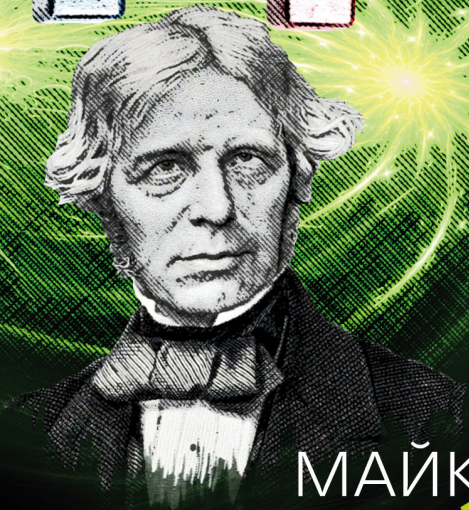


ЧЁРНЫЙ ЯЩИК **НАУКИ**



МАЙКЛ

ФАРАДЕЙ

ИСТОРИЯ СВЕЧИ

ГОРЕТЬ, ЧТОБЫ ЖИТЬ

Майкл Фарадей
История свечи.
Гореть, чтобы жить
Серия «Черный ящик науки»

Издательский текст

http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=33394653

История свечи. Гореть, чтобы жить: Алгоритм; М.; 2018

ISBN 978-5-907028-06-7

Аннотация

«История свечи» – произведение великого английского физика и химика, члена Лондонского королевского общества М. Фарадея (1791–1867). Эта книга (1860) представляет собой курс лекций, который был прочитан автором для юношеской аудитории. Фарадей рассказывает в них о различных законах природы, с которыми связано горение свечи. Книга доставит подлинное удовольствие и школьнику, и учителю, и студенту, и ученому-физику. Фарадей, который изучал процессы в области физики, писал: «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».

Содержание

История свечи[1]	5
Фарадей и его «История свечи»	5
Лекция I	12
Лекция II	36
Лекция III	57
Конец ознакомительного фрагмента.	68

Майкл Фарадей
История свечи.
Гореть, чтобы жить

© ООО «ТД Алгоритм», 2018

История свечи¹

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 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

¹ Под редакцией Б. В. Новожилова.

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 Майкл 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 становит-

ся 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 динамо-машина. 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».

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 корне противоречила господствующим в те времена

представлениям о мгновенной передаче действия на большие расстояния. Понятие поля – одно из основных понятий новой 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 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, существовало 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 дети знакомились с основами физики и химии. Во-вторых, читались более строгие, тщательно подготовленные, курсы лекций в период зимних кани-

кул. 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 все, 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.

В настоящем издании лекции Фарадея иллюстрируются рисунками Крукса.

Б.В. Новожилов

Лекция I

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 горящей 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 разобрать-

ся 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 вещества, 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 есте-

ственную свечу.

Но давайте будем говорить о настоящих свечах, употребляющихся в быту. Вот сальные свечки, называемые макаными. 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 коях. Как по этой причине, так и ради экономии горняки предпочитали пользоваться такими малюсенькими свечками, что на фунт² их шло двадцать, тридцать, сорок или даже шестьдесят штук. Свечи в шахтах были заменены сначала искровым освещением³, а за-

² 1 фунт = 453,6 г (*примеч. ред.*).

³ Искры, возникающие при стачивании наждачного круга, дают достаточно много света; вместе с тем они не воспламеняют рудничный газ из-за их сравнительной невысокой температуры (*примеч. ред.*).

тем лампой Дэви⁴ и другими типами безопасных ламп. Вот свеча, которую, говорят, полковник Пэслей поднял с «Ройал Джорджа»⁵. 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.

Мистер Филд из Ламбета⁶ снабдил меня прекрасной коллекцией свечей и материалов, из которых они изготавливаются. Вот, прежде всего, бычий жир, называемый, насколько я понимаю, русским салом, из которого изготавливаются маковые свечи. Сало это по способу, изобретенному Гей-Люссаком⁷ (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

⁴ Гэмфри Дэви (1778–1829) знаменитый английский физик и химик, иностранный почетный член Петербургской Академии наук. Под его руководством начал свою работу Фарадей (*примеч. ред.*).

⁵ «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 (*примеч. В. Крукса*).

⁶ Ламбет – один из округов Лондона (*примеч. ред.*).

⁷ Гей-Люссак (1778–1850) крупнейший французский физик и химик, иностранный почетный член Академии наук в Петербурге (*примеч. ред.*).

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; оставшая 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 удастся 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.

А как же делаются такие свечи? Я уже рассказал вам о свечах маканых, а теперь расскажу и о формованных. Представим себе, что какой-нибудь из этих сортов свечей делает-

ся 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 которые вставлены формы. Прежде всего, надо в каждую форму продеть фитиль, и притом плетеный, не дающий нагара⁸; на всем своем протяжении фитиль натянут, так как наверху он держится на проволочной перекладине, 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

⁸ Для того чтобы сделать золу более плавкой, подмешивают немного буры или фосфора (*примеч. В. Крукса*).

