительно благодаря атмосферному давлению.

Возьмите рюмку, налитую водой до краев или до половины, и прикройте ее какой-нибудь картонкой; опрокиньте ее и посмотрите, что произойдет с картонкой и с водой. Воздух не сможет проникнуть в рюмку, так как его не впустит вода из-за капиллярного притяжения к краям рюмки.

Я думаю, что все это даст вам правильное представление о том, что воздух — это не пустота, а нечто вещественное. Узнав от меня, что вон тот ящик вмещает фунт воздуха, а этот зал — больше тонны, вы поверите, что воздух — это не просто пустота. Прделаем еще один опыт, чтобы убедить вас в том, что воздух действительно может оказывать сопротивление. Вы ведь знаете, какое великолепное духовое ружье можно легко устроить из гусяного пера, или трубочки, или чего-нибудь в этом роде. Взяв ломтик яблока или картофеля, надо вырезать из него маленький кусочек под размер трубки — вот так — и протолкнуть его насквозь до самого конца, как поршень. Вставив вторую пробку, мы изолируем воздух в трубке полностью. И теперь окажется, что протолкнуть вторую пробку вплотную к первой совершенно невозможно. Сжать воздух до некоторой степени можно, но если мы будем продолжать давить на вторую пробку, то она еще не успеет приблизиться к первой, как сжатый воздух вытолкнет ту из трубки, и притом с силой, напоминающей действие пороха — ведь оно тоже связано с той причиной, которую мы здесь наблюдали.

На днях я видел опыт, который мне очень понравился, так как он может быть использован на наших занятиях. (Прежде чем к нему приступить, мне бы следовало минут пять помолчать, так как успех этого опыта зависит от моих легких.) Я надеюсь, что мне удастся силой своего дыхания, т. е. надлежащим применением воздуха, поднять яйцо, стоящее в одной рюмке, и перебросить его в другую. За успех я не ручаюсь: ведь я сейчас слишком долго говорил. (*Лектор успешно прodelывает опыт.*) Воздух, который я выдуваю, проходит между яйцом и стенкой рюмки; под яйцом возникает напор воздуха, который оказывается в состоянии поднять тяжелый предмет: ведь для воздуха яйцо — это действительно тяжелый предмет. Во всяком случае, если вы захо-

тите сами проделать этот опыт, лучше возьмите крутое яйцо, и тогда можно будет без риска попытаться осторожно переместить его из одной рюмки в другую силой своего дыхания.

Хотя мы изрядно долго задержались на вопросе о массе воздуха, мне хотелось бы упомянуть еще об одном его свойстве. В опыте с духовым ружьем вы убедились, что прежде чем вылетела первая картофельная пробка, мне удалось вдвинуть вторую на полдюйма или даже больше. А это зависит от замечательного свойства воздуха — от его упругости. С ней вы можете познакомиться на следующем опыте. Возьмем оболочку, непроницаемую для воздуха, но способную растягиваться и сжиматься, а тем самым и давать нам возможность судить об упругости воздуха, содержащегося в ней. Сейчас в ней воздуха немного, и мы плотно завяжем горлышко, чтобы он не мог сообщаться с окружающим воздухом. До сих пор мы все делали так, чтобы показать давление атмосферы на поверхность предметов, а теперь, наоборот, мы избавимся от атмосферного давления. Для этого мы поместим нашу оболочку под колокол воздушного насоса, из-под которого мы будем выкачивать воздух. На ваших глазах эта оболочка расправится, надуется, как воздушный шар, и будет становиться все больше и больше, пока не заполнит собой весь колокол. Но как только я опять открою наружному воздуху доступ в колокол, наш шар сейчас же опадет. Вот вам наглядное доказательство этого удивительного свойства воздуха — его упругости, т. е. чрезвычайно большой способности сжиматься и расширяться. Это свойство имеет очень существенное значение и во многом определяет роль воздуха в природе.

Перейдем теперь к другому весьма важному разделу нашей темы. Припомните, что, когда мы занимались горением свечи, мы выяснили, что при этом образуются различные продукты горения. В числе этих продуктов — сажа, вода и еще что-то, до сих пор еще не исследованное нами. Воду мы собирали, а другим веществам предоставляли рассеиваться в воздухе. Займемся теперь исследованием некоторых из этих продуктов.

В этом деле нам поможет, в частности, следующий опыт. Вот здесь мы поставим горящую свечу и накроем ее стеклянным колпаком с отводной трубкой наверху. Свеча будет продолжать гореть, так как воздух свободно проходит вниз и наверху. Прежде всего вы видите, что колпак делается влажным; вы уже знаете, в чем тут дело: это вода, получившаяся при горении свечи от действия воздуха на водород. Но, помимо этого, что-то выходит из отводной трубки наверху; это не водяной пар, это не

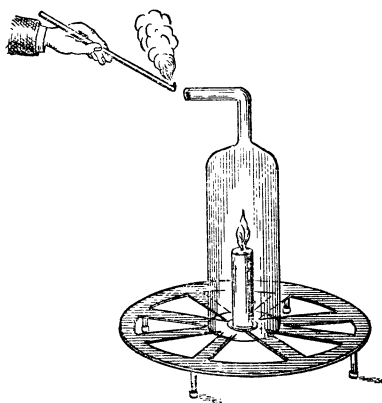


Рис. 29.

вода, это вещество не конденсируется, и к тому же оно отличается особыми свойствами. Вы видите, что струе, выходящей из трубки, почти удается погасить огонек, который я к нему подношу; если я буду держать зажженную лучинку прямо в выходящей струе, она совсем погаснет. «Это в порядке вещей», — скажете вы; очевидно, это потому вас не удивляет, что азот не поддерживает

горения и должен гасить пламя, раз свеча в нем не горит. Но разве тут нет ничего, кроме азота?

Здесь мне придется забежать вперед: на основе имеющихся у меня знаний я постараюсь вооружить вас научными методами исследования таких газов и выяснения этих вопросов вообще.

Возьмем пустую банку и будем держать ее над отводной трубкой, чтобы в ней собирались продукты горения свечи. Нам нетрудно будет обнаружить, что в этой банке собрался не просто воздух, а газ, обладающий еще и другими свойствами. Для этого я беру немного негашеной извести, заливаю ее самой обыкновенной водой и хорошенько размешиваю. Вложив в воронку кружок фильтровальной бумаги, я фильтрую через нее эту смесь, и в подставленную колбу стекает чистая, прозрачная вода. Такой воды у меня

сколько угодно в другом сосуде, но для убедительности я предпочитаю употреблять в дальнейших опытах именно ту известковую воду, которая приготовлена на ваших глазах. Если налить немного этой чистой, прозрачной воды в ту банку, куда мы собрали газ, идущий от горящей свечи, вы сейчас же увидите, как произойдет перемена... Видите, вода совсем побелела! Обратите внимание, что от обыкновенного воздуха это не получится. Вот сосуд с воздухом; я в него наливаю известковой воды, но ни кислород, ни азот и ничто другое, присутствующее в этом количестве воздуха, не вызовет никаких перемен в известковой воде; как бы мы ее ни взбалтывали вместе с тем обыкновенным воздухом, который содержится в этом сосуде, она остается совершенно прозрачной. Однако если взять эту колбу с известковой водой и обеспечить ей соприкосновение со всей массой продуктов горения свечи, она быстро приобретет молочно-белый оттенок.

Это белое, похожее на мел вещество в воде, состоит из извести, которую мы взяли для приготовления известковой воды, в соединении с чем-то, появившимся из свечи, т. е. как раз с тем продуктом, который мы пытаемся уловить и о котором я сегодня буду вам рассказывать. Это вещество становится для нас видимым благодаря его реакции на известковую воду, где проявляется его отличие от кислорода, азота, от водяного пара; это — новое для нас вещество, получаемое из свечи. Поэтому, чтобы как следует разобраться в горении свечи, нам следует еще узнать, как и из чего получается этот белый порошок. Можно доказать, что это действительно мел; если положить в реторту влажный мел и раскалить его докрасна, из него выделится как раз то самое вещество, что и из горящей свечи.

Существует и другой, лучший способ получения этого вещества, и притом в больших количествах, если хотят выяснить, каковы его основные свойства. Это вещество, оказывается, в изобилии есть там, где вам не пришлось бы в голову подозревать его присутствие. Этот газ, выделяющийся при горении свечи и называемый углекислым газом, в огромных количествах содержится во всех известняках, в меле, в раковинах, в кораллах. Это интересная составная

часть воздуха находится в связанном виде во всех этих камнях; обнаружив это вещество в таких горных породах, как мрамор, мел и т. п., химик д-р Блэк ¹⁾ назвал его «связанным воздухом», так как оно находится уже не в газообразном состоянии, а вошло в состав твердого тела.

Этот газ легко получить из мрамора. На дне вот этой банки немного соляной кислоты; горящая лучинка, опущенная в банку, покажет, что в ней до самого дна нет ничего, кроме обыкновенного воздуха. Вот кусочки мрамора — прекрасного высокосортного мрамора; я их бросаю в банку с кислотой и получается нечто вроде бурного кипения. Однако выделяется при этом не водяной пар, а какой-то газ; и если я сейчас испытаю содержимое банки горячей лучинкой, я получу точно такой же результат, как от газа, вышедшего из отводной трубки над горячей свечой. Не только действие здесь то же самое, но и вызвано оно точно таким же веществом, какое выделялось из свечи; этим способом мы можем получать углекислый газ в больших количествах: ведь сейчас наша банка уже почти наполнилась.

Мы можем также убедиться, что этот газ содержится не только в мраморе. Вот большая банка с водой, в которую я насыпал мелу (такого сорта, какой можно найти в продаже для штукатурных работ, т. е. промытого в воде и очищенного от грубых частиц). Вот крепкая серная кислота; именно эта кислота вам потребуется, если вы дома захотите повторить наши опыты (обратите внимание на то, что при действии этой кислоты на известняк и подобные породы получается нерастворимый осадок, тогда как соляная кислота дает вещество растворимое, от которого вода так не густеет). Вас может заинтересовать вопрос, почему я проделываю этот опыт в такой посуде. Для того чтобы вы могли повторить в небольшом масштабе то, что я здесь делаю в крупном. Здесь вы увидите то же явление, что и раньше: в этой большой банке я добываю углекислый газ, по своей природе и свойствам одинаковый с тем, который получался у нас при горении свечи в атмосферном воздухе. И как бы ни различались между

¹⁾ Джозеф Блэк (1728—1799) — шотландский ученый, (Прим. ред.)

собой эти два способа получения углекислого газа, вы к концу нашего исследования убедитесь, что он оказывается во всех отношениях одинаков, независимо от способа получения.

Перейдем к следующему опыту для выяснения природы этого газа. Вот здесь полная банка этого газа — испытаем его горением, т. е. так, как мы уже испытывали целый ряд других газов. Как видите, он и сам не горит и не поддерживает горения. Далее, растворимость его в воде незначительна: ведь, как вы видели, его легко собирать над водой. Кроме того, вы знаете, что он дает характерную реакцию с известковой водой, которая от него белеет; и наконец, углекислый газ входит как одна из составных частей в углекислую известь, т. е. известняк.

