



GALILEO

Джордж Джонсон
**Десять самых
красивых
экспериментов**
в истории науки

Издательство "Колибри"

Джордж Джонсон

Десять самых красивых экспериментов в истории науки (Galileo)

В наше время научные открытия совершаются большими коллективами ученых, но не так давно все было иначе. В истории навсегда остались звездные часы, когда ученые, задавая вопросы природе, получали ответы, ставя эксперимент в одиночку.

Джордж Джонсон, замечательный популяризатор науки, рассказывает, как во время опытов по гравитации Галилео Галилей пел песни, отмеряя промежутки времени, Уильям Гарвей перевязывал руку, наблюдая ход крови по артериям и венам, а Иван Павлов заставлял подопытных собак истекать слюной при ударе тока.

Перевод опубликован с согласия Alfred A. Knopf, филиала издательской группы Random House, Inc.

Джордж Джонсон

ДЕСЯТЬ САМЫХ КРАСИВЫХ ЭКСПЕРИМЕН- ТОВ

В ИСТОРИИ НАУКИ

Когда, уже в пожилом возрасте, Альберт Эйнштейн решил написать небольшой томик мемуаров, — по его собственному выражению, «своего рода некролог самому себе». — он вспомнил тот день, когда отец впервые показал ему компас. Поворачивая его в разные стороны, мальчик с удивлением наблюдал, как стрелка упрямо показывала на север. «Я до сих пор помню, — по крайней мере, мне кажется, что помню. — как сильно и надолго впечатлило меня это явление, — писал Эйнштейн. — Выходит, за всем тем, что существует в мире, непременно скрывается нечто глубинное, потаенное!»

Предисловие

Несколько лет назад солнечным зимним утром я поднимался на машине на горку, на которой расположен колледж Святого Иоанна, чтобы поиграть с электронами. Незадолго до того я познакомился с президентом этого учебного заведения, расположенного в предгорьях Санта-Фе. Признаться, я был поражен, узнав, что студентов гуманитарных факультетов тут учили, как повторить знаменитый эксперимент, проведенный в 1909 году Робертом Миллиkenом, в котором ему удалось изолировать и измерить электрон, а также показать, что он является переносчиком электричества.

Этот колледж, как и аналогичный колледж в Аннаполисе, строит обучение на основе классической программы — изучение физики начинается с VI века до н. э., с трудов философов-досократиков. Именно тогда Фалес Милетский заложил первый камень в Теорию Великого Объединения, заявив: «Всё сотворено из воды». Будь он жив сегодня, наверняка работал бы над теорией суперструн.

Фалес также отметил, что порода, называемая магнетит, — та, что находят в Магнезии, — невидимой силой притягивает металлы, а если кусочек янтаря, который древние греки называли *электроном*, обо что-нибудь потереть, то он приобретает чудесное свойство: начинает притягивать к себе мелкую солому и чешуйки зерна. Пройдет еще более двух тысяч лет, и врач королевы Елизаветы I по имени Уильям Гилберт заметит, что, если шелком потереть стекло, оно «наянтарится», то есть наэлектризуется (Гилберт оказался первым, кто использовал этот термин), и более того — другие материалы тоже можно «оживить» подобным образом! Трение, рассуждал Гилберт, нагревает некую содержащуюся в телах жидкость, которая начинает источать липкий, газообразный заряд. Французский физик Шарль Франсуа де Систерне Дюфе пошел еще дальше. Он обнаружил, что натертый янтарь отталкивает те предметы, которые натертое стекло притягивает, и сделал вывод: электричество бывает двух видов — «смоляное» и «стекольное». Однако только Милликену удалось найти разумное объяснение всем этим явлениям.

Физическая лаборатория колледжа располагалась в цоколе окруженного соснами двухэтажного дома в стиле территорий[1]. Занятий не было, жалюзи были опущены, и в помещении царил полумрак. В противоположном конце аудитории директор лаборатории Ханс фон Бризен собирал на деревянном лабораторном столе экспериментальную установку. В колледже существует традиция, согласно которой студенты и преподаватели *должны* обращаться друг к другу, используя вежливое «мистер», — мистер фон Бризен, мистер Джонсон, — поэтому даже разговоры в коридоре по стилю напоминают колонку светских новостей в респектабельной «Нью-Йорк тайме».

Идея эксперимента Милликена, пояснял мистер фон Бризен, заключается в следующем: используя пульверизатор для духов, впрыскивать мельчайшие капельки масла в пространство между двумя металлическими пластинами, одна из которых заряжена «смоляным» электричеством, а вторая — «стекольным». Некоторые капельки, натираемые воздухом так же, как натирал янтарь Фалес, электризуются. Меняя напряжение на пластинах, можно заставить капельки подниматься, опускаться или висеть в определенном положении.

По массе капли и напряжению, необходимому для того, чтобы предупредить ее падение, легко рассчитать ее заряд. Проведя измерения на достаточном количестве капель, можно определить, ведет ли себя заряд как жидкость, накапливаясь в любом количестве, или он дискретен, как мелочь в кармане. Если последнее утверждение спра-

ведливо, то самый маленький заряд и будет элементарной единицей электричества, т. е. зарядом электрона.

Когда экспериментальная установка была собрана, начался сам эксперимент. После нескольких пробных пусков мистер фон Бризен пригласил меня посмотреть на происходящее. Заглянув в камеру через увеличительное оптическое устройство, похожее на маленький телескоп, я увидел капли. При задней подсветке они сияли, как созвездие или даже галактика. Сам Милликен описывал эту картину так: «Капля казалась звездой-бриллиантом».

Наука в XXI веке превратилась в индустрию. Открытия, о которых то и дело пишут газеты, — расшифровка генома, доказательство существования топ-кварков, открытие новой планеты по анализу колебаний далекой звезды, — стоят миллионы долларов. Они порождают терабайты информации, для изучения которых необходимы суперкомпьютеры, превратившиеся в фабрики по производству расчетов и излучающие столько тепловой энергии, что для их охлаждения требуются установки, потребляющие не меньше электричества, чем небольшие города. Эксперименты проводятся исследовательскими группами, по своим размерам не уступающие корпорациям.

Однако совсем недавно самые потрясающие научные открытия делались учеными в одиночку. Великие эксперименты, существенно расширявшие границы познанного, ставились одним или двумя учеными на лабораторном столе. Расчеты, если в них возникала необходимость, делались на листе бумаги, а позднее — с помощью логарифмической линейки.

Эти эксперименты задумывались и проводились с такой безупречной элегантностью, что заслуживают, чтобы их называли красивыми. Причем красивыми в классическом понимании этого слова — логическая простота оборудования наряду с логической простотой анализа кажутся столь же безупречными и естественными, сколь и линии древнегреческой статуи. Они не оставляют места сомнениям и неоднозначности, расширяя и углубляя наши знания о природе. Будучи популяризатором науки, я восхищаюсь такими умозрительными построениями, как квантовая механика и общая теория относительности, которые стремятся отразить реальность с помощью нескольких изящных уравнений. Чтобы понять, насколько абстрактными стали эти исследования, достаточно упомянуть теорию суперструн, утверждающую, что материя изначально генерируется математическими сниппетами, колеблющимися в десяти-мерном пространстве. Это потрясает воображение, но при этом и запутывает обычного человека, да настолько, что возникает острое желание вернуться к первоосновам.