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 наколочниками, чтобы воск не целиком покрывал фитиль. Рама подвешивается так, чтобы она могла вращаться над котлом с растопленным воском. Рабочий зачерпывает ложкой воск из котла 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 обработанного 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 полился 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 «деревосвечка», 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 го-

рении 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 натек. 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 свечках 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 горячее, 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, неважно, 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 капиллярному⁹, или волосному, притяжению

⁹ Капиллярное притяжение или отталкивание – причина поднятия или опус-

горючее и переносится к тому месту, где происходит сгорание, и притом не как-нибудь, а идеально к центру пламени.

Сейчас я разьясню, 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 растоп-

кания 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 (*примеч. В. Крукса*). Латинское слово «капиллюс» значит «волос». Капиллярная трубка – трубка с каналом, «тонким как волос» (*примеч. ред.*).

ленным 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 проволочной 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 внизу. Вы бы вряд ли могли мне ответить, в каком состоянии находится этот сосуд, что в нем содержит-

ся 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: проволочная 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 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 случилось 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 полу-

чится 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 расплавленное 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 разобраться 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 задутый свечки, и это действительно неприятный запах. Но если вы ловко ее задуете, вы сможете хорошо рассмотреть эти пары, в которые превращается твердое вещество 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 23

дюймов¹⁰, вы увидите, как по воздуху от лучинки к фитилю пронесется полоска огня. Все это я должен проделать быстро, чтобы горючие газы, во-первых, не успели 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, которая может возникнуть только от пламени. Сравните блеск золота и серебра и еще большую 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 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; сверху оно ярче, чем внизу, где среднюю его часть занимает фитиль, и некоторые части пламени вследствие неполного сгорания не так ярки, как сверху.

¹⁰ 1 дюйм равен 2,54 см (примеч. ред.).

У меня есть рисунок, сделанный много лет назад Гукером в то время, когда он проводил свои исследования. Это рисунок пламени лампы, 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 пламе-

ни увидеть струйки чего-то, что не есть само пламя, а что увлекает за собой пламя в своем движении вверх.

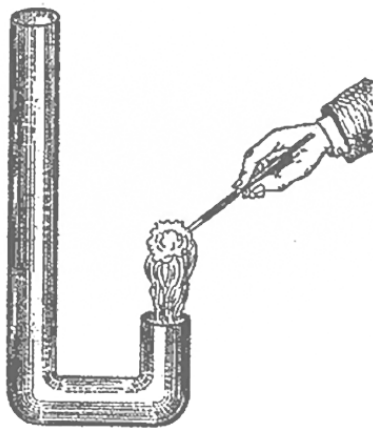
Сейчас я покажу вам этот опыт, но солнце в нем будет заменено электрическим светом от вольтовой дуги. Вот это у нас будет солнце с его интенсивным светом; поставив между ним и экраном горящую свечу, мы получаем тень от пламени. Вот здесь вам видна тень самой свечи, вот тень от фитиля; как и на нашем 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.



Чертеж пламени свечи. Та часть пламени, которая показана самой темной, в действительности самая яркая

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 ве-

ществом¹¹; дело в том, что если взять чистый спирт, его пламя вряд ли будет достаточно хорошо видно, чтобы вы могли проследить за ним.



Горящая горелка. Восходящий ток воздуха превращается в ток нисходящий

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

¹¹ В спирте была растворена хлористая медь – это дает красивое зеленое пламя (примеч. В. Крукса).

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.

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 зафиксировать в неподвижности.

Если пламя достаточно большое, оно не сохраняет единства и однородности своей формы, а разбивается и вспыхивает с изумительной мощью. 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 мощью, 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, кро-

ме 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 проделывал опыт, который я собираюсь вам показать. Я не ошибусь, полагая, что многим из вас случалось забавляться игрой с горящим изюмом¹²?

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 форму,

¹² 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 (*примеч. ред.*).

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.

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.

Лекция II

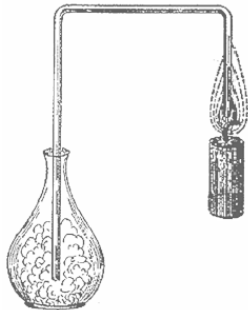
Свеча. Яркость пламени. Для горения необходим воздух. Образование воды

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, проходя 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 конденсируется¹³.

¹³ Во времена Фарадея считалось, что не все газы могут быть сконденсированы (*примеч. ред.*).



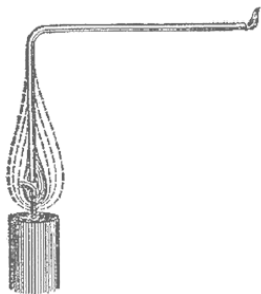
Кончик стеклянной трубки помещен в середину пламени свечи

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 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 Андерсон¹⁴ 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 веще-

¹⁴ Ассистент Фарадея (*примеч. ред.*).

ство, 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 поджечь. 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.



Помещение кончика трубки в середину пламени. Пары проходят сквозь трубку к ее другому концу, где зажигается настоящее пламя свечи

Сейчас я осторожно помещу в пламя кончик другой трубки. Действуя очень осторожно, 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 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, нахо-

дившиеся 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 поставить 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 гас-

нет? 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 Аргана¹⁵, 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 коп-

¹⁵ В масляной лампе, изобретенной швейцарским химиком Э. Арганом, фитиль имеет вид цилиндра, так что воздух поступает внутрь пламени (*примеч. ред.*).