Теперь я покажу вам, что углекислый газ все-таки растворяется в воде, хоть и незначительно, и в этом отношении, стало быть, отличается от кислорода и водорода. Вот прибор для получения такого раствора. В нижней части этого прибора находятся мрамор и кислота, а в верхней — холодная вода. Клапаны устроены так, чтобы газ мог проходить из нижней части сосуда в верхнюю. Сейчас я пущу мой аппарат в действие... Видите, как сквозь воду поднимаются пузырьки газа. Аппарат работал у нас со вчерашнего вечера, и мы, несомненно, обнаружим, что сколько-нибудь газа уже успело раствориться. Я открываю кран, отливаю этой воды в стакан и пробую ее на вкус. Да, она кисловатая — в ней есть углекислота. Если ее слить с известковой водой, получится характерное побеление, доказывающее присутствие углекислоты.

Углекислый газ — очень тяжелый, он тяжелее атмосферного воздуха. В таблице приводятся массы углекислого газа и некоторых других газов, которые мы с вами исследовали.

	Пинта	Кубич. фут
Водород	3/4 грана	1/12 унции
Кислород	11 9/10 »	1 1/3 »
Азот	10 4/10 »	1 1/6 »
Воздух	10 7/10 »	1 1/5 »
Углекислый газ	16 1/3 »	1 9/10 »

Тяжесть углекислого газа можно показать на целом ряде опытов. Прежде всего возьмем, например,

высокий стакан, в котором нет ничего, кроме воздуха, и попытаемся налить в него немного углекислого газа из этого сосуда. По виду нельзя судить, удалось ли мне это или нет; но у нас есть способ проверки

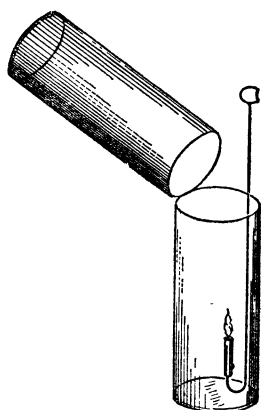


Рис 30

(опускает в стакан горящую свечку; она гаснет). Вот видите, газ действительно перелился сюда. И если бы я испытал его известковой водой, это испытание дало бы тот же результат. У нас получился как бы колодец с углекислым газом на дне (к сожалению, с такими колодцами иногда приходится иметь дело в действительности); опустим в него вот это миниатюрное ведерко. Если на дне сосуда есть углекислый газ, его можно зачерпнуть этим ведром и извлечь из «колодца». Сделаем проверку

лучинкой... Да, смотрите, ведрок полно углекислого газа.

Вот еще один опыт, показывающий, что углекислый газ тяжелее воздуха. На весах уравновешена

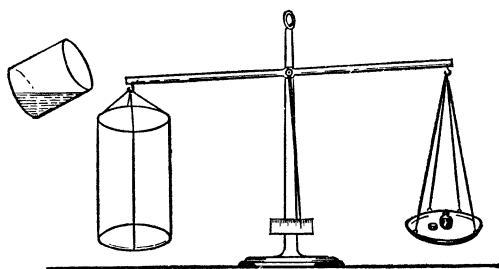


Рис 31

банка; сейчас в ней только воздух. Когда я в нее наливаю углекислый газ, она сразу же опускается от веса газа. Если я исследую банку горячей лучинкой, вы убедитесь, что туда действительно попал углекислый газ: содержимое банки не может поддержи-

вать горение. Если я надую мыльный пузырь своим дыханием, т. е., конечно, воздухом, и сброшу его в эту банку с углекислым газом, он не упадет на дно. Но сперва я возьму вот такой шарик, надутый воздухом, и при его посредстве проверю, где приблизительно приходится уровень углекислого газа в этой банке. Вот видите, шарик не падает на дно; я подливаю в банку углекислого газа, и шарик поднимается выше. Теперь посмотрим, удастся ли мне, надув мыльный пузырь, заставить его таким же образом держаться во взвешенном состоянии. (*Лектор надует мыльный пузырь и сбрасывает его в банку с углекислым газом, где пузырь и остается во взвешенном состоянии.*) Видите, мыльный пузырь, как и воздушный шарик, держится на поверхности углекислого газа именно потому, что этот газ тяжелее воздуха.

Итак, вы ознакомились, во-первых, с тем, что при горении свечи получается углекислый газ, и, во-вторых с его физическими свойствами и массой. В следующий раз я покажу вам, из чего он состоит и откуда берутся его составные части.

УГЛЕРОД, ИЛИ УГОЛЬ. СВЕТИЛЬНЫЙ ГАЗ. ДЫХАНИЕ И ЕГО СХОДСТВО С ГОРЕНИЕМ СВЕЧИ. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одна дама, оказывающая мне честь посещением этих лекций, сделала мне еще и то одолжение, что любезно прислала мне вот эти две свечи, привезенные из Японии. Как видите, они еще более разукрашены, чем французские свечи, которые я вам показывал, и, судя по всему, также представляют собой предмет роскоши. Они отличаются интересной особенностью: фитиль у них полый; как вы помните, введение Арганом полого фитиля в лампу послужило к ее значительному усовершенствованию. Обратите внимание и на то обстоятельство, что эти литые японские свечи имеют более коническую форму, нежели свечи, отливаемые в нашей части света. По всей вероятности, они сделаны из того вещества, о котором я упоминал в первой лекции. К сведению тех, кому из восточных стран могут привезти такие подарки, я упомяну, что это вещество и ему подобные подвергаются от времени некоторому изменению: их поверхность обесцвечивается и теряет блеск; однако можно восстановить первоначальное великолепие расцветки, если хорошенько потереть их чистой тряпкой или шелковым платком, чтобы сгладить возникшую от времени шероховатость. Одну из этих свечей я таким образом отполировал, и вы видите, какая получилась разница между ней и второй свечой, которую я еще не оттирал, но могу точно так же реставрировать.

В прошлый раз я успел рассказать вам довольно много об углекислом газе. Собирая в банки газ, выделяющийся при горении свечи или лампы, и подвергая его испытанию известковой водой (состав и приготовление которой вы теперь знаете и можете добыть ее самостоятельно), мы получали белую муть — известковое вещество, такое же, как в раковинах, кораллах и многих горных породах и минералах. Но я

еще не изложил вам с надлежащей полнотой и ясностью химическую историю углекислого газа — вещества, получаемого нами из свечи; теперь я вновь вернусь к этой теме. Мы видели, как из свечи выделялись продукты сгорания, и исследовали их свойства. Мы выяснили, каковы составные части воды, а теперь нам предстоит выяснить, откуда берутся составные части углекислого газа, выделяемого свечой. Несколько опытов покажут нам это. Вы знаете, что когда свеча горит плохо, она коптит; когда она горит хорошо, копоти нет. Вы также помните, что яркость пламени получается именно от горения копоти. Следующий опыт доказывает, что, пока эта копоть находится в пламени свечи и там воспламеняется, она дает яркий свет и никогда не проявляется в виде черных частиц. Сейчас я зажгу одно вещество, которое горит неэкономно, с чадом и копотью, — это скипидар. Я поджигаю кусочек губки, пропитанный скипидаром... Видите, какой чад валит от него и расходится по воздуху; заметьте, что именно из такого чада и возникает тот углекислый газ, который мы получали из свечи. Чтобы вы могли в этом наглядно убедиться, я опускаю эту губочку с пылающим скипидаром в большую банку с кислородом — животворной частью атмосферного воздуха. Как видите, копоть сгорает без остатка. Это еще только первая часть нашего опыта — а что же дальше? Та сажа, которая, как вы видели, в воздухе валила клубами от пламени скипидара, теперь в кислороде сгорает полностью. Уже этот незамысловатый опыт приводит нас к тому же самому выводу и результату, к какому мы приходили, разбирая горение свечи. Этот простейший опыт нужен мне только для того, чтобы вести наше исследование шаг за шагом, так просто и ясно, чтобы вы ни на минуту не теряли нити рассуждения, конечно, если только вы не будете отвлекаться. Итак, весь тот углерод, который сгорает в кислороде (или в воздухе), дает углекислый газ; а те частицы, которые при этом не успевают сгореть, проявляются в виде второй составной части углекислого газа, а именно сажи, т. е. углерода, который при достаточном доступе воздуха придает пламени яркость, а при недостатке кислорода для полного сгорания оказывается в излишке и выбрасывается.

Разберем теперь более подробно, как соединяются углерод и кислород, образуя углекислый газ. Теперь вам это легче понять, чем раньше, а для наглядности я подготовил вам несколько опытов. Первый из них не всегда удается идеально гладко, но ради его исключительной наглядности я иду на этот риск. Вот эта банка, совершенно сухая, наполнена кислородом, а в этом тигле находится толченный древесный уголь, который мы сейчас накалим докрасна. В том, что это именно уголь, вы можете убедиться по тому, как он горит в воздухе. *(Лектор высыпает из тигля немного раскаленного угля.)* Теперь я буду сжигать его в кислороде, а вы будете наблюдать разницу. Издали вам может показаться, будто он горит, образуя пламя, но на самом деле это не так. Каждая частица угля, сгорая, дает крохотную искру; при этом сгорании образуется углекислый газ. Я хочу, чтобы на этих двух-трех опытах вы твердо убедились в том, что уголь сгорает именно так, а не дает пламени; это необходимо для дальнейших рассуждений.

Теперь мы будем сжигать не массу крупинок, а довольно большой кусочек угля, чтобы вам были видны его форма и размеры и вы могли ясно проследить, что с ним будет происходить. Вот банка с кислородом, а вот кусочек угля; щепочку я прикрепил к нему для того, чтобы разжечь этот уголь. Как видите, уголь горит без пламени. Если и появляется пламя, то совсем ничтожное, и принадлежит оно не углю, а образуемому у самой поверхности угля небольшому количеству горючего газа — окиси углерода. Видите, уголь продолжает медленно гореть, и от соединения этого углерода (или, что одно и то же, угля) с кислородом постепенно получается углекислый газ. Возьмем другой кусок угля — обугленную древесную кору; она отличается тем, что при горении трещит и разлетается на мелкие кусочки. Таким образом, под воздействием высокой температуры крупный кусок угля рассыпается на множество мелких. Но каждая из этих частиц, наравне с основным куском, горит именно как уголь, т. е. не дает пламени. Вы видите множество искорок, но пламени нет. Поэтому, нельзя придумать более изящного опыта для доказательства особого, искрового характера горения угля.

Итак, мы получили углекислый газ из его составных элементов. Образуется он тут же, в процессе горения, и испытание известковой водой покажет вам, что это то же самое вещество, о котором у нас шла речь раньше. Из соединения шести частей по массе углерода (все равно, получается ли он из пламени свечи или берется как толченый в порошок древесный уголь) с 16-ю частями кислорода получается 22 части углекислого газа; а из этих 22 частей углекислого газа в соединении с 28 частями извести получается обыкновенная углекислая известь. Если бы вы подвергли анализу, скажем, раковину устрицы и определили массы ее составных частей, вы бы убедились, что из каждых 50 частей было бы шесть частей углерода и 16 кислорода в сочетании с 28 частями извести. Однако я не стану утомлять вас этими подробностями; нам надо разобраться лишь в самой сути этого вопроса. Посмотрите, как чудесно «тает» углерод (*показывает на кусок угля, спокойно горящий в банке с кислородом*); прямо можно сказать, что уголь исчезает в окружающем воздухе и что если бы он был совершенно свободен от примесей, а это нам нетрудно выполнить, он сгорел бы дотла без малейшего остатка. Да, действительно, при сгорании куска идеально очищенного угля никакой золы не остается. Углерод сгорает как плотное, твердое тело; одного лишь воздействия тепла недостаточно для того, чтобы заставить его изменить свое твердое состояние, — а вместе с тем он превращается в такое газообразное вещество, которое при обычных условиях не превращается ни в твердое, ни в жидкое состояние. Не менее любопытен тот факт, что кислород не меняет своего объема от того, что в нем «растворяется» углерод. Каков был объем в начале горения, таков он и в конце, но только это уже не кислород, а углекислый газ.