Журнал *Physics World* («Мир физики») однажды провел опрос своих читателей, спросив их, какие эксперименты они считают самыми красивыми. По результатам опроса были названы десять лучших экспериментов, которые, как и предполагалось, относятся к области физики. Но я подумал, а что, если раскинуть сети шире? И тогда появился мой собственный список.

Первым делом нужно было определиться, с чего начать. С Фалеса, натирающего янтарь, чтобы получить статическое электричество? Но здесь нет той элегантности, которая меня восхищает: ничего нельзя регулировать, нет никакой системы — Фалес не пытался понять, какие материалы, при каких условиях могут заряжаться таким образом. Ведь, как удалось показать Гилберту, это свойство янтаря вовсе не уникально. Экспериментальная наука явно началась не с Фалеса.

Может, стоит начать с Пифагора, еще одного досократика, который обнаружил, что звучание музыкальной струны подчиняется строгим математическим пропорциям? Если вся струна дает ноту до, то три четверти струны будут звучать как фа, а две трети — как соль. Если снова взять половину струны, то она зазвучит как нота до, но более высокой октавы. Все вещи суть числа, заявил Пифагор, предложив, тем самым, еще одну теорию Великого объединения. Тут бы ему остановиться, но он в своих рассуждениях пошел дальше и сказал, что огонь состоит из 24 прямоугольных треугольников, а вода — из ста двадцати. Так эксперимент уступил место мистицизму.

Можно рассмотреть кандидатуру Архимеда. Не очень достоверный рассказ о том, как он выскочил из ванны с криком «Эврика!», когда ему открылся закон, получивший его имя, преуменьшает значимость этого открытия. Его трактат «О плавающих телах» считается шедевром математического мышления, и не только потому, что знаменитому греку удалось сформулировать ныне всем известный закон (на всякое тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, направленная вверх и равная весу вытесненной им жидкости). Он также рассчитал, как конический объект, называемый параболоидом, будет плавать при погружении в воду. (Айсберги можно приближенно рассматривать как параболоиды, и ведут они себя примерно так, как предсказывал Архимед.)

Своим авторитетом, однако, он обязан умению мыслить, а не эксперименту. Это еще один великий теоретик. Я же хочу найти те редкие случаи, когда, используя подручный материал, любопытствующая душа умудряется задать вопрос Вселенной и не успокаивается, пока не получит ответа. В идеале даже сами приборы, с помощью которых ищется этот ответ, должны отличаться красотой — полированное дерево, бронза, сияющий черный эбонит. Но еще большее значение имеет красота схемы эксперимента и его исполнения, чистота линий человеческой мысли.

По этой причине мне придется оставить древнюю Грецию и переместиться сразу в XVII век, когда человек по имени Галилей сформулировал фундаментальный закон движения. От этого пункта я последовал дальше, периодически делая остановки на славном пути науки, пока наконец не встретился с Милликоном и его крохотными звездами.

Не исключено, что у читателей моей книги может сложиться свой список. Мой друг, возражая мне, спросил: «А стоит ли называть книгу «Десять самых красивых экспериментов»?» Может, он и прав. Но мне кажется, что и в отборе экспериментов, и в том, что мне захотелось рассказать о них, есть что-то от случая, а что-то — от искусства. Это книга не о великих открытиях, не о счастливой случайности, которая помогла Галилею разглядеть движение спутников Юпитера, а Чарльзу Дарвину выбрать для своих наблюдений зябликов, — в этих историях нет сознательной, управляемой попытки задать вопрос и получить ответ. Мою книгу также нельзя рассматривать как сборник кратких научных биографий, которых и так существует великое множество. Некоторые жизнеописания, например Антуана Лорана Лавуазье и Альберта Майкельсона, привлекли меня своей необычностью. О Галилее и Ньютоне и без меня рассказано много. Я старался выделять самое главное и так, чтобы эксперимент, а не экспериментатор становился героем моей книги.

Желая сократить объем книги до разумного минимума, я решил не тратить много чернил на то, чтобы каждому отдать должное, тем более что для историка это представляет непростую задачу. Удивительное открытие Джеймса Джоуля, касающееся

энергии и теплоты, предвиделось еще Робертом Майером, однако только Джоулю удалось поставить великолепный эксперимент. Поэтому мне хочется процитировать лорда Кельвина, который однажды сказал: «Вопрос о личном приоритете, каким бы важным он ни казался некоторым ученым, теряет всякое значение на фоне захватывающей перспективы — проникнуть в тайны природы».

Глава I

ГАЛИЛЕЙ

Правда о движении

Ничто не вызывает такой неприязни и раздражения, как люди, настаивающие на своем равенстве с другими учеными в определенной области и принимающие как должное некоторые выводы, которые со временем легко и просто опровергаются [2].

Галилео Галилей. Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей науки

Когда вы бросаете камень, ловите мяч или прыгаете достаточно энергично, чтобы взять барьер, мозжечок, представляющий собой древнюю, бессознательную часть мозга, естественным образом ощущает на себе действие фундаментальных законов движения. Сила равна массе, умноженной на ускорение. Всякое действие вызывает равное ему противодействие. Но физическая сущность этого скрыта от более нового, головного мозга, благодаря которому мы мыслим и осознаем себя. Можно прыгать с грациозностью кошки, но при этом не иметь никакого понятия о гравитации.

В IV веке до н. э. Аристотель сделал первую амбициозную попытку сформулировать законы движения. Предмет падает пропорционально своему весу — чем тяжелее камень, тем быстрее он достигает поверхности земли. Для других видов движения (толкание книги на поверхности стола, движение плуга по полю) силу нужно прилагать постоянно. Чем больше прилагаемая сила, тем быстрее движется предмет. Как только перестаешь его толкать, он тут же останавливается.

Хотя это звучит на первый взгляд разумно и кажется очевидным, но, по сути, такое утверждение ложно.

Что станет с книгой, если ее положить на лед и легонько толкнуть? Она будет двигаться еще какое-то время и после того, как сила на нее перестала действовать. (Когда Аристотеля спросили, почему стрела летит, расставшись с тетивой, он ответил, что она летит, подталкиваемая воздухом.) Теперь мы знаем, что все, чему сообщается движение, продолжает двигаться до тех пор, пока ему на пути не встретится что-

нибудь другое или пока его не остановит трение. Кроме того, если с одной высоты бросить килограммовую и пятикилограммовую гири, то они, как показал Галилей, приземлятся одновременно.

Нет ничего удивительного в том, что этот великий ниспровергатель Аристотеля, воспетый в пьесе Бертольта Брехта, опере Филипа Гласса и поп-группой *Indigo girls*, оказался ниспровергателем самого себя. Вряд ли, говорят историки, Галилей бросал гири с Пизанской «падающей» башни. Не верят они и в историю с маятником, будто Галилея осенило, что маятники совершают колебания, равные по времени, когда он наблюдал за колебаниями потолочного светильника в Пизанском соборе, измеряя его движение по биению своего сердца.

При тщательном рассмотрении его слава как космолога тоже меркнет. Да, Галилей был самым красноречивым сторонником гелиоцентрической системы Коперника, а его «Диалог о двух главнейших системах мира» — первый выдающийся образчик научно-популярной литературы, однако в нем отсутствовало то, что оказалось совершенно очевидным для Кеплера: планеты движутся по эллипсам. Галилей считал, что орбиты должны представлять собой совершенный круг. В этом он следовал за Аристотелем, который заявил, что если на Земле (в подлунном мире) движение должно иметь начало и конец, то движение на небесах обязано быть круговым.