тит, 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 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 смешиваю. (Прежде чем перейти к этим опытам, разрешите мне высказать надежду, что никто из вас не наделает беды, пытаясь их 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 пороху, 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 пламе-

нем и без пламени. Вот полученная смесь; теперь, когда я ее подожгу, вы должны будете следить за процессом горения, и вы увидите, что горение будет двойное. 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 *ликоподий*¹⁶.

Каждая из его пылинок может дать пары и вспыхнуть отдельным огоньком. Сейчас я зажгу немножко *ликоподия*, и вы увидите, что произойдет... Мы увидели целое обла-

¹⁶ *Ликоподий* – желтоватый порошок, споры *плауна*. Используется в пиротехнике (*примеч. В. Крукса*).

ко пламени, как будто единое, нераздельное; однако это потрескивание (лектор обращает внимание на звук, возникающий при горении) доказывает, что стгорание 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 повыше, 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 не горят и лучинку гасят. Так вот, эти частицы, как я уже и раньше вам говорил, это всего-навсего копоть свечи. Недаром Свифт советовал лентяям развлекаться, расписывая на потолке узоры с помо-

щью 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 проволочная 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 парообразное 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 проволочка – 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 проволочка получит от него мало тепла, вы все же увидите, что этого нагрева будет достаточно, чтобы довести накал проволочки до гораздо большей яркости, чем яркость самого пламени. В этом пламени 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.

Возьмем 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 твер-

дых 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 свету¹⁷.

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.

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.

¹⁷ Название связано с фамилией английского капитана Томаса Друммонда, впервые применившего этот источник света для практических целей (*примеч. ред.*).

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 улетучиться 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. 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 накалено. 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 коптящим пламенем. Но если я через эту трубочку проведу частицы копоти в водородное пламя, вы увидите, что они будут сгорать и испус-

кать 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 выделиться 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, дую 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 получаются 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 воздушный 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 наи-

лучшим 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, 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.)

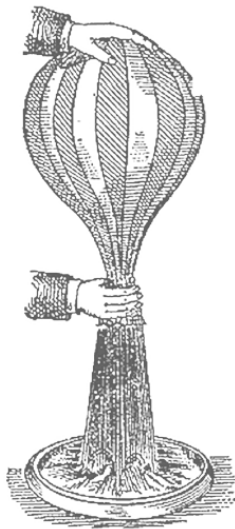


Иллюстрация опыта. Воздушный шар, тарелка, горючее (спирт), налитый в тарелку, сверху труба для тяги. После поджигания горючего можно уловить продукты горения у верхушки трубы

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 смотри-

те (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 закоптелась), 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.

Лекция III

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 поддающихся 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 уберу 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.

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 индивид, 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, добы-

тая 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 рукоятка кочерги¹⁸, если ее удастся достаточно долго продержать над пламенем свечи так, чтобы она оставалась 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 Протею¹⁹, свои многообразные изменения, остается всегда одним и тем же веществом все равно, получена ли она из свечи при ее сгорании, или же из рек или оке-

¹⁸ Имеется в виду кочерга с массивной металлической ручкой (*примеч. ред.*).

¹⁹ Протей в греческой мифологии – морское божество, вещей старец. Ему приписывалась удивительная способность принимать различные образы и мгновенно исчезать (*примеч. ред.*).

ана.

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 домах²⁰.

Вода в свою очередь превращается в пар, если ее достаточно нагреть. Та вода, которую вы видите здесь перед собой, обладает наибольшей плотностью²¹, и хотя она меняется по весу, по состоянию, по форме и многим другим свой-

²⁰ Лекции Фарадея читались в период зимних каникул. Видимо, чередовались заморозки и оттепели, которые приводили к затоплению подвальных помещений (*примеч. ред.*).

²¹ Наибольшую плотность вода имеет при 39,1 градуса по шкале Фаренгейта (*примеч. 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°. Легко сосчитать, что приведенное в примечании к английскому изданию значение температуры соответствует четырем градусам по шкале Цельсия (*примеч. ред.*).

ствам, 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 покрывает дно слоем приблизительно в два дюйма. Теперь я собираюсь превратить эту воду в пар, чтобы показать вам разницу в объеме, занимаемом водой в ее различных состояниях воды и пара.

Пока разберем, что происходит при превращении воды в лед. Это можно осуществить, охлаждая ее в смеси толченого льда с солью²², 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

²² В смеси с солью температура таяния льда понижается (*примеч. ред.*).

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 произойдет. 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 чугушной скорлупой, которая оказалась 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 пытается 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 дюйм²³.

Форма у них одинаковая, и различаются они только по объему. Так вот, одного кубического дюйма воды оказывает-

²³ В футах двенадцать дюймов. 1 фут равен 30,4 см (*примеч. ред.*).

ся достаточно для того, чтобы расшириться до целого кубического фута пара. И 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.

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.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

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

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