Есть еще один опыт, с которым вам нужно ознакомиться, чтобы как следует понять, что собой представляет углекислый газ. Поскольку он является веществом сложным, состоящим из углерода и кислорода, нам нужно научиться разделять его на эти составные части. И действительно, мы можем это сделать. Как мы выделяли из воды ее составные

элементы, так мы можем поступить и с углекислым газом. Простейший и быстрейший способ заключается в том, чтобы воздействовать на углекислый газ каким-нибудь веществом, которое может извлечь из него кислород, оставив углерод в остатке. Вы помните, как я брл кусочек калия и клал его на воду или на лед, и вы убедились при этом, что он обладает способностью отрывать кислород от водорода. Что, если нам сейчас проделать что-нибудь подобное с углекислым газом?

Вы знаете, что углекислый газ — тяжелый; испытывать его известковой водой сейчас не стоит, так как это помешает дальнейшему ходу опытов; однако я полагаю, что тяжести газа, находящегося в этой банке, и его способности гасить пламя будет достаточно для опознания в нем углекислого газа. Я введу в него огонек, а вы посмотрите, погаснет ли он. Как видите, огонек погас. Больше того, этот газ, может быть, потушит и горящий фосфор, — а ведь фосфору, как вы знаете, свойственно весьма энергичное горение. Вот кусочек фосфора, нагретый до чрезвычайно высокой температуры. Я опускаю его в этот газ, и, как видите, пламя гаснет; на воздухе фосфор снова вспыхнет, горение возобновится.

Возьмем теперь кусочек калия; это вещество даже при обычной температуре способно воздействовать на углекислый газ, хотя и не так сильно, как нам сейчас нужно, потому что оно быстро покрывается защитным слоем. Однако если мы его подогреем до точки воспламенения в воздухе (мы на это имеем полное право; точно так же мы поступали и с фосфором), вы убедитесь, что калий способен гореть и в углекислом газе. Но если он горит, то не иначе, как соединяясь с кислородом, — и вы увидите, что окажется в остатке. Итак, я собираюсь сжечь калий в углекислом газе для доказательства присутствия кислорода в этом газе. (*При подготовительном нагревании калий взорвался.*) Что ж поделаешь, иногда попадаете неудачный кусок калия, и когда он накаляется, происходит нечто вроде взрыва. Я беру другой кусочек. Вот он накалился, и я опускаю его в банку на длинной ложечке. Вообще он горит в углекислом газе не так хорошо, как на воздухе, потому что кислород в углекислом газе связан, но все-таки

он горит и забирает кислород. Если я теперь положу этот калий в воду, то окажется, что, помимо образовавшегося поташа (который нас сейчас не интересует), выделилось еще и некоторое количество сажи. Этот опыт я проделал весьма кустарным способом, но, уверяю вас, если бы я употребил на него не пять минут, а целый день и проделал бы все с величайшей тщательностью, то в этой ложечке, где сжигался калий, несомненно, оказалось бы именно надлежащее количество угля, и результаты не оставили бы места ни для каких сомнений. Итак, вот углерод, полученный из углекислого газа в виде общеизвестного черного вещества — сажи. Тем самым мы получили полное доказательство того, что углекислый газ действительно состоит из углерода и кислорода. И теперь я могу сказать вам, что всякий раз, когда углерод горит при обычных условиях, он дает углекислый газ.

Возьмем теперь вот эту деревяшку и положим ее в банку с известковой водой. Сколько бы я ни взбалтывал известковую воду с деревяшкой и с воздухом, она продолжала бы оставаться такой же прозрачной, как вы ее сейчас видите. А что, если я сожгу этот кусок дерева в том воздухе, который содержится здесь в банке? Конечно, вы знаете, что я получу воду. А получу ли я углекислый газ? *(Лектор сжигает щепку и испытывает содержимое банки известковой водой.)* Ну, вы видите, вот углекислая известь, получившаяся из углекислого газа, а тот в свою очередь получился из углерода, находившегося в куске дерева, в свече и т. п. Несомненно, вы сами неоднократно проделывали простейший опыт, в котором можно увидеть углерод, содержащийся в дереве: если вы частично сожжете кусок дерева, а потом его погасите, у вас останется уголь. Но есть вещества, которые таким образом не обнаруживают содержащегося в них углерода. В свече, например, вы так не увидите углерод, хотя она его содержит.

Таков же и светильный газ — вот он здесь, в банке, — из него можно в изобилии получить углекислый газ; углерода вы в нем не видите, но мне нетрудно доказать вам его присутствие. Вот я его зажигаю, и пока в банке останется хоть сколько-нибудь этого газа, он будет продолжать гореть. Углерода вы не

видите, но вы видите пламя, и оно уже одной своей яркостью наводит вас на мысль, что в пламени содержатся частицы углерода. Впрочем, я это вам докажу иным путем. В другом сосуде у меня есть тот же газ, но в смеси с таким веществом, которое способно сжечь водород из состава этого газа, а углерода не сожжет. Я поджигаю смесь лучинкой, и вы видите, что водород сгорает, а углерод остается в виде густого черного дыма. Я надеюсь, что из этого ряда опытов вы научитесь распознавать присутствие углерода и будете понимать, каковы бывают продукты горения, когда газы или другие вещества без остатка сжигаются в атмосферном воздухе.

Наше знакомство с углеродом было бы неполным без некоторых опытов и сведений об интереснейшей его особенности, проявляющейся при горении. Как я вам показал, уголь горит только как твердое тело, и, однако, сгорев, он перестает быть твердым телом. Так ведет себя далеко не всякое топливо: этим свойством обладают только те важнейшие сорта топлива, которые относятся к классу углеродистых, т. е. каменный уголь, древесный уголь и дерево. Из числа элементов, кроме углерода, я не знаю ни одного, который мог бы гореть таким образом. А если бы и он не обладал этим свойством, что бы стало с нами?

Допустим, что всякое топливо подобно железу превращалось бы при сгорании в твердый продукт. Тогда было бы невозможно такого рода горение, какое вы видите здесь в камине. Взгляните, вот у меня тут вещество, которое горит не хуже, если даже не лучше, чем углерод; оно до того горючее, что вспыхивает от соприкосновения с воздухом. (*Лектор разламывает трубку, в которой запаян свинцовый пиррофор*¹⁾. *Происходит вспышка.*) Вы видите, какой поразительной горючестью обладает это вещество, одно из соединений свинца. Своей раздробленностью на отдельные кусочки оно похоже на каменный уголь, наложенный кусками в камине: воздух имеет доступ

¹⁾ Свинцовый пиррофор получается путем нагревания сухого виннокислого свинца в пробирке, закрытой с одного конца и тонко оттянутой с другого, пока не прекратится выделение паров. Тогда в пламени паяльной трубки заплавляется оттянутый кончик пробирки. При соприкосновении с воздухом пиррофор дает красную вспышку. (*Прим. В. Крукса.*)

не только снаружи, но и изнутри, почему оно и горит. (*Лектор высыпает содержимое трубки плотной кучкой на железную тарелку.*) Почему же теперь, когда оно лежит плотной массой, оно не горит? Просто потому, что воздух к нему не попадает. При всем том, что это горючее вещество может выделять много тепла, которое нам так нужно для горнов, топков и паровых котлов, продукты сгорания не могут отделиться от скрытого под ними, еще не сгоревшего вещества, т. е. мешают воздуху проникнуть к этому веществу и сжечь его.

Совсем другое дело — углерод! Он горит точно так же, как этот свинцовый пирофор, и потому дает сильный жар в топках; однако при этом продукт сгорания улетучивается, и поверхность несгоревшего угля все время обновляется. Я вам показывал, как углерод таял и исчезал в кислороде, не оставляя никакой золы; зато здесь (*показывая на кучку свинцового пирофора*) у нас даже больше золы, чем было горючего: ведь это вещество стало тяжелее на то количество кислорода, которое с ним соединилось. В этом и проявляется разница между этим соединением свинца и, скажем, железом, с одной стороны, и углеродом — с другой.

Если бы при сгорании углерода выделялся твердый продукт, комната наполнилась бы непрозрачными хлопьями, как в нашем опыте с фосфором; но на самом деле продукт сгорания углерода целиком улетучивается в атмосферу. До горения углерод находится в неподвижном, почти неизменном состоянии, а потом он оказывается в форме газа, который очень трудно (хоть и не вовсе невозможно) получить в твердом или жидком состоянии.

Перейдем теперь к очень интересному разделу нашей темы: к сходству между горением свечи и тем жизненным видом горения, которое происходит внутри нас. Да, да, в теле каждого из нас происходит жизненный процесс горения, весьма сходный с горением свечи, и я хочу, чтобы вы это ясно поняли. Тут дело не в поэтическом сравнении человеческой жизни с теплящимся огоньком, а в действительном сходстве. Внимательно проследите за моим рассуждением, и вы всё поймете. Для большей ясности и убедительности я придумал небольшой прибор,

который мы сейчас перед вами смонтируем. Вот доска с вырезанным желобком, который можно накрыть планочкой; концы желобка выходят на поверхность, и продолжениями их служат широкие стеклянные трубки; воздух свободно проходит сквозь весь прибор. В одну из трубок я ставлю зажженную свечу. Вы видите, что она продолжает прекрасно гореть. При этом воздух, питающий пламя кислородом, спускается в трубку на одном конце прибора, проходит вдоль по горизонтальному желобку и поднимается к той трубке, где помещена свечка. Если я закрою входное отверстие, прекратится доступ воздуха, а с ним и горение, — как видите, свечка гаснет.

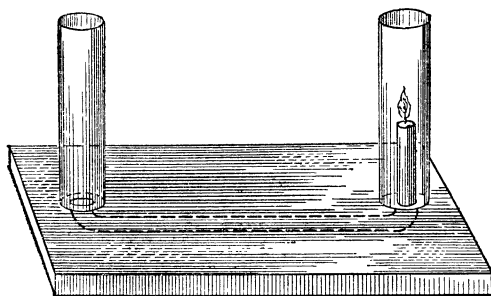


Рис. 32.