Если допустить, что эта идея верна и не противоречит тому, что происходит на небе, то отсюда следует, что планеты должны двигаться не просто по кругам, но по кругам внутри кругов. Мы приходим к тем же старым добрым эпициклам, которые так утяжелили геоцентрическую систему Птолемея.

Но самое большое разочарование нас ждет, когда мы узнаем, что его раскаяние перед католической инквизицией не было, как гласит легенда, неискренним и он никогда не произносил «*Errui si muove*» («И все-таки она вертится!»). Он не был мучеником. Узнав о своем поражении, он просто удалился в Арчетри зализывать раны.

По-настоящему великим Галилея сделала работа, которую он выполнил задолго до того, как у него возникли проблемы с Ватиканом. Тогда он изучал движение не огромных звезд и планет, а обычных, земных предметов, которое оказалось намного загадочней, чем это можно себе представить. И тут нам совершенно не важно, проводил ли Галилей свои опыты на Пизанской башне или нет.

Этот эксперимент он изложил в другом своем шедевре — «Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей науки», которые написал в последний год ссылки. Как и более ранняя его работа, эти «Беседы» представляют собой разговор трех знатных итальянских граждан, Сальвиати, Сагрето и Симпличио, которые хотят понять, как устроен мир.

Сальвиати — это, по сути, сам Галилей. С самого начала общей беседы он утверждает, что пушечное ядро весом 100 фунтов и мушкетная пуля весом один фунт достигнут земли почти одновременно, если их сбросить в один и тот же момент с одной и той же высоты. Правда, в эксперименте более тяжелый предмет опережал более легкий «на толщину двух пальцев», но Сальвиати объяснял это действием других факторов, которые искажают результаты, например сопротивлением воздуха. Главным было то, что оба предмета двигались «почти в унисон». Когда пушечное ядро достигло уровня земли, мушкетная пуля прошла не одну сотую расстояния или один локоть, как мог бы подсказать здравый смысл. Под двумя «пальцами» не скроешь 99 локтей, на которых настаивал Аристотель, описывая подобные опыты. Но если обра-

цать внимание на такую крохотную погрешность, то и значительно большую ошибку Аристотеля тоже замолчать не удастся. При всех равных условиях скорость, с какой тело падает на землю, не зависит от его веса.

Труднее ответить на вопрос, что с телом происходит с начала падения до того момента, когда оно коснулось земли. Общеизвестно, что оно ускоряется. Но как это происходит? Ускоряется ли тело с самого начала или происходит много маленьких ускорений по мере движения?

Не имея рапид-фотографии и электронных датчиков для хронометража падающего тела, можно лишь предаваться рассуждениям. Галилею нужен был аналогичный эксперимент, но с меньшей скоростью падения, которая позволяла бы делать наблюдения. Ну, например, шарик, который катится по гладкой наклонной плоскости. То, что справедливо для движения при небольшом наклоне, будет справедливым и при большом, и при самом максимальном, т. е. при падении. Он нашел способ правильно задать вопрос.

Случилось это, наверное, в 1604 году. Через тридцать лет он, а точнее, Сальвиати, так описал эксперимент:

Берем деревянную болванку или брус длиной 12 локтей, в локоть шириной и толщиной в три пальца, Прорежем в нем желоб шириной чуть более одного пальца. Сделав эту канавку очень прямой, *ровной* и отполированной и выстелив ее пергаментом, тоже гладким и отполированным настолько, насколько это возможно, начнем катать по ней твердый, гладкий и очень круглый шар.

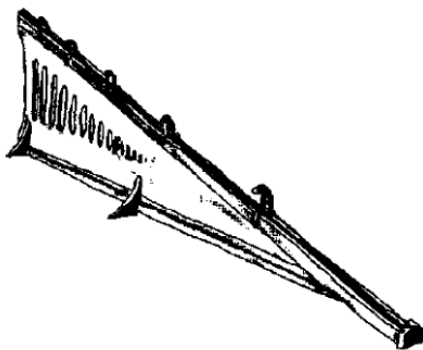
Флорентийский локоть равен двадцати дюймам, поэтому можно представить, как Галилей прилаживал под определенным углом шестиметровую доску шириной двадцать пять сантиметров.

Установив доску наклонно путем поднятия одного ее конца на два локтя над другим ее концом, мы пускали шарик, как я уже говорил, по желобу, отмечая, как будет описано отдельно, время, необходимое шарiku для спуска. Мы повторяли этот эксперимент несколько раз, чтобы измерить время с точностью, не хуже одной десятой сердечного ритма.

Усовершенствовав методику, рассказывал Сальвиати, удалось измерить время, необходимое шарiku, чтобы преодолеть одну четвертую пути, две трети, а затем три четверти пути. Эксперименты повторялись при разных углах наклона доски, и всего было проведено то измерений, при этом использовалось простое устройство под названием водяные часы, которые похожи на песочные, только вместо песка в них вода.

**Изображение эксперимента с наклонной плоскостью.
Скатывающийся шарик заставляет колокольчики звенеть**

Рис. Элисон Кент



Мы взяли большой сосуд с водой и установили его на некотором возвышении. К днищу этого сосуда была припаяна трубка небольшого диаметра, через которую протекала тонкая струйка воды. В течение каждого спуска вода собиралась в стеклянный кувшин, как за время преодоления всего желоба, так и прохода отдельных частей пути. Собранная после каждого скатывания вода затем взвешивалась на очень точных весах. Разница в весе и соотношение весов давали нам разницу и соотношение времени, причем с такой точностью, что, несмотря на многократное повторение действия, заметного расхождения результатов не наблюдалось.

Вес воды был эквивалентом продолжительности времени. Гениально! Хотя не исключено, что некоторые современные историки науки так и не считают.

К примеру, Александр Койре[3], читая тремя столетиями позже, в 1953 году, эти написанные Галилеем слова, с трудом сдерживал раздражение:

Бронзовый шарик, катящийся по «гладкому и отполированному» деревянному желобу! Сосуд с водой, имеющий небольшое отверстие, через которое вытекала вода и которую собирали в небольшой кувшин для последующего взвешивания, измеряя таким образом время скатывания шарика... Тут целый набор источников ошибок и неточностей! Совершенно очевидно — эксперименты Галилея абсолютно бесполезны.

Койре подозревал, что эксперименты эти вообще не проводились и что Галилей лишь представлял, как скатывается шарик, используя этот пример в педагогических целях как иллюстрацию закона физики, который он сформулировал математически, применяя старомодный метод рассуждений. Казалось, Галилея опять удалось развенчать.

Однако двадцать лет спустя Стилман Дрейк, один из ведущих специалистов по научным трудам Галилея, изучая старинные манускрипты в Центральной национальной библиотеке Флоренции, обнаружил среди них несколько ранее не публиковавшихся страничек с записями самого Галилея.

Галилей не умел расставаться ни со своими вещами, ни с записями, и когда в конце XX века его записные книжки были опубликованы, редактор книги Антонио Фаваро решил опустить несколько страничек, которые ему показались не более чем черновиками каких-то вычислений и диаграмм, не имеющих никакого смысла. Непонятные листочки лежали отдельно, и было неясно, когда Галилей сделал эти записи и над чем он в то время работал.

Дрейк в то время трудился над новым английским переводом «Бесед и математических доказательств, касающихся двух новых отраслей науки». В начале 1972 года он три месяца провел во Флоренции, изучая 160 страниц 72-го тома архива Галилея, сравнивая водяные знаки и почерк, пытаясь разложить страницы в нужном порядке. Самыми ранними оказались страницы с результатами эксперимента 1604 года. Галилей тогда жил в Падуе.