Помните, в одном из предыдущих опытов я вам показывал, что происходит, когда воздух от горящей свечи идет к другому огоньку. Если бы посредством сложного устройства я провел сюда, во входную трубку, воздух, поднимающийся от другой горящей свечи, то основная наша свеча погасла бы. Но что вы скажете, если я вам предскажу, что не только другая свеча, но и мое дыхание потушит эту нашу свечу? Задувать свечку я не собираюсь — я имею в виду не дуновение, а именно дыхание. Я хочу сказать: природа выдыхаемого мною воздуха такова, что свеча в нем гореть не может. Я сейчас приложу губы к отверстию входной (т. е. левой) трубки и очень осторожно, отнюдь не дую на пламя, выдохну воздух, т. е. не дам войти в трубку никакому воздуху, кроме того, который выходит у меня из рта... Вы видите, каков результат. Я свечу не задувал, а просто впу-

стил в трубку выдыхаемый мною воздух. В результате пламя погасло из-за недостатка кислорода, а не по какой-либо иной причине. Нечто, а именно мой дыхательный аппарат, забрал из воздуха кислород, и его не хватило на то, чтобы поддерживать горение свечи. При этом, по-моему, очень интересно наблюдать, сколько времени пройдет, прежде чем достигнет свечи испорченный воздух, выдыхаемый мною в эту трубку. Вначале свеча продолжает гореть, но как только испорченный воздух доходит до пламени, она гаснет.

Следующий опыт, который я вам покажу,— это весьма важный шаг в нашем рассуждении. Вот в этой банке, не имеющей дна, содержится чистый воздух, как вы можете заключить из того, что в нем может гореть свеча или газовый рожок. Теперь я этот воздух временно изолирую: банку я ставлю в воду, а горлышко плотно затыкаю пробкой, сквозь которую проходит трубочка. Таким образом, вы видите, я смогу, взяв в рот трубочку, вдохнуть этот воздух, т. е. вобрать его в свои легкие, а затем вновь выдохнуть его в эту банку; тогда мы сможем его исследовать и выяснить, каков получился результат. Вот, следите,— я сперва вобрал в себя воздух, а затем его выдохнул; это видно было из того, что уровень воды сперва поднялся, а затем опустился до прежней высоты. Теперь, введя в банку горящую лучинку, мы сможем судить, в каком состоянии находится там воздух, по тому, что огонек погаснет. Как видите, уже одного вдоха и выдоха оказалось достаточно, чтобы сделать этот воздух совершенно непригодным для горения, так что мне нет смысла вдыхать его вторично. Теперь вам будет понятна одна из причин, почему устройство жилищ бедноты является антисанитарным: там нет надлежащего проветривания, и люди дышат все одним и тем же спертым воздухом. Вы видите, как портится воздух, если дохнуть только раз, и потому вам нетрудно будет понять, насколько важен для нас свежий воздух.

Чтобы немного продолжить эту нить рассуждения, посмотрим, что будет происходить с известковой водой. В эту колбу налито немного известковой воды; сквозь пробку колбы проходят две трубки; через них воздух внутри колбы сообщается с внешним. Таким

образом, мы можем узнать, какое действие оказывает на известковую воду воздух чистый и воздух, испорченный дыханием. Взяв в рот трубку *A*, я могу втягивать в себя чистый комнатный воздух, питающий мои легкие, и заставлять его по пути проходить через известковую воду. Взяв в рот трубку *B*, доходящую почти до дна колбы, я могу, выдыхая воздух из легких, заставлять его по пути проявить свое

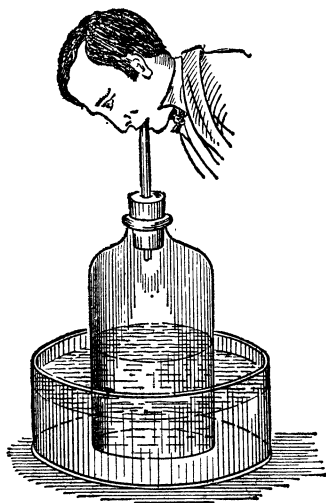


Рис. 33.

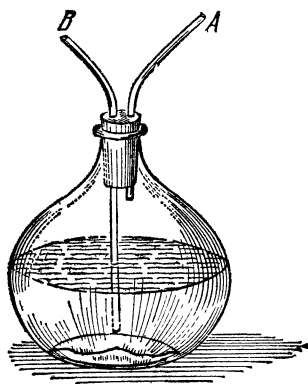


Рис. 34.

действие на известковую воду. Обратите внимание, что как бы долго я ни засасывал наружный воздух в известковую воду, а сквозь нее и в мои легкие, это не будет иметь ни малейшего действия на известковую воду — она не побелеет. Однако же, если я несколько раз подряд пропущу сквозь известковую воду тот воздух, который выходит из моих легких, вы увидите, какой молочно-белой становится эта вода, как на нее подействовал выдыхаемый мною воздух. И теперь вы догадываетесь, что именно углекислый газ, который вы здесь наблюдаете в соприкосновении с известковой водой, и является причиной порчи воздуха при дыхании.

Возьмем две склянки; у каждой из них по два горлышка, одно из которых соединяет ее с другой склянкой посредством особой изогнутой трубки, а другое — с наружным воздухом. Из этих склянок с трубками собран прибор, который при всей своей простоте позволяет сделать изящный и убедительный опыт; этот прибор заставит воздух двигаться только в одном направлении, а не обратно, когда я буду дышать через среднюю отводную трубку. В первой

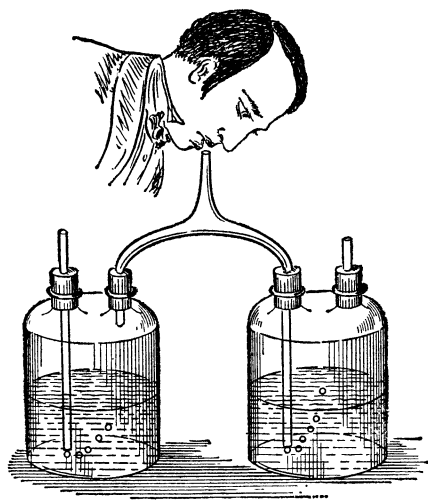


Рис. 35.

банке налита простая вода, во второй — известковая. Входя в первую склянку, воздух будет проходить ко мне в рот и легкие, давая мне возможность дышать, а на обратном пути из моих легких и рта сможет проходить только через вторую склянку с известковой водой. Как видите, комнатный воздух не изменил известковую воду; во второй склянке в известковую воду поступал только выдохнутый мною воздух, — и какова разница!

Продолжим наше рассуждение. Что это за процесс, который происходит внутри нас денно и ночью, независимо от нашей воли, и без которого мы не можем обойтись? Ведь если мы задержим дыхание

(ненадолго это можно сделать), то мы сами себя погубим. Когда мы спим, органы дыхания и связанные с ними другие органы продолжают действовать,— вот до чего необходим нам этот процесс дыхания, это соприкосновение воздуха с нашими легкими! Расскажу вам совсем коротко, в чем заключается этот процесс. Мы принимаем пищу; она проходит через находящуюся внутри нас сложную систему органов и сосудов в различные части организма. В таком видоизмененном состоянии часть пищи по особой системе сосудов проходит через наши легкие, где другая, дыхательная, система втягивает и выпускает вдыхаемый и выдыхаемый нами воздух; таким образом, сближаются воздух и пища, разделенные лишь тончайшей перегородкой, благодаря чему воздух получает возможность в процессе дыхания действовать на кровь, и возникает в точности то же самое вещество, с которым мы встречались при горении свечи.

Свеча, как мы убедились, соединяется с некоторой частью воздуха, образуя углекислый газ, и при этом выделяется тепло; подобным же образом происходит и в легких этот своеобразный процесс превращения. Воздух, поступая в легкие, соединяется с углеродом (не со свободным углеродом, а, как и в свече, с углеродом, готовым к использованию в надлежащий момент); образуется углекислый газ, который выдыхается в атмосферу. Так мы приходим к любопытному выводу, что пища играет роль топлива. Возьмем, например, этот кусок сахара. Он, как и свеча, представляет собой соединение углерода, водорода и кислорода; однако эти элементы содержатся в сахаре в ином массовом соотношении, а именно:

Углерода	72	
Водорода	11	} 99
Кислорода	88	

Вам нетрудно будет запомнить интереснейшее обстоятельство: кислород и водород содержатся в сахаре как раз в той же пропорции, что и в воде; поэтому можно сказать, что сахар состоит из 72 частей по массе углерода и 99 частей воды. Именно углерод, содержащийся в сахаре, и соединяется с кис-

лородом воздуха, поступающим в легкие, и тем самым создает сходство нашего организма со свечой. При этой реакции выделяется тепло, а также происходят и другие процессы, в результате которых поддерживается жизнедеятельность организма.

Чтобы ярко и наглядно доказать вам, что в сахаре действительно есть углерод, я возьму кусок сахара или, для ускорения опыта, сироп, в котором сахара приблизительно втрое больше, чем воды. Если капать туда крепкой серной кислоты, она поглотит всю воду и оставит вместо сиропа углерод в виде черной массы. (*Лектор смешивает сироп с крепкой серной кислотой.*) Видите, как выделяется углерод! Скоро у нас окажется твердая масса угля, целиком получившаяся из сахара. Сахар, как вы знаете, — это пища, а тут вдруг у нас получился твердый кусок угля — там, где вы его никак не могли бы ожидать. Еще более поразительный результат вы увидите, когда я применю к полученному из сахара углероду окислитель, и притом более быстрого действия, чем атмосферный воздух. Мы, таким образом, окислим это топливо путем процесса, отличающегося от дыхания только по форме, а не по существу. Дыхание — это сгорание углерода при соприкосновении с тем кислородом, который подведен к нему организмом. Я действую окислителем, и вы увидите, что происходит сгорание. Это в точности то же самое, что получается в моих легких, но только присоединение кислорода, берущегося из другого источника, т. е. из атмосферы, происходит здесь гораздо быстрее.

Количественная сторона этого дела поразит вас. Свеча может гореть часа четыре, пять, шесть, семь. Каково же должно быть количество углерода, ежедневно улетающего в воздух в виде углекислого газа! Какое количество углерода, очевидно, выдыхает каждый из нас! Какой удивительный круговорот углерода должен происходить при горении и дыхании! За сутки человек превращает в углекислый газ целых 7 унций углерода; дойная корова — 70 унций, а лошадь — 79, и все это только в результате дыхания. Иначе говоря, лошадь в своих органах дыхания сжигает за сутки 79 унций углерода для поддержания естественной температуры своего тела. Все теплокровные животные вырабатывают себе тепло

именно таким образом — путем превращения углерода, находящегося не в свободном состоянии, а в соединениях.

А сколь удивительны изменения, происходящие в нашей атмосфере! За сутки в одном только Лондоне образуется в результате дыхания целых 5 миллионов фунтов углекислого газа, т. е. 548 тонн. А куда же все это девается? Улетучивается в воздух. Если бы углерод, подобно железу или свинцовому пирофору, который я вам показывал, давал при сгорании твердое вещество, что бы произошло? Горение не могло бы продолжаться. По мере того как углерод сгорает, он превращается в газообразное вещество и переходит в атмосферу, а та уносит его прочь. А дальше? Как это ни удивительно, изменение воздуха, вызванное дыханием, которое, казалось бы, так для нас вредно (ведь мы же не можем дважды дышать одним и тем же воздухом), как раз, оказывается, поддерживает жизнь растений, покрывающих земную поверхность.

То же самое наблюдается и в водоемах: ведь рыбы и другие водяные животные дышат хотя и не непосредственно путем соприкосновения с открытым воздухом, но все-таки, по существу, так же. Вот эти золотые рыбки в аквариуме (*показывает*) дышат растворенным в воде кислородом из воздуха. Они также выделяют углекислоту и участвуют в великом круговороте природы, в котором животное и растительное царства поддерживают друг друга. А все растения, произрастающие на поверхности Земли,—вроде, например, вот этой ветки,—наоборот, поглощают углерод. Вот эти листья растут и развиваются, снабжаясь углеродом из атмосферы, куда мы его отдали в форме углекислого газа. Давайте им чистый воздух, какой нужен нам,—и они не смогли бы в нем жить; давайте им наряду с другими веществами углерод — и они будут жить и процветать. Этот кусок дерева, как все деревья и растения, получил весь свой углерод из атмосферы, которая, как мы уже говорили, уносит с собой то, что вредно для нас и в то же время полезно для растений; известно же: что одному — болезнь, то другому — здоровье. Таким образом, и получается, что мы зависим не только от других людей и от животных, а и от растительного

мира нашей планеты, так как вся природа связана единими законами.

Есть еще одно обстоятельство, на которое я хотел бы обратить ваше внимание, прежде чем мы закончим наши лекции. Оно интереснейшим образом связано со всеми тремя веществами, которыми мы здесь занимаемся: с кислородом, водородом и углеродом в их различных состояниях. Я сегодня показывал вам, как вспыхивает одно свинцовое соединение: вы видели, что оно воспламенилось в тот самый момент, как я откупорил эту пробирку и в нее проник воздух. Здесь проявляется химическое сродство, обуславливающее все наши химические реакции. Когда мы дышим, внутри нас происходит такой же процесс. Когда мы жжем свечу, действует все то же сродство различных веществ друг с другом. Яркий пример химического сродства наблюдается в нашем опыте со свинцовым пирофором. Если бы продукты сгорания отделялись от поверхности, то это вещество, воспламенившись, продолжало бы гореть до конца; но вы помните, что между ним и углеродом мы отмечали существенную разницу; это свинцовое соединение немедленно воспламеняется при условии доступа воздуха, а уголь способен лежать без изменения целыми днями, неделями, месяцами, годами. В Геркулануме¹⁾ пролежали свыше 1800 лет и не выцвели рукописи, написанные чернилами из сажи, хотя они так или иначе находились в соприкосновении с воздухом.

Чем же объясняется эта разница между углеродом и свинцовым пирофором? Поразительно, что углерод — ведь это же горючее вещество, топливо — как бы дожидается момента, когда ему вступить в действие; он не вспыхивает, как этот пирофор или как многие другие вещества, от показа которых мне пришлось воздержаться, чтобы не загромождать здесь стол. Углерод выжидает, пока его зажгут, и уже самое это выжидание представляет собой интересное свойство. Также и свечи — хотя бы, например, эти японские свечи — не загораются самопроизволь-

¹⁾ Геркуланум и Помпея — древние римские города, засыпанные пеплом при извержении вулкана Везувия в 79 году нашей эры. (*Прим. ред.*)

но, подобно свинцовому пиррофу и железу (ведь железо, если оно достаточно измельчено, обладает тем же свойством, что и это соединение свинца), а ждут и ждут годами или даже веками, не претерпевая никаких изменений.

Вот сюда проведен светильный газ. Он выходит из газового рожка, но, как видите, не вспыхивает — он вливается в воздух, и ему приходится дожидаться надлежащего нагрева, прежде чем он загорится. Если я его достаточно нагрею, он вспыхнет. Если я задую пламя, выходящий газ будет дожидаться, пока к нему снова не поднесут огонек.

Интересно изучать, как различно ведут себя вещества в этом отношении: одним достаточно небольшого повышения температуры, а другие дожидаются весьма значительного. Возьмем, например, порох и нитроклетчатку. Даже эти вещества, несмотря на их одинаковое назначение, различаются между собой по условиям возгорания. И действительно, порох состоит из углерода и других веществ, придающих ему высокую горючесть; нитроклетчатка — тоже горючее соединение. Оба они дожидаются, но вступят в действие при различных температурах. Коснемся их раскаленной проволокой, и мы увидим, которое из них вспыхнет раньше. *(Лектор прикасается раскаленным железом к нитроклетчатке.)* Вот видите, нитроклетчатка вспыхнула, но даже самая накалившая часть проволоки, оказывается, недостаточно горяча, чтобы заставить вспыхнуть порох. Как это наглядно показывает вам количественное различие между веществами в отношении возгорания!

В заключение — а рано или поздно конец нашим беседам должен быть — я могу только выразить вам свое пожелание, чтобы вы могли с честью выдержать сравнение со свечой, т. е. могли бы быть светочем для окружающих, и чтобы во всех ваших действиях вы подражали красоте пламени, честно и производительно выполняя свой долг перед человечеством.

ЧТО ТАКОЕ ГОРЕНИЕ?

Б. Новожилов

I

Он может родиться, окрепнуть и вырасти. Или зачахнуть и умереть. Он может быть трепетным и ласковым или коварным, жадным и яростным. Он набрасывается, пожирает, проглатывает. С ним борются — он отступает побежденный. Он может принести спасение или обернуться ужасной трагедией.

— Огонь! — это и возглас надежды заплутавшего путника и суровая команда, несущая смерть врагу.

Огненные волосы, горящие глаза, испепеляющий взгляд. Взрыв смеха, вспышка гнева, огонь желаний. Загореться мыслью, пылать энтузиазмом, гореть страстью, играть с огнем.

Достаточно примеров. Они лишь должны напомнить, какую роль играет этот дар природы в нашей жизни. Наш язык (вспомним, кстати, и о языках пламени) наделил его чертами живого существа и, наоборот, внешность человека, его эмоции и поведение часто связываются со свойствами огня, пламени, горения. Можно представить, как изумлялись первобытные люди, наблюдая со страхом и недоверием случайное возникновение огня, его изменчивость, напоминающую необычное живое существо и его бесследное исчезновение. Недаром почти у всех народов мира в первобытном обществе существовал культ огня. Его почитали, ему поклонялись. Его похищали и тщательно хранили — ведь добывать огонь научились много позже, чем его приручили.

Одно из величайших событий в истории человечества — открытие способа добывать огонь по археологическим данным произошло около ста тысяч лет назад, в эпоху среднего палеолита. Применение же природного огня, случайно возникшего от молний

или вулканической лавы, для защиты от холода и хищных зверей началось, конечно, гораздо раньше.

По мере развития человеческого общества значение процессов горения все возрастало. От применения огня для чисто бытовых целей (приготовление пищи, обогревание жилища) человек перешел к использованию его в качестве источника получения механической работы в различного рода тепловых двигателях, прежде всего в паровых машинах. Стремление улучшить качество паровых машин дало толчок к возникновению науки о тепле — термодинамике. Правильное понимание основных законов, лежащих в основе процесса горения, способствовало в свою очередь дальнейшему росту энерговооруженности человеческого общества. Несмотря на то, что в последние десятилетия был открыт и стал служить человеку новый вид энергии — ядерная энергия, роль химических источников энергии — угля, газа, нефти — не уменьшилась. В наше время химическая энергия применяется во всех отраслях народного хозяйства — от индивидуальных газовых плит до двигателей космических кораблей.

Хотя тепловая энергия и является самым первым видом энергии, которым научился пользоваться человек, наука о горении зародилась совсем недавно. Только в XVIII веке Ломоносов и Лавуазье отвергли ошибочный взгляд алхимиков, утверждавших, что вещества, способные гореть, содержат особое «вещество огня» — флогистон. В 1773 г. Лавуазье пришел к правильному пониманию горения как процесса соединения вещества с кислородом воздуха. Систематические же исследования процессов горения были начаты лишь в конце прошлого века, когда катастрофические взрывы в шахтах побудили ученых ряда стран заняться тщательным изучением режимов распространения пламени. Из-за слабого развития смежных областей науки (кинетики химических реакций, гидродинамики, теории процессов переноса) результаты этого периода развития учения о горении носят качественный характер и не связаны с процессами, происходящими на молекулярном уровне.

К середине нашего столетия появились новые стимулы к развитию науки о горении, связанные с требованиями ракетной техники. В последние десяти-

тилетия было выполнено много теоретических и экспериментальных работ, опирающихся на новейшие достижения механики жидкости и газа и кинетики химических реакций. Сегодня уже нарисована четкая и логичная схема многообразных явлений горения, на основе которой инженеры могут целенаправленно влиять, например, на скорость распространения пламени и предсказывать, как будет вести себя то или иное топливо в конкретных условиях горения.

Фарадей в своей «Истории свечи» говорит: «Явления, наблюдающиеся при горении свечи, таковы, что нет ни одного закона природы, который при этом не был бы так или иначе затронут». Хотя прошло уже более ста лет, и наука шагнула далеко вперед, эти слова остаются в силе. Поскольку основу процесса горения составляет химическое превращение — разложение одних молекул вещества и образование других, при его изучении нужно знать законы протекания химических реакций, их механизм, скорость и т. д. Этими вопросами занимается наука, называемая химической кинетикой. В свою очередь химическая кинетика является одним из разделов химической физики — науки, пограничной между химией и новыми разделами физики, возникшими в начале XX века (квантовая механика, электронная теория атомов и молекул). Химическая физика занимается изучением химических проблем с помощью теоретических и экспериментальных физических методов. Таким образом, процесс горения, как и любое другое химическое превращение, может быть по-настоящему понят лишь на основе изучения строения атомов и молекул и реакций между ними. Квантовая теория строения атомов и молекул возникла лишь в XX веке, поэтому и химическая кинетика в частности, и теория быстропотекающих химических реакций при горении получают настоящее обоснование только в наши дни.

Химические реакции, идущие с большим выделением тепла, почти всегда вызывают возникновение различного рода физических явлений. В процессе горения происходит перенос тепла реагирующих веществ и продуктов горения из одного места в другое. В связи с этим исследование процессов горения возможно только при правильном учете не только химических, но и физических закономерностей. При этом

те и другие процессы взаимосвязаны — скорость химических реакций определяется процессами теплопередачи и диффузии вещества, и наоборот, температура, давление вещества и скорость его перемещения зависят от интенсивности химических реакций.

Конечно, со времен Фарадея открыто много нового, в частности, новый вид превращения вещества — ядерные реакции. Хотя в обычном горении ядра атомов не изменяются и, казалось бы, эти явления природы не имеют отношения к горению, следует все-таки отметить, что в настоящее время можно говорить о возможности и существования горения на ядерном уровне. К нему, конечно, следует отнести процесс энерговыделения на Солнце и других звездах. Решение проблемы управляемого термоядерного синтеза, к которой приложено много усилий со стороны ученых высокоразвитых стран, сводится в конечном счете к созданию условий, при которых ядерный очаг станет самоподдерживающимся (высокие плотности вещества и сверхвысокие температуры — десятки миллионов градусов), и к возможности регулировать скорость горения на желаемом уровне.

Однако это предмет особого разговора. Мы будем рассматривать только химическое горение.

Начиная исследовать какое-либо явление, обычно обращают внимание на основные его особенности. Понимание деталей можно отложить и на будущее. Поступим и мы так же.