По этим обрывкам Дрейк восстановил эксперимент, проведенный столетия назад, и при небольших допущениях мы теперь можем себе представить ход мыслей Галилея. Он отпускал шарик на самом верху наклонной плоскости и замечал, что поначалу шарик проходит расстояние в 33 точки (Галилей использовал линейку, разделенную на 60 равных отрезков, и расстояние между точками, по мнению Дрейка, должно было равняться примерно одному миллиметру). Когда проходило определенное время, шарик разгонялся и преодолевал расстояние в 130 то — чек, а в конце третьего интервала — 298 точек. Затем 526, 824, 1192, 1620 и т. д., все быстрее и быстрее. Это были данные реального эксперимента. Для последнего отрезка, на котором шарик двигался с максимальной скоростью, Галилей сначала написал 2123 точки, но потом зачеркнул и исправил число на 2104. К некоторым из своих чисел он добавлял знак плюс или минус, который, со всей очевидностью, показывал, когда результаты были несколько выше или ниже приведенного числа.

Использованные им единицы времени значения не имеют. Мы можем их назвать, например, тиками. Главное — то, что все интервалы были одинаковыми:

1	2	3	4	5	6	7	8	Тики (время)
33	130	298	526	824	1192	1620	2104	Пройденное расстояние

Поначалу никакой закономерности тут не видно. С каждым тиком шарик преодолевал все большее расстояние, но по какому правилу? Галилей начал играть числами. Может быть, скорость увеличивалась по закону арифметической прогрессии и стоит выписать ряд нечетных чисел: 1, 5, 9, 13, 17, 21...? На втором тике шарик будет двигаться в пять раз быстрее, чем на первом, преодолевая 5×33 или 165 точек. Число слишком большое, но может лежать в пределах погрешности эксперимента. Расстояние, преодолеваемое за третий тик, будет уже в девять раз больше: $33 \times 9 = 297$ точек. Полное совпадение! За четвертый тик шарик пройдет $13 \times 33 = 429$. Слишком мало... Дрейк видел, как на странице манускрипта Галилей зачеркивает числа и начинает вычисления снова.

За первый тик шарик преодолевает 33 точки, затем 130. А что, если эти числа поделить? $130:33 = 3,9$. Расстояние увеличилось почти в четыре раза. За третий тик расстояние увеличилось почти в девять раз по отношению к первоначальному: $298/33$.

Тогда получается ряд 15,9; 25,0; 36,1; 49,1; 63,8. Он округлил числа и записал их, используя другие чернила и перо, в столбец: 4,9,16, 25,36,49,64.

Он нашел ключ: с небольшой погрешностью можно было утверждать, что пройденное расстояние увеличивалось пропорционально квадрату времени. Если плоскость удлинить, то можно с уверенностью рассчитать, что для следующего тика коэффициент будет равен 81 (9*), а потом последуют 100, 121, 144, 169 и т. д.

В этих расчетах расстояние суммируется: за четыре тика шарик пройдет расстояние в 16 раз больше, чем он прошел к концу первого тика. Но какое расстояние проходит шарик за каждый отдельный отрезок времени и насколько расстояние между третьим и четвертым тиком будет больше расстояния, пройденного между вторым и третьим тиком? Ответ можно найти, используя арифметические методы.

Свойство квадратов таково, что они равняются сумме предшествующих им нечетных чисел: 4 = 1 + 3; 9 = 1 + 3 + 5; 16 = 1 + 3 + 5 + 7. Из закона квадрата времени следует, что расстояние между тиками должно увеличиваться как прогрессия нечетных чисел. Данные Галилео показывают, как это происходит.

1	2	3	4	5...	Тики (время)
33	130	298	526	824	Точки
					(суммарное
					расстояние)
	130-33	298-130	526-298	824-526	Точки
	97	168	228	298	(расстояние,
					пройденное за
					один отрезок
					времени)
	97:33	168:33	228:33	298:33	Отношение
	2,9	5,1	6,9	9,0	расстояний

От тика к тикку шарик преодолевает сначала три первых расстояния, потом пять первых расстояний, потом — девять. По сути, Галилей мог взять прогрессию нечетных чисел и получить отношение, равное квадрату времени. Но как бы он к этому выводу ни пришел, результатом его исследований стало открытие нового фундаментального закона. Чем круче наклонная, тем быстрее будет двигаться шарик, придерживаясь тем не менее одного и того же закона, который, вероятно, должен соблюдаться даже тогда, когда наклон достигнет 90°, т. е. шарик начнет падать вниз по прямой.

При другом крайнем случае, когда угол наклона равен нулю, ускорения движения не произойдет. Как только шарик, скатывающийся по наклонной' плоскости, достигнет плоскости стола, он будет двигаться равномерно сколь угодно долго, если плоскость будет бесконечной, а трение отсутствовать. Но что произойдет, когда шарик достигнет края стола и начнет падать? Галилей дает ответ на этот вопрос в книге «Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей науки»: не ускоряющееся горизонтальное движение и ускоряющееся вниз вертикальное движение объединяются и дают траекторию, имеющую форму параболы.

Пока непонятно, как Галилею удалось так точно измерить отрезки времени продолжительностью менее 1 секунды. Используя горшок для цветов и водяные часы, студент-выпускник Корнельского университета Томас Б. Сеттл пускал бильярдные

шары по наклонной сосновой доске и сумел доказать справедливость закона квадрата времени. Однако он, как и Дрейк, сомневался в том, что при полном неведении можно было обнаружить эту зависимость с помощью такого примитивного инструментария. Дрейк посчитал, что метод Галилея был более совершенным и удивительным.

Он понял, что Галилею было не обязательно считать время так, как это делается сегодня, т. е. в секундах, полусекундах или в любых других удобных для него единицах. Нужно было лишь разделить время на равные отрезки, а это — талант, присущий любому хорошему музыканту.

«Дирижер оркестра взмахами дирижерской палочки отмеряет время с достаточно высокой точностью в течение продолжительного периода, не думая при этом ни о секундах, ни о других стандартных единицах, — писал Дрейк. — Он задает определенную периодичность, подчиняясь внутреннему ритму, причем может делить интервалы надвое не один раз с точностью, завидной для любого механического инструмента». Так же поступают и музыканты, и даже слушатели. «Если ударник позволит себе вступить в оркестре с опозданием всего на некоторую долю секунду, скажем, на $1/64$ музыкального размера, то это заметят многие, и не только дирижер».

«Поэтому, — рассуждал Дрейк, — Галилей так и поступал: прежде чем пустить шарик по наклонной плоскости, он мог задавать ритм, исполняя простую мелодию*. Дрейк использовал в эксперименте гимн «Вперед, Христово воинство!» с темпом примерно два удара в секунду. Отпустив шарик на самом верху наклонной плоскости, он мелом отмечал положение шарика при каждом ударе.

Дрейку, как, наверное, и Галилею, в первый раз не удалось отмерить расстояния, но впоследствии он делал это с точностью примерно до полусекунды, отмечая, что расстояние, пройденное за одинаковые отрезки времени, увеличивается и что шарик катится вниз, ускоряясь, по определенному закону.

Теперь нужно было на каждой сделанной мелом отметке прикрепить кусок струны, наподобие передвижных ладов на лютне, на которой Галилей любил поиграть в свободное время. Дрейк для этой цели использовал резиновую ленту. Раз за разом скатывая шарик, Дрейк прислушивался к тому, когда тот ударяет по струнам, и менял положение струн таким образом, чтобы ритм ударов был одинаков, как у метронома, и в такт напеваемому маршу. Когда у него все получилось, положения струн точно показывали, какое расстояние удалось преодолеть шарiku за каждый отрезок времени. Теперь осталось только измерить пройденное расстояние обычной линейкой.