Процесс горения, как правило, связан с выделением тепла и света. И в пламени горящей спички и в камере сгорания космической ракеты выделение энергии приводит к возникновению высоких температур — порядка одной-двух тысяч градусов. Таким образом, непременным условием существования горения является участие в процессе веществ, реакция между которыми экзотермична, т. е. идет с выделением тепла. В процессе перестройки молекул их внутренин, химическая энергия переходит в тепловую энергию, т. е. кинетическую энергию движения.

Одна из особенностей явления горения знакома каждому, кто хоть раз пытался разжечь костер на ветру или под дождем. Довольно просто (при достаточном количестве дров) поддерживать огонь в кост-

ре и под проливным дождем. Совсем другое дело его разжечь — обязательно нужно создать достаточно большой очаг пламени, который, оставленный на мгновение без внимания, не погас бы. Когда такой очаг создан, он начинается сначала медленно, а потом все быстрее и быстрее разгораться и увеличиваться, охватывая в конце концов все топливо, собранное в костре. Выражаясь на языке науки о горении, существуют некоторые критические условия зажигания или воспламенения. Если эти условия выполнены, горение поддерживает себя само. В противном случае происходит потухание. Все разнообразные и часто очень хитроумные способы разжигания костра «с одной спички» сводятся к умению так расположить дрова и вспомогательный материал — бересту, сухие щепочки, — чтобы величина пламени горящей спички превышала критический размер, необходимый для воспламенения.

Наконец, важная особенность явления горения — способность его к пространственному распространению. Вспомним лесные и степные пожары. Недаром для охраны больших массивов леса создана специальная служба слежения. С вертолетов и самолетов регулярно осматриваются большие площади лесов, а при необходимости высаживаются и парашютный десант. Основное — вовремя заметить очаг пожара. Иначе он быстро захватывает большую территорию, и борьба с ним многократно усложняется. В ветреную погоду скорости распространения лесных пожаров достигают десятков километров в час.

Это свойство горения применяется и на практике. Во взрывном деле раньше широко употреблялся огнепроводный, или бикфордов, шнур. Он представляет собой пропитанную селитрой нитку, заключенную наподобие фитиля в пороховую трубку. Горение распространяется по такому шнуру со скоростью сантиметра в секунду. Шнур длиной, например, в шестьдесят сантиметров приводит к взрыву присоединенного к нему заряда ровно через минуту.

В конце концов и горение свечи тоже пример пространственного распространения пламени сверху вниз.

Все эти особенности горения тесно связаны с законами протекания химических реакций. Поэтому мы с них и начнем.

II

Все многообразие окружающих нас тел обусловлено существованием всего ста с небольшим разных типов атомов. Их различные комбинации образуют и очень простые молекулы (кислород, вода, углекислый газ), и молекулы-гиганты, построенные из очень большого числа атомов (например, белки или высокомолекулярные соединения — полимеры). Слово «гиганты» в отношении молекул следовало бы, конечно, взять в кавычки: ведь по сравнению с окружающими нас предметами молекулы малы. Не утомляя читателя числами с огромным количеством нулей после запятой (от них суть дела не намного становится понятнее), приведем простое сравнение. Предположим, мы увеличиваем в одинаковое число раз молекулу воды и теннисный мяч. Если при этом молекула станет размером с мяч, то последний будет сравним с земным шаром.

Молекулы довольно неохотно поддаются расщеплению на атомы. Возьмем, к примеру, обыкновенный лед. Его молекула содержит два атома водорода и один атом кислорода. Нагревая лед, его можно расплавить и превратить в воду. Вода будет состоять из тех же молекул. При кипячении воды она испаряется, но и пары воды — это те же самые молекулы. Лишь нагревая водяные пары до очень высокой температуры (несколько тысяч градусов), можно разрушить молекулы и получить отдельные атомы водорода и кислорода. При дальнейшем повышении температуры и атомы разлагаются на их составные части — положительные ядра и отрицательные электроны. Таким образом, атомы в молекуле связаны между собой довольно мощными силами.

Голландский физик Ван-дер-Ваальс, исследуя поведение плотных газов при различных температурах и давлениях, установил, что для объяснения их свойств необходимо предположить существование сил притяжения между молекулами на больших расстояниях и отталкивание на малых.

Причину возникновения межатомных и межмолекулярных сил можно понять лишь на основе квантовой механики — науки, описывающей поведение микрочастиц. Не останавливаясь на подробностях, ука-

жем лишь, что эти силы имеют электрическую природу. Однако для расчета межатомных взаимодействий недостаточно одного известного закона Кулона. Квантовый характер движения электронов приводит к специфическим особенностям взаимодействия атомов по сравнению со взаимодействием обычных классических заряженных частиц.

Если на больших расстояниях атомы притягиваются, а на малых отталкиваются, то должно быть положение, где сила взаимодействия между атомами равна нулю (силы притяжения при уменьшении расстояния в этой точке сменяются силами отталкивания). Это так называемое положение равновесия. Поместив два атома на таком расстоянии, мы получим устойчивую молекулу. Действительно, при малейшем изменении расстояния между атомами возникают силы, стремящиеся вернуть эти атомы в исходное состояние (если расстояние увеличилось, то появляются силы притяжения, которые вызывают сближение атомов; при случайном уменьшении расстояния возникнут силы отталкивания).

В физике обычно говорят не на языке сил, а на языке энергий. Это оказывается во многих случаях удобнее. Например, при изучении движения тел в поле тяжести Земли вместо закона тяготения Ньютона часто пользуются понятием потенциальной энергии. Величина потенциальной энергии тела в поле Земли зависит от высоты, на которую оно поднято. Чем больше расстояния от Земли, тем большую работу совершает тело при падении и тем, следовательно, больше его потенциальная энергия. На поверхности Земли потенциальная энергия меньше всего.

Те же рассуждения можно применить и к молекулам. Раздвинутые на большое расстояние атомы обладают потенциальной энергией, так как они притягиваются. Точно так же из-за сил отталкивания имеется потенциальная энергия и у атомов, которые сблизились на расстояние меньше равновесного. Минимальная потенциальная энергия — у атомов, находящихся в положении равновесия. На рис. 1 изображена типичная кривая, показывающая, как изменяется потенциальная энергия в зависимости от расстояния между атомами. Точка r_0 отвечает положению равновесия атомов. Видно, что при отклонении от

Этого положения энергия быстро растет. Если сначала атомы находились в точке r_0 , то для удаления их друг от друга на большое расстояние нужно затратить энергию, равную D . При этом из молекулы мы получим два изолированных атома. D — энергия связи атомов в молекуле, или энергия связи молекулы.

Здесь уместно провести аналогию с механикой. Если некоторое тело, находящееся в поле тяжести, движется по поверхности, изображенной на рисунке, то его потенциальная энергия будет изменяться подобным же образом. Шарик всегда скатывается в углубление, и чтобы достать его оттуда, нужно затратить некоторую энергию, пропорциональную глубине ямы.

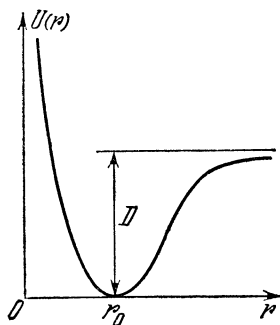
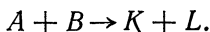


Рис. 1.

При химическом взаимодействии происходит превращение одних молекул в другие. При этом разрушаются старые связи и возникают новые.

Рассмотрим в качестве примера реакцию между молекулами A и B (исходные вещества), которая приводит к образованию K и L (молекулы-продукты):



Если новые молекулы прочнее старых (их суммарная энергия связи больше, чем у исходных молекул), то в результате реакции выделяется энергия. Действительно, на разрушение молекул A и B мы должны затратить меньше энергии, чем ее выделяется при образовании K и L . Такие реакции называются экзотермическими, а количество выделяющейся энергии (на одну молекулу или на единицу массы вещества) носит название теплового эффекта. Например, тепловой эффект реакции горения бензина составляет сорок пять миллионов джоулей (около десяти тысяч килокалорий) на один килограмм. Этого тепла достаточно, чтобы нагреть продукты горения до температуры в несколько тысяч градусов.

Если реакция идет с выделением тепла, это не означает, что она пойдет быстро. Ведь прежде чем образовать новые связи, нужно разрушить старые. А для этого нужно где-то взять энергию. Так, туристская группа, маршрут которой проложен из одной долины в более глубокую, должна сначала подняться на перевал. Энергия, необходимая для разрыва или существенного ослабления (достаточного для протекания реакции) связей в исходных молекулах, называется энергией активации. На рис. 2 изображены энергетические барьеры для экзотермической (а) реакции и реакции, идущей с поглощением тепла (б — эндотермический процесс). Величина E — энергия

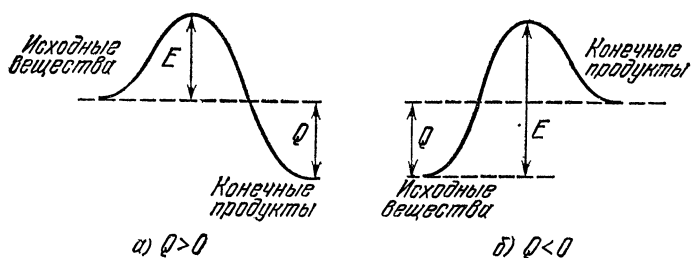


Рис. 2.

активации, или тот барьер, который должны преодолеть исходные молекулы, чтобы вступить в реакцию, Q — тепловой эффект реакции.

Разрушение или ослабление химических связей может произойти под действием теплового (поступательного или колебательного) движения атомов и молекул. Природа устроена так, что энергия теплового движения при умеренных температурах обычно много меньше энергии активации. Так, для типичных реакций горения энергия активации в десятки тысяч раз превышает энергию теплового движения молекул. В этом причина столь малой скорости химического превращения при обычных температурах.

В газе при нормальных условиях каждая молекула испытывает в среднем десять миллиардов столкновений в секунду. Если бы каждое столкновение приводило к реакции, то она произошла бы мгновенно. Опыт не подтверждает этого. Например, смесь во-

дорода и кислорода (гремучий газ)" при комнатной температуре можно хранить совершенно спокойно. Все дело в том, что лишь очень малая доля столкновений оказывается эффективной, т. е. приводит к образованию воды. Большинство соударений оказываются бесполезными — химическая реакция идет лишь между теми молекулами, тепловая энергия которых намного превышает среднюю. А таких молекул очень мало. Из огромного числа молекул, содержащихся в кубическом сантиметре газа, лишь несколько имеют запас тепловой энергии, достаточный для того, чтобы пошла химическая реакция.

Однако доля активных молекул очень сильно возрастает с повышением температуры. Соответственно растет и скорость химической реакции. Чтобы почувствовать это, проще всего обратиться к числам. Реакция образования йодистого водорода из молекул водорода и йода при 290 К (комнатная температура) практически не идет: за миллион лет прореагировала бы всего одна тысячная процента смеси. Если же повысить температуру всего в два раза (до шестисот градусов Кельвина), то реакция в смеси закончилась бы всего за полтора часа. А при температуре в восемьсот градусов смесь прореагировала бы в течение секунды.

Для многих химических реакций справедливо следующее, довольно грубое, утверждение: повышение температуры на десять градусов приводит к удвоению скорости реакции.

Это свойство химических реакций природа использовала в процессе эволюции живых существ. Некоторые млекопитающие в трудное для них время года, зимние месяцы, впадают в спячку. При этом температура тела падает и лишь на несколько градусов превышает температуру окружающей среды. Жизненные процессы резко замедляются, что позволяет организму ограничить отдачу тепла наружу и преодолеть трудности, связанные с нехваткой питания. Наоборот, иногда выгодно повысить температуру тела (например, во время болезни) для того чтобы усилить обмен веществ и ускорить течение жизненных процессов. С этим успешно справляются органы терморегуляции организма.

Свойство химических реакций сильно ускоряться с повышением температуры лежит в основе объяснения и процессов горения.

III

Изучение горения лучше всего начать с какого-нибудь простого случая. Свеча для этого нам не годится — слишком много побочных факторов сопутствуют химической реакции горения. Топливо сначала должно расплавиться, затем подняться по фитилю, испариться и лишь потом, смешавшись с кислородом воздуха, сгореть. Вспомним слова Фарадея: «Как можно что-нибудь изучать, когда мешают трудности, не относящиеся к делу?»

Целесообразно начать с горения газов. Это связано с тем, что газовые химические реакции лучше изучены, чем реакции в конденсированных телах или на их поверхности. Кроме того, и многие физические процессы (теплопроводность, диффузия) в газовых системах мы можем рассчитывать лучше, чем в твердом теле или жидкости.

Пусть в некотором сосуде находится смесь газов, способная к экзотермической реакции. Если температура газа достаточно низка (например, комнатная), то лишь небольшая доля молекул может вступить в химическую реакцию. Для многих горючих смесей скорость реакции при комнатной температуре столь ничтожна, что они могут сохраняться очень долго. Повысим теперь температуру газа — возрастет скорость химической реакции, а вместе с нею и скорость выделения тепла. Это приведет к дальнейшему, уже самопроизвольному нагреву газа за счет его химической энергии. Если бы не было потерь энергии через стенки сосуда, то произошел бы, как обычно говорят, тепловой взрыв. Повышение температуры вело бы к росту скорости химической реакции, а рост скорости реакции к увеличению температуры. Скорость этого процесса очень быстро возрастает во времени, так что он носит взрывной характер. Повышение температуры газа после завершения реакции пропорционально тепловому эффекту.

При учете потерь энергии газа через стенки сосуда могут осуществиться два случая. Если размеры

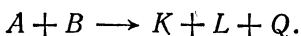
сосуда достаточно велики, то теплотери малы по сравнению с тепловыделением за счет химической реакции. Действительно, скорость выделения энергии пропорциональна объему сосуда, т. е. кубу его линейного размера, а теплотери — поверхности, которая пропорциональна квадрату линейного размера. Увеличение объема сосуда снижает роль теплотерь. Взрыв будет происходить, но менее бурно, чем в неограниченном сосуде. Если же роль теплотерь велика (небольшой объем газа), то взрыв не успеет развиться — после некоторого повышения температуры газа устанавливается стационарный режим, при котором тепловыделение равно теплотерям и реакция идет с почти постоянной, обычно малой, скоростью.

Необходимо отметить, что переход от невзрывного, медленного протекания реакции ко взрыву носит резкий характер. Достаточно лишь на немного увеличить размер сосуда или температуру окружающей среды, как течение реакции радикально меняется. Это один из примеров существования критических условий в горении.

Можно привести много примеров критических условий. Самые наглядные и понятные из них механические. Поставим на стол кость от домино (рис. 3). Если наклонить ее на угол, меньший некоторого, то предоставленная самой себе она вернется в начальное положение (а). В противном случае исход опыта будет совсем иным (б). Читатели, знакомые с принципом действия атомного реактора, вспомнят, конечно, что там критические условия связаны с равенством скорости выделения нейтронов в объеме реактора и скорости их поглощения и вылета из реагирующей среды. Есть критические условия и в животном мире. Чем крупнее животное, тем меньше у него отношение поверхности тела к его объему. У небольших животных потеря тепла на единицу массы очень велика, поэтому нужна очень высокая интенсивность обмена веществ. Это обстоятельство ставит предел уменьшению размеров тела теплокровного животного. Если человеку для поддержания жизни достаточно в сутки потреблять количество пищи, составляющее процент от его массы, то самое мелкое млекопитающее (землеройка массой три — пять граммов)

должно ежедневно поглощать количество пищи, равное массе животного.

В рассмотренной выше постановке опыта скорость химической реакции почти постоянна по объему сосуда, поэтому тепловой взрыв охватывает весь газ. Представим теперь, что в достаточно широкой трубе находится смесь газов A и B , которые могут реагировать с выделением некоторого количества тепла Q :



Если газ холодный, то скорость реакции ничтожна, и смесь будет находиться в трубе сколь угодно долго. Нагревая газ у одного конца трубы, можно вызвать местное воспламенение смеси. Выделившееся при этом тепло будет передаваться соседним, холодным слоям газа, что приведет к распространению реакции вдоль трубы.

Если смесь прореагировала в одном конце трубы (скажем, в правом), то по ее длине будет меняться не только температура, но и концентрации исходных A и B и конечных K и L продуктов. Неравномерность температуры приводит к процессу теплопроводности, т. е. к передаче тепла от уже прореагировавших объемов газа к свежей, холодной смеси. Из-за переменности концентраций возникает явление диффузии — молекулярный перенос вещества из областей с большой его концентрацией в те места, где оно находится в недостатке. Исходные вещества диффундируют направо, конечные — налево, в несгоревшую смесь. Процессы диффузии и теплопроводности сглаживают распределения температур и концентраций. Между свежей смесью и продуктами горения появляется зона, где присутствуют конечные продукты, а температура повышена, несмотря на то, что химическая реакция здесь не идет. На левом конце этой зоны, называемой областью подогрева, температура близка к начальной температуре T_0 , а

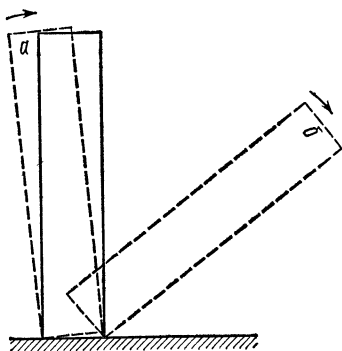


Рис. 3.

на правом — к температуре горения T_1 . Концентрация же исходного вещества падает слева направо и в конце зоны подогрева во много раз меньше начальной. Схематически распределение концентраций и температуры по длине трубы изображено на рис. 4.

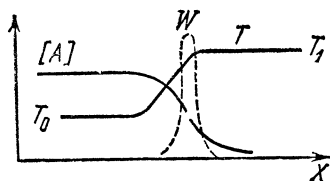


Рис. 4.

Где происходит химическая реакция? Мы знаем, что ее скорость зависит от концентрации исходных веществ и температуры. Слева большая концентрация, но низкая температура, справа — наоборот.

Вспомним теперь, что скорость реакции очень сильно зависит от температуры и гораздо слабее от концентрации реагирующих веществ. Поэтому можно утверждать, что максимальная скорость химической реакции достигается в том месте, где температура наивысшая, т. е. равна T_1 . Прерывистой линией на рисунке нанесена скорость реакции W в фронте пламени. Кривая имеет резкий максимум при T_1 . Левее реакция не идет, так как там мала температура, правее — из-за нулевой концентрации исходных веществ. Таким образом, наличие диффузии конечных продуктов реакции в исходную смесь приводит к тому, что реакция в основном идет в том месте, где исходное вещество сильно разбавлено продуктами реакции.

Приведем опять механическую аналогию. Расставим теперь в ряд много косточек от домино (рис. 5, а). Если они находятся не слишком далеко друг от друга, то достаточно уронить одну, чтобы «прореагировали» и соседние (рис. 5, б). Аналогия достаточно глубокая. Здесь можно различить и «свежую смесь», способную к реакции, но находящуюся в устойчивом состоянии (вертикально стоящие кости), «прореагировавшие» газы (лежащие кости), и «зону реакции» (падающие косточки). Так же как и в процессе горения, здесь распространяется «волна падения», которая движется со вполне определенной скоростью.

Однако вернемся к газу. Проследим за судьбой некоторой порции свежей смеси. Зона химической реакции, называемая фронтом пламени (он обычно

светится, так как газы нагреты), движется справа налево, поэтому выбранный нами объем газа рано или поздно попадает в зону подогрева, где он разбавляется продуктами горения и нагревается за счет тепла сгоревших ранее порций газа. Попадая же во фронт пламени и сгорая в нем, он выделяет тепло,

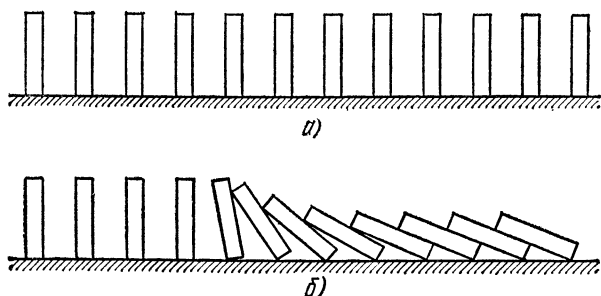


Рис. 5.

которое идет не на саморазогрев (температура во фронте максимальна), а на нагрев следующих порций свежей смеси. Таким образом, тепловая энергия берется в долг, который погашается в процессе сгорания.

Хотя химические реакции при температурах горения порядка двух тысяч градусов протекают очень быстро, скорость распространения пламени обычно мала — порядка десятков сантиметров в секунду. Это связано с тем, что существенным элементом процесса горения является перенос тепла, который идет с незначительной скоростью.

Мы уже упоминали, что распространение пламени по трубе возможно лишь при достаточно большом ее диаметре. Если диаметр мал, то в игру вступают теплопотери из зоны реакции в стенки трубы. Существует минимальный (критический) диаметр, при котором пламя уже не может себя поддерживать — происходит срыв горения. Для обычных газовых смесей, скажем, водорода или природного газа с воздухом, значение критического диаметра составляет один-два миллиметра. Это свойство пламени и использовал Дэви в изобретенной им безопасной лампе. Медная металлическая сетка с ячейками, раз-

мер которых меньше критического, не позволяет пламени проникнуть из лампы во внешнюю среду.

На этом мы закончим рассмотрение простейшего случая горения заранее перемешанных газов. Упомянем только, что именно его демонстрировал на своих лекциях Фарадей, когда проводил удивительно красивый опыт зажигания свечи на расстоянии. От фитиля только что погашенной свечи поднимается тонкая струйка пара, который, перемешиваясь с воздухом, образует горючую смесь. Пламя от горящей лучинки проскакивает по этому огневоду к еще не успевшему остыть фитилю и зажигает свечу.

IV

Рассмотрим теперь другие типы процесса горения. На практике во многих случаях используется горение газов, которые смешиваются между собой в процессе горения. В качестве примера можно привести пламена различных газовых горелок. Горючий газ (обычно более или менее сложные углеводороды) подается через отверстие горелки в атмосферу, где и смешивается с воздухом, кислород которого необходим для горения. Факел такой горелки

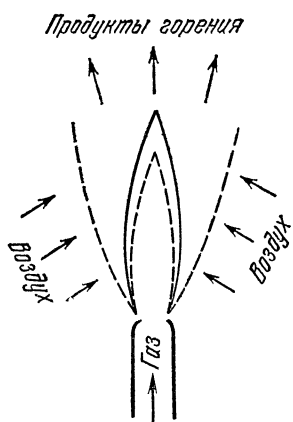


Рис. 6.