Дрейк считал, что после того, как Галилею удалось установить закон, другим он показывал уже не сам эксперимент, а его упрощенный вариант, заранее разметив путь шарика на отрезки 1, 4, 9, 16, 25, 49, 64 и используя водяные часы для обеспечения хронометража. Но это была уже демонстрация, а не эксперимент.

Почему Галилей не написал о своем первоначальном методе? Дрейк позволил себе предположить, что Галилео просто боялся показаться смешным: «Даже в те дни нельзя было заявить, не прославив глупцом, что ты открыл закон, напевая песенку в то время, когда шарик катился по наклонной плоскости, причем справедливость закона удалось подтвердить довольно точно». Сегодня, спустя более трехсот лет со дня смерти Галилея, посетители Музея истории науки во Флоренции могут увидеть высохший палец, который поднимал шарик каждый раз, когда тот достигал конца наклонной плоскости и возвращал его в исходное положение для следующего спуска. Этот палец, зуб, пятый поясничный позвонок и еще два пальца сохранил один из поклонников

Галилея, когда тело великого итальянца эксгумировали — через сто лет после захоронения, — дабы перенести на более почетное место. Хранящийся потомками как мощи святого в раке, этот длинный тонкий палец указывает вверх — так, словно приманивает к себе небо...



Палец Галилео

Глава 2

УИЛЬЯМ ГАРВЕЙ

Тайны сердца

То, что осталось сказать о количестве и источнике крови, которая течет таким образом, относится к вещам столь новым и неслыханным, что я не только боюсь нанести себе вред, вызвав ненависть отдельных лиц, но и содрогаюсь оттого, что все человечество может превратиться в моего врага — настолько привычка и обычай стали нашей второй натурой. Однажды посеянная доктрина пустила глубокие корни и завоевала уважение в обществе, ибо старые воззрения всегда оказывают сильное влияние на людей. Но жребий брошен, и мне остается только верить в свою любовь к истине и беспристрастность просвещенных умов.

Уильям Гарвей. *Движение сердца и крови у животных*

Зародыш курицы, лежащий в контейнере с теплой водой, кажется крохотным облачком. Скорлупа аккуратно снята, и видно, как внутри бьется миниатюрное сердце — красная точка с каждым сокращением то исчезает, то появляется вновь. Когда-то, в 1628 году, лондонский врач по имени Уильям Гарвей описал эту картину так: «Между видимым и невидимым, между бытием и небытием, если так можно выразиться, оно своим биением объявляет о начале жизни».

Возможно, никто и никогда до Гарвея не исследовал столько всевозможных сердец — сердца собак, свиней, лягушек, жаб, змей, рыб, улиток и крабов. У некоторых креветок, обитающих в океане и в водах реки Темзы, тело абсолютно прозрачно, и Гарвей со своими друзьями наблюдал за работой сердца — «словно через оконное стекло». Иногда он вынимал сердце и наблюдал, как замедляются его сокращения до тех пор, пока рука не почувствует последний удар.

От наблюдения к наблюдению Гарвей убеждался, что великий Гален, знаменитый врач гладиаторов и римских императоров, был не прав. Во II веке Гален писал, что в организме два вида крови, для каждой из которых есть своя сосудистая система. Вегетативная жидкость, которая является эликсиром питания и роста, производится в печени и курсирует по телу с помощью сетки синеватых вен. В то же время ярко-красная жизненная жидкость циркулирует по другой системе, в которую входит сердце и артерии; она приводит в движение мышцы и побуждает движение. (В мозге часть этой жизненной жидкости преобразуется в эфир, который течет по нервам.) Все жидкости насыщены невидимой пневмой — духами, которые с каждым вздохом поступают в организм через легкие, а потом достигают сердца через толстую трубку, называемую легочной веной. Спустя тысячу четыреста лет именно этому продолжали учить на медицинских факультетах в университетах Европы будущих врачей.

Гарвей начал постигать науки, вероятно, в Кембридже, когда в 1593 году поступил в колледж Гонвилля и Кая в возрасте шестнадцати лет. Доктор Джон Кай, в честь которого колледж получил свое название, был ярым сторонником Галена, а потому договорился, чтобы в анатомический театр колледжа ежегодно доставляли для иссечения и изучения анатомии тела двух казненных преступников. Помимо изучения риторики, классических наук и философии Гарвей знакомился с азами анатомии. Не исключено, что этот предмет его заинтересовал особо. Из Кембриджа он отправился в Падуанский университет, который считался тогда самой престижной медицинской школой в Европе.

Под защитой Венецианской республики университет мог чувствовать себя в определенной степени независимым от папских догм. Ко времени прибытия Гарвея там преподавал Галилей и знаменитый Иероним Фабриций — выдающийся европейский анатом. Каждый год, в октябре, в День святого Луки (поскольку трупы в холодную погоду сохраняются дольше) лекции по медицине начинались с торжественной мессы, после которой студенты рассаживались по ярусам анатомического театра, чтобы наблюдать за тем, как Фабриций и его ассистенты со скальпелями в руках начинали большое путешествие по внутренним органам человека.

Получив в 1602 году докторскую степень, Гарвей возвратился в Лондон, где женился на дочери Ланселота Брауна, королевского врача. Получив должность в боль-

нице Святого Варфоломея, старейшей в городе, он начал врачевать. Среди его пациентов были Фрэнсис Бэкон, король Яков I и его преемник Карл I.

Хотя Гарвей выглядел щедрым, его горящие темные глаза и волосы цвета вороного крыла производили на людей сильное впечатление. Английский литератор Джон Обри описывал его как вдумчивую, но холерическую натуру («Глядя на него, нельзя было не сказать, что человек — всего лишь проказливый павиан») и подмечал, что тот никогда не расставался с кинжалом. Такова была мода, признавался Обри, но «этот доктор не стеснялся обнажать кинжал при каждом удобном случае».

Ум Гарвея был столь же остр, как и его скальпель. И при своих обходах в больнице, и при чтении лекций над трупом во Врачебном колледже, он не упускал ни одной особенности человеческой анатомии. Если внутренний орган не совпадал с тем, что предписывал канон Галена, Гарвей дипломатично замечал, что, вероятно, со времен Галена человеческое тело успело измениться. В узком кругу он бывал гораздо более откровенным.

Начав свои исследования с простейших существ, он пришел в изумление: сердца у них бьются так быстро, что эти движения практически неразличимы! Он знал, что существует два сердечных движения: систола, когда сердце сжимается, и диастола, когда оно расширяется. Но когда Гарвей стал наблюдать процесс *in vivo*, он понял, что на глаз эти два движения различить невозможно.

Ибо я не мог правильно поначалу определить, когда происходит систола, а когда — диастола; так же не мог я понять, когда и где происходит расширение и сжатие, по причине большой частоты движения, которое у многих животных происходит в мгновение ока, со скоростью блеснувшей молнии; поэтому я воспринимаю как систолу то одно движение, то другое, при этом с диастолой происходит то же самое. Вдруг все меняется местами, и создается впечатление, что движения переходят одно в другое и становятся неразличимы. Поэтому мой разум пребывает в большом смятении, ибо я сам не могу прийти ни к какому выводу и не знаю, можно ли верить другим. Вот и Андрей Лаврентиус признавался в том, что для него движения сердца настолько необъяснимы, насколько необъяснимы были для Аристотеля приливы и отливы Еврипа.

Лаврентиус — врач, живший в эпоху Ренессанса, а Еврил — пролив между Грецией и островом Евбеей, где приливы и отливы происходили семь раз в день. Существует предание, повествующее о том, что, отчаявшись объяснить сие явление, Аристотель утопился в этом самом проливе.

Гарвей же, чтобы понять приливы и отливы сердца, решил, что нужно наблюдать их при меньших скоростях — так, как поступил Галилей с ускоряющимся шариком. Сердца холоднокровных животных — амфибий, рыб, рептилий — позволяют себе работать менее интенсивно. Однако эти довольно простые сердца, возможно, работают по тем же принципам, что и сердца млекопитающих и человека. Постепенно, от одного эксперимента к другому, Гарвей усложнял свои опыты.

Он довольно быстро обнаружил, что даже в теплокровных животных метаболизм заметно замедляется в последние мгновения перед смертью, когда организм ослаблен, и сердце несчастного существа начинает биться все реже и реже, пока наконец

животное не испустит дух, или пневму, или то, что еще за мгновение до этого поддерживало в нем жизнь.

Сильно отличаясь по своим задачам и функциям, две системы циркуляции» по Галену, сходятся в сердце, в миллиметре друг от друга. «Голубая кровь», переносимая верхней и нижней полыми венами, постоянно вырабатывается в печени и прокачивается через правые желудочки сердца. В левой части, отделяемой толстой стенкой, которая называется септум («перегородка»), течет красная артериальная кровь. Сосуды также ведут в легкие, которые служат для охлаждения крови и переноса пневмы, т. е. воздуха, в сердце. Именно здесь пневма оживляет венозную кровь, незначительная часть которой с помощью невидимых пор проникает через септум в артериальные протоки.

Часть этой схемы уже подвергалась сомнению. Фламандский врач Андрей Везалий в труде «О строении человеческого тела» (*De corpore humatti fabrica*), впервые опубликованном в 1543 году (в том самом году, когда была обнародована гелиоцентрическая теория Коперника), отрицал возможность проникновения крови через сердечную перегородку. Как он ее ни разглядывал, никаких, даже самых маленьких, пор найти не смог. Он оказался прав в одном, но допустил ошибку в другом. Сегодня мы знаем, что ткани тела имеют множество микроскопических отверстий. Точку в этом вопросе поставил Гарвей: он вскрыл сердце быка и, налив воду в правую часть, обнаружил, что в левую часть ничего не пролилось.

Сторонники Галена также учили, что два типа крови — венозная и артериальная — движутся по типу приливов, вперед и назад, внутри своих систем. Сосуды, оживляемые жизненным духом, одновременно расширяются, всасывая кровь. При их сокращении кровь выбрасывается в обратную сторону. Таким образом, сердце, сжимаясь и расширяясь, работает, как мехи, и заставляет кровь двигаться.

Однако это противоречило тому, что наблюдал Гарвей. Когда сердце сжимается во время систолического этапа цикла, оно, как рука, сжимающаяся в кулак, становится бледнее, словно кровь выдавливается из него. При расширении во время диастолы оно снова становится красным, словно кровь вновь приливает к нему. Более того, когда Гарвей прикасался пальцем к артерии, он чувствовал, как она расширяется в тот момент, когда сердце сжималось. Похоже, что сердце приводило в движение всю систему. У Галена все выглядело наоборот. На самом деле кровь приводилась в движение сжатием, а не расширением сердечной мышцы. Если перерезать артерию живого млекопитающего, то кровь начнет обильно выливаться, «словно выталкиваемая из шприца».

Если сердце представляет собой насос, рассуждал Гарвей, то можно понять принцип его работы.

Человеческое сердце в разрезе

Из «Анатомии» Генри Грея. 1918 год

Анатомы уже знали, что сердце разделено на четыре камеры. Сверху были левое и правое ушки предсердия, ниже находились левый и правый желудочки. Однажды во



время вскрытия Гарвей нажал пальцем на левый желудочек. Он расширился и наполнился кровью, а ушко над ним сократилось. Мгновение спустя желудочек самопроизвольно сократился, вытолкнув кровь из камеры в артерии. То же самое произошло и с правой частью сердца. И тут Гален ошибался, поскольку кровь прокачивалась не справа налево, а сверху вниз: «Эти два движения — одно желудочка, а другое — ушка — происходят последовательно, — писал Гарвей, — но таким образом, что между ними сохраняется определенная гармония, или ритм, причем в каждый момент времени обнаруживается только одно движение».

Он сравнивал движение сердца с движением станка: «Одно колесо передает движение другому колесу, но при этом кажется, что все колеса вращаются одновременно». Он знал, что некоторые из его читателей будут оскорблены таким механистическим описанием, чего ему меньше всего хотелось. «Придает ли сердце ускорение крови, локально сообщая ему движение и распределяя ее по телу, или добавляет ей что-то еще, например, тепло, дух, совершенство, — это вопрос будущего, который должен решаться на другой почве». Он подозревал, что в теле происходят не только физические процессы и что сердце является «солнцем микрокосмоса», а кровь — духовной субстанцией, «инструментом небес». Однако все это отнюдь не означало, что движение сердца нельзя изучать.

Приводимые здесь цитаты взяты из прекрасной работы «О движении сердца и крови у животных». Небольшая книжечка, опубликованная в 1628 году после двух десятилетий исследований, несмотря на некоторые повторы, до сих пор представляет собой достойное чтение. С упорством прокурора, выступающего на суде, Гарвей раз за разом представлял свои неопровержимые доказательства. Этого доктора легко представить в зале суда обращающимся к присяжным.

Сначала он предлагает аудитории рассмотреть артериальную систему. Из его экспериментов следует, что левая часть сердца предназначена для прокачивания крови по артериям, которые доставляют ее к конечностям. Кроме того, ясно, что, в отличие от приливов, движение крови происходит только в одном направлении: между левым желудочком и аортой существуют клапаны, которые не дают крови двигаться в проти-

воположном направлении.

Рассмотрим венозную систему. Давно было известно, что вены в руках и ногах снабжены своими собственными клапанами. Эти *ostiola* («дверцы») обнаружил еще падуанский учитель Гарвея, выдающийся анатом Фабриций, но он считал, что они служат для замедления движения крови, предотвращающего «захлебывание». Гарвей вводил длинный зонд в сосуд и пытался протолкнуть его в направлении от сердца, однако что-то сопротивлялось этому движению. Зато в противоположном направлении зонд двигался беспрепятственно. Оказалось, что вены — это улицы с односторонним движением. Артериальная кровь двигалась от сердца к органам, тогда как венозная кровь — от органов к сердцу.

Наконец рассмотрим, как венозная кровь может попадать из принимающей ее правой части сердца в левую. Гарвей уже установил, что через перегородку тока крови нет. Остается только один возможный путь — легочная артерия, соединяющая правый желудочек с легкими. По этому сосуду не воздух опускается вниз, а кровь поднимается вверх. Рассеянная определенным образом по губкообразным легочным тканям жидкость выходит через легочную вену, которая ведет к левому сердечному ушку. Теперь напрашивается только один вывод: правая сторона сердца прокачивает кровь через легкие, а левая часть — через тело.