состоит из нескольких зон. В центре факела находится чистый газ, снаружи — окислитель (воздух). В промежуточных зонах в процессе диффузии различных газов друг в друга происходит их смешивание. Именно здесь и находится фронт горения, т. е. область максимальной температуры и максимальной скорости химической реакции. Теплопроводность из фронта пламени обеспечивает подогрев горючего и окислителя (рис. 6). Не правда ли, факел газовой горелки напоминает пламя свечи? Однако горение свечи намного

сложнее. Если поступление газа в горелке регулируется извне, то свеча сама диктует темп подачи горю-

чего. Иногда горелка состоит из двух концентрических труб, внутренняя из которых предназначена для подачи горючего, а через внешнюю поступает окислитель (воздух или чистый кислород).

Описывая физическую картину распространения пламени в газе, мы приняли, что плоский фронт его распространяется по неподвижной среде. В реальных тепловых установках обычно неподвижен фронт пламени, а смесь горючих газов подается в камеру сгорания с определенной скоростью. Известно, что движение жидкости или газа может быть ламинарным (упорядоченным) или турбулентным. В первом случае движение послойное; перемешивание и теплопроводность осуществляются путем перехода отдельных молекул между слоями с различными концентрацией и температурой. При турбулентном движении газа с определенной средней скоростью существуют беспорядочные во времени и пространстве пульсации скорости как в направлении движения, так и поперек его. Эти пульсации приводят к интенсивному перемешиванию и теплопроводности путем беспорядочного перемещения макроскопических объемов газа из одного места в другое.

Естественно, что турбулентные процессы переноса во много раз эффективнее молекулярных. Турбулентное течение газа приводит к искажению плоской формы фронта горения и к расширению зоны протекания химических реакций, а следовательно, и к ускорению горения. Именно такие режимы сгорания осуществляются и в упомянутой Фарадеем игре в изюм, в костре и в камерах сгорания жидкостных ракетных двигателей.

Исследование горения газов во многом помогает понять и картину горения твердых и жидких тел, поскольку и в этих случаях очень часто химическая реакция происходит в газовой фазе. Это связано с тем, что роль окислителя при горении обычно применяемых топлив — угля, дров, нефтепродуктов — играет воздух. В этом случае процесс горения происходит на поверхности раздела: твердое тело — газ или жидкость — газ. Реакции между веществами, находящимися в разных фазах, конденсированной и газовой, называются гетерогенными. Поэтому горение твердых и жидких тел объединяется одним терми-

ном — гетерогенное горение (горение газов называется гомогенным горением). Скорость гетерогенного горения во многом определяется процессом диффузии. Действительно, чтобы происходила реакция на поверхности конденсированной фазы, необходим достаточный диффузионный подвод окислителя (например, кислорода воздуха) к поверхности тела и одновременное удаление продуктов горения.

Горение некоторых типов жидких топлив — керосина, бензина, спирта — осуществляются гомогенным образом. Такое легко испаряющееся топливо может быть без труда переведено в газообразное состояние и перемешано с воздухом. Этот процесс и осуществляется в карбюраторах двигателей внутреннего сгорания. Чтобы облегчить испарение, топливо сначала распыляют при помощи форсунок, а затем перемешивают в потоке воздуха, движущегося с большой скоростью. В результате получается однородная смесь паров горючего и воздуха.

В большинстве же случаев в процессе горения жидкого топлива ясно различаются две фазы — жидкость и газ, причем химическая реакция, как правило, идет в газообразной фазе. Дело в том, что температура испарения жидкости всегда меньше температуры пламени ее паров. Поэтому гетерогенное горение жидких топлив есть последовательность двух процессов: испарения жидкости и горения ее паров. При этом теплота, необходимая для испарения жидкости, поступает из зоны горения. Очевидно, что ускорение сжигания жидкого топлива может быть достигнуто увеличением поверхности горения, например, при распылении его в капли. Если каплю радиусом один сантиметр разбить на капли радиуса порядка десяти микрометров, то их получится миллиард. Суммарная же поверхность капель будет превышать поверхность исходной капли в тысячу раз. Соответственно возрастет и скорость горения.

Все современные способы сжигания жидких горючих основаны на предварительном их разбрызгивании при помощи форсунок. Схема процесса горения отдельной капли состоит в следующем. Шарообразная капля окружена сферическим фронтом пламени, где достигается максимальная температура. Тепло, выделяемое химической реакцией, передается на по-

верхность капли, где происходит испарение жидкости. От капли к пламени диффундируют пары жидкости, а извне поступает окислитель. Навстречу ему диффундируют продукты горения. Аналогично горят и многие твердые топлива. Горючие газы получаются либо непосредственно при возгонке твердого тела (горение дров, спичка), либо при последовательном переходе твердое тело — жидкость — газ (свеча).

Горение самого распространенного твердого топлива — угля тоже обычно начинается с выделения газообразной «летучей» части. Всякое ископаемое твердое топливо содержит остатки органических веществ, которые при нагревании превращаются в газы. Большая же часть угля состоит из углерода, который и есть основной источник тепла. Хороший уголь содержит много углерода, в плохом его меньше. Так, донецкий антрацит, имеющий теплоту сгорания 7950 ккал/кг, на 96,5% состоит из углерода. При взаимодействии кислорода воздуха с углеродом на поверхности происходит чрезвычайно сложная реакция, детальный механизм которой еще окончательно не установлен. Однако важность проблемы привлекает к ней внимание со стороны многих исследователей.

Остановимся еще на важном случае горения — горении конденсированных систем, применяемых во взрывных работах и военном деле.

Пороха, или метательные взрывчатые вещества, составляющие особый класс взрывчатых веществ, предназначены для сообщения телам (снарядам, ракетам) большой скорости, имеющей вполне определенное направление. Пороха характеризуются большой устойчивостью процесса горения — даже при высоких давлениях горение их не переходит во взрыв.

С давних пор применялся для военных целей дымный, или черный порох, представляющий собой механическую смесь селитры, серы и древесного угля. При сгорании 1 кг дымного пороха образуется около трехсот литров газа. По сравнению с изобретенным в конце XIX века бездымным порохом это немного. Бездымные пороха, основа которых — пироксилин, дают гораздо больше газа — до восьмисот литров на килограмм. К бездымным порохам относятся и баллиститы, в которых вместо пироксилина используются нитроглицерин, нитродигликоль и другие вещества.

В последнее время в связи с бурным развитием ракетной техники повысился интерес к так называемым смешевым порохам. Подобно черному пороху они представляют собой смесь двух или большего числа компонентов. Один компонент является обычно окислителем — им может быть вещество, содержащее много кислорода, например, перхлорат аммония. В качестве горючего в порохе используются различные смолы и другие органические соединения. Смешевые порохы находят широкое применение в ракетной технике, так как скорость их горения может быть изменена путем варьирования состава, размеров частиц и т. п.

На этом мы закончим наш краткий обзор явлений горения.

В заключение следует отметить, что в последние годы горение оказалось связанным с рядом проблем, имеющих глобальный, общечеловеческий характер. Речь идет об энергетическом кризисе, охватившем ряд стран, и об экологических проблемах (охрана окружающей среды). Первый аспект возник в связи с истощением природных топливных ресурсов, а второй связан с вредным влиянием некоторых продуктов горения на биосферу. Решение этих проблем может быть достигнуто только совместными усилиями многих стран. Вот почему эти вопросы обсуждаются на самом высоком уровне. Понятен и тот огромный размах научных работ, которые ведутся в области горения как в нашей стране, так и за рубежом.

СОДЕРЖАНИЕ

Фарадей и его «История свечи»	3
Лекция I. СВЕЧА. ПЛАМЯ. ЕГО ПИТАНИЕ . ЕГО СТРОЕНИЕ. ПОДВИЖНОСТЬ. ЯРКОСТЬ	9
Лекция II. СВЕЧА. ЯРКОСТЬ ПЛАМЕНИ. ДЛЯ ГОРЕНИЯ НЕОБХОДИМ ВОЗДУХ. ОБРАЗОВАНИЕ ВОДЫ	26
Лекция III. ПРОДУКТЫ ГОРЕНИЯ. ВОДА, ОБРАЗУЮЩАЯСЯ ПРИ ГОРЕНИИ. ПРИРОДА ВОДЫ. СЛОЖНОЕ ВЕЩЕСТВО. ВОДОРОД	40
Лекция IV. ВОДОРОД В СВЕЧЕ. ВОДОРОД СГОРАЕТ И ПРЕВРАЩАЕТСЯ В ВОДУ. ДРУГАЯ СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ ВОДЫ — КИСЛОРОД	58
Лекция V. КИСЛОРОД СОДЕРЖИТСЯ В ВОЗДУХЕ. ПРИРОДА АТМОСФЕРЫ. ЕЕ СВОЙСТВА. ДРУГИЕ ПРОДУКТЫ ГОРЕНИЯ СВЕЧИ. УГЛЕКИСЛОТА. ЕЕ СВОЙСТВА	73
Лекция VI. УГЛЕРОД, ИЛИ УГОЛЬ. СВЕТИЛЬНЫЙ ГАЗ. ДЫХАНИЕ И ЕГО СХОДСТВО С ГОРЕНИЕМ СВЕЧИ. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	90
ЧТО ТАКОЕ ГОРЕНИЕ? (Б. Новожилов).	107

М. Фарадей

ИСТОРИЯ СВЕЧИ

М., 1980 г., 128 стр. с илл.

(Серия: Библиотечка «Квант»)

Редактор *Г. С. Куликов*
Техн. редактор *Е. В. Морозова*
Корректор *Т. С. Вайсберг*

ИБ № 11631

Сдано в набор 13.03.80. Подписано к печати 27.03.80. Бумага 84×108¹/₃₂,
тип. № 3. Литературная гарнитура. Высокая печать. Условн. печ. л. 6,72.
Уч.-изд. л. 6,75. Тираж 150 000 экз. Заказ № 580. Цена книги 35 коп.

Издательство «Наука»

Главная редакция физико-математической литературы
117071, Москва, В-71, Ленинский проспект, 15

Ленинградская типография № 2 головное предприятие ордена Трудового
Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им.
Евгений Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 198052, г. Ленин-
град, Л-52, Измайловский проспект, 29

БИБЛИОТЕЧКА «КВАНТ»

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ

Вып. 1. М. П. Бронштейн. Атомы и электроны.

Вып. 3. О. Оре. Приглашение в теорию чисел.

ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ В 1980 г.

Вып. 2. М. Фарадей. История свечи.

Вып. 4. Опыты в домашней лаборатории.

Вып. 5. И. Ш. Слободецкий, Л. Г. Асламазов.
Задачи по физике.

Вып. 6. Л. П. Мочалов. Головоломки.

Вып. 7. П. С. Александров. Введение в теорию групп.

Вып. 8. Г. Штейнгауз. Математический калейдоскоп.

Вып. 9. Замечательные ученые.