Нужно сказать, что и до Гарвея эта мысль посещала светлые головы. Веком раньше испанский теолог и врач Мигель Сервет рассуждал о легочной циркуляции в религиозном трактате: «Как по воле Господа от воздуха краснеет кровь, так же Христос побуждает Дух сиять». (Его анатомические аргументы являлись частью нападок на Троицу, из-за чего, в конце концов, протестанты сожгли его на костре.) Продолжая эту тему, Реальд Коломбо, ассистент Везалия, отмечал, что возвращающаяся из легких жидкость была ярко-красной, из чего он делал вывод, что «оживление» жидкости происходит в *легких*, а не в сердце. Но на главный вопрос пришлось отвечать все-таки Гарвею: если правая часть сердца прокачивает кровь через легкие, которая затем поступает в левую часть, и если левая часть направляет кровь в артерии, то что тогда происходит с артериальной кровью, когда она достигает своего назначения, и откуда постоянно прибывает венозная кровь?

У сторонников Галена был ответ: оба типа крови постоянно создаются в результате поглощения пищи и расходуются на рост и движения тела. Гарвей решил произвести расчеты. В процессе анатомических исследований он обнаружил, что левый желудочек может вмещать не менее 50 граммов крови, лишь часть которой — скажем, 15 граммов, — прокачивается за каждый удар сердца. Поэтому за одну тысячу сердечных ударов (для среднего человека это составляет около 15 минут) сердце должно прокачать 15 литров или в несколько раз больше, чем общее количество крови в организме. Если брать вес крови, то сердце должно перекачивать более тонны крови за сутки. А для этого нужно много есть и много двигаться.

Поэтому родилась совершенно новая гипотеза: когда кровь, прокачиваемая левой частью сердца, достигает самого конца артерий, она подхватывается венами и возвращается в сердце. Другими словами, кровь в организме циркулирует.

В подтверждение своих слов он привел прекрасный пример.

Если вскрыть живую змею, то можно будет увидеть, как ее сердце медленно и четко пульсирует более часа, двигаясь, как червь,

— т. е. сокращаясь в продольном направлении (поскольку у него вытянутая форма) и придавая движение содержимому. Во время систолы оно бледнеет, а во время диастолы становится темно-красным.

Используя зажим или большой и указательный пальцы, пережмем главную вену, или *vena cava*, перед самым сердцем. Объем после преграды быстро лишается крови, а сердце бледнеет и уменьшается в размерах, его ритм замедляется настолько, что кажется «будто оно вот-вот умрет». Разожмите вену, и сердце снова наполнится кровью и вернется к жизни.

Затем пережмите или перевяжите главную артерию там, где она выходит из сердца. Выше препятствия пространство начнет «необычно разбухать и приобретать темно-красный или даже багровый оттенок. В конце концов, оно настолько переполнится кровью, что появится впечатление, что оно скоро задохнется». И в этом случае при снятии преграды сердце восстанавливает нормальную работу.

Дело закрыто, как это и должно было случиться.

Теперь другие, вооруженные микроскопом, должны показать, что крохотные капилляры в человеческом теле соединяют артерии и вены между собой, и определить роль осмотического процесса, который позволяет крови преодолеть этот водораздел. По крайней мере, Гарвей предоставил всем сомневающимся возможность самим убедиться в правоте своей теории. Плотнo перевяжите верхнюю часть руки. Выше повязки, в той части руки, которая направлена к сердцу, артерия надуется. Ниже, по направлению к кисти, разбухания не происходит. В то же время кровь в венах ниже повязки, столкнувшись с препятствием, приведет к напряжению вен, а вены выше повязки станут мягкими. Слегка ослабьте повязку, чтобы она блокировала только вены, но не артерии, и вы тут же почувствуете прилив крови в нижней части руки.

Сосуды на руке человека

Из труда Гарвея «Движение сердца и крови у животных»

Тем не менее ему почти никто не верил. Даже многие годы спустя ему всё так же приходилось отстаивать свою теорию от нападков «клеветников, фигляров и писак». По его собственному признанию, они травили его, как злые собаки, и утешало лишь то, что «они не кусались, не могли заразить своими насмешками и не по их собачьим зубам были кости и мясо истины».

В 1642 году, когда в Англии разразилась гражданская война, Гарвей из-за всех его связей с королевским домом оказался среди проигравших. Дом его был разграблен, а значительная часть научных трудов — уничтожена. В отличие от своего короля он пережил эту смуту и умер через пятнадцать лет вполне состоятельным человеком. Как впоследствии вспоминал его друг Обри, он часто повторял: «Ни одно несчастье в жизни не сравнится с потерей моих бумаг, которые мне не вернуть ни за какие деньги».

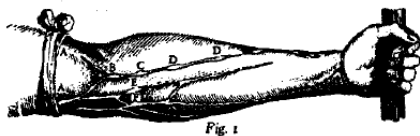


Fig. 1

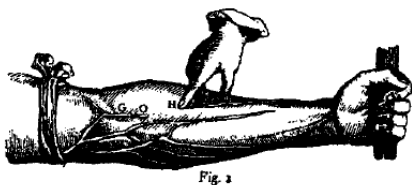


Fig. 2

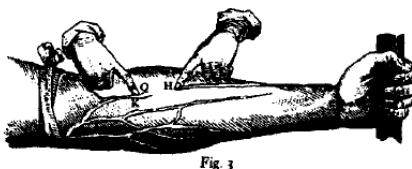


Fig. 3

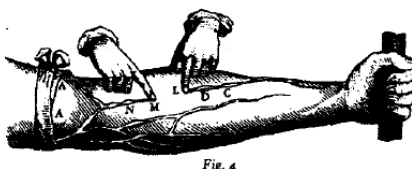


Fig. 4

Глава 3

ИСААК НЬЮТОН

Что такое цвет

Правда в том, что Естествознание слишком долго оставалось полем деятельности Мозга и Воображения; ему уже давно пора вернуться к простоте и убедительности Наблюдений того, что материально и очевидно.

Роберт Гук. Микрография

При подходе к гробнице Исаака Ньютона нельзя не задержать взгляд на линиях огромного пространства сводчатого мраморного потолка и на массивных опорах, которые не дают этому потолку подчиниться законам тяготения. Такой же тяжелой ка-

жется и тишина, нарушаемая только эхом ваших шагов, когда вы поднимаетесь по лестнице к урне с прахом великого ученого.

Только теперь вы заметите луч света. Входя через крохотное отверстие примерно в шести метрах от уровня пола, он под углом попадает на зеркало, вмонтированное в декорированную стойку, и отражается от него. Затем луч пересекает помещение, проходит через призму и распадается на последовательность цветных лучей, хорошо известных в природе: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и фиолетовый.

Этот пантеон существует только на картине «Аллегорический памятник сэру Исааку Ньютону» кисти венецианского художника Джованни Баттиста Питтони. Полотно было написано в 1729 году сразу после смерти Ньютона. (На самом деле великий ученый похоронен в Лондоне, в Вестминстерском аббатстве.) Памятник Ньютону — весьма неожиданная тема для Питтони, более известного своими композициями на религиозные и мифологические темы («Святое семейство», «Принесение в жертву Поликсены»). Но эта его картина необычна еще и по другой причине.

Ньютон прежде всего прославился (как и Лейбниц) благодаря открытию дифференциального и интегрального исчисления (метод производных), которое помогло сделать то, что не сумел сделать Галилей, а именно: показать, каким образом ускоряется объект за каждый из бесконечно малых отрезков времени. В своем выдающемся труде «Принципы математики» (*Principia Mathematica*) он описал движение небесных сфер и показал, что одна и та же сила гравитации заставляет падать яблоко и удерживает планеты вокруг Солнца. Но на картине Питтони отдавалось должное Ньютону не как теоретику, открывающему новые законы на бумаге, а как великому экспериментатору.

В 1665 году, когда Ньютон только закончил Тринити-колледж в Кембридже, разразилась Великая чума, заставившая людей бежать куда глаза глядят из больших городов. Оказавшись на родительской ферме в Вулсторпе, Исаак все свое время отдавал занятиям математикой и теорией движения, а также размышлениям над природой цвета и света.

Платон и отдельные досократики верили в то, что пучки света, излучаемые глазами? могут осветить весь мир. Аристотель, отвергавший эту идею, учил, что цвета — это смесь темноты и света. Желтый, например, близок к белому, а синий — это почти черный. Ко времени Ньютона у ученых возникло более глубокое понимание природы цвета, а натурфилософы развивали вполне точную науку — оптику.

Уже было известно, что, когда свет попадает на зеркало, угол падения равен углу отражения. Когда свет проходит через прозрачную среду и снова оказывается в воздухе, его луч либо отклоняется, либо преломляется. Именно поэтому, когда человек ступает в воду, кажется, что его ноги кто-то слегка поломал. Величину преломления можно рассчитать, используя способ, который в то время был известен как закон Снелла. Изучая радугу, французский философ и естествоиспытатель Рене Декарт наблюдал за гигантской каплей — стеклянной сферой, заполненной водой, стараясь понять, как меняются цвета внутри ее. Примерно так же цвет меняется, если смотреть на предметы сквозь мыльные пузыри, осколки слюды, рыбу чешую и колеблющиеся в солнечном свете крылья насекомого. В 1637 году в эссе под названием «Диоптрика» Декарт пытался дать объяснение происхождению цвета, считая, что он возникает от вращения капелек эфира, — чем быстрее вращение, тем краснее свет.



Небольшое пятнышко белой плесени. Вид под микроскопом

Рис. из книги Р. Гука «Микрография»

Однако наверняка происхождения цветов не знал никто. Получалось, что чистый белый свет становился окрашенным при столкновении с веществом — при отражении от цветного предмета либо при прохождении через окрашенную жидкость или стекло. Представители следующего после Декарта поколения ученых, три светила европейской науки — Христиан Гюйгенс, Роберт Бойль и Роберт Гук, — продолжали выдвигать все новые теории. Никто из них не слышал об Исааке Ньютоне — на то не было никаких причин. И по правде говоря, Гуку вообще лучше было бы никогда не слышать это имя.

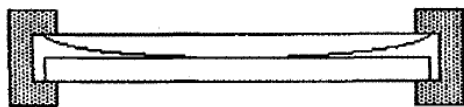
Похожий на сутулого тролля Гук был настолько известен своими элегантными опытами, что удостоился чести стать первым куратором экспериментов в Лондонском королевском обществе, образование которого ознаменовало начало научной революции. Будучи одним из первых исследователей микромира, Гук делал точнейшие зарисовки увиденного: вошь и блоха, увеличенные до размеров монстра, плесень, которая казалась чудесными цветами из тропического влажного леса, — все это и многое другое стало иллюстрациями в его знаменитой книге «Микрография». Изучая под увеличительным стеклом кусок пробки, он исследовал лабиринты пустот, впервые назвав их клетками. Будучи выдающимся изобретателем, он создал воздушный насос и помог Бойлю сформулировать обратную зависимость между объемом и давлением газа. Так появился закон Бойля. Существует также и закон, носящий его, Гука, имя. Этот закон очень точно описывает природу упругости: твердое тело деформируется пропорционально прилагаемой к нему силе. Сам Гук называл его «ceiīnossttuv», что расшифровывалось как «Ut tensio sic vis» (каково растяжение, такова и сила). (Чтобы утвердить за собой приоритет и предупредить кражу интеллектуальной собственностью)

сти, он первоначально опубликовал результаты своих исследований в виде латинской анаграммы.)

Гук был уверен, что ему удалось разгадать загадку цвета и света. Белый — основной, а остальные цвета — это аберрации: «Синий — это воздействие на сетчатку глаза косоуго, рассеянного импульса света, который начинается со своей слабейшей части и завершается сильнейшей». Красный и синий можно смешать и, разбавив, получать различные смешанные цвета. У Гюйгенса и Бойля были свои собственные теории, которые, к сожалению, в основании имели все то же объяснение цвета как окрашенного света.

Начав с нуля, Ньютон тщательно проанализировал наблюдения, сделанные до него, и добавил к общей картине некоторые собственные. Кусочек золотой фольги, тонкий настолько, что кажется почти прозрачным, отражает желтый свет. Но если разместить его между «вашим глазом и свечой», отмечал Ньютон, то проходящий через фольгу свет становится синим. Если взять древесину под названием *lignum nephriticum*, которую аптекари продают как лекарство от печени, разрезать ее на тонкие пластины и настоять в воде, то «настой (помещенный в прозрачный фиал) отражает синие лучи и пропускает желтые». То же справедливо и в отношении некоторых плоских стекол: «...они кажутся одного цвета, когда на них глядишь сверху, и совсем другого цвета, когда глядишь сквозь них». Но это аберрации. «В целом же, тела, которые кажутся глазу одного цвета, такого же цвета и остаются в любом положении».

Вынужденный из-за чумы вести жизнь затворника, он изучал мир словно слепец, который неожиданно прозрел. Если растереть в порошок или настругать темные или полупрозрачные вещества, то они становятся светлее, поскольку такое измельчение создает «множество отражающих поверхностей», которые до этого не существовали. И наоборот, вещества, смоченные в воде, становятся темнее, «ибо вода заполняет отражающие свет поры».



Две линзы, установленные так, чтобы были видны кольца Ньютона

Он также поигрывал с плоскими стеклышкам», устанавливая плоскопараллельную пластину, а на нее — слегка изогнутую выпуклую линзу. Направляя луч света на поверхность, он наблюдал, как переливаются цветные круги, названные кольцами Ньютона. «В зависимости от плотности контакта между стеклами кольца становились то шире, то уже». Если такое устройство поместить в темной комнате под синий луч, излучаемый призмой, можно видеть чередующиеся темные и светлые круги. Красный луч давал такую же картинку.

К тому времени Гук уже описал явление интерференции в книге «Микрография», но Ньютону удалось намного глубже проникнуть в это явление и сделать так, чтобы

оно ассоциировалось с его именем.

Оптические опыты превратились в настоящую его страсть. Он стал экспериментировать даже с собственными глазами: брал палочку с тупым концом, которую называл «шпилькой», и вдавливал ее «между глазом и костью, как можно ближе к боковой части глаза». Нажатие и потирание глазного яблока таким «инструментом» приводило к тому, что он начинал видеть «несколько белых, темных и цветных кругов». Когда он повторил свой эксперимент на свету, почти закрыв глаза, то «появилась большая, широкая, темная с синим отливом полоса» с меньшим по размерам светлым пятном посередине. При более сильном нажатии внутри этого светлого пятна возникал маленький синий кружок. Проведение эксперимента в темноте давало другие результаты: «появлялся круг красноватого цвета», а внутри него — темно-синий круг.

Иногда, нажимая на различные места в области глазной впадины, он получал более тонкое разрешение — видел целый ряд концентрических цветных колец, причем цвета их — от центра наружу — распределялись так: зеленый, синий, пурпурный, темно-пурпурный, синий, зеленый, желтый, красный, как пламя, желтый, зеленый, синий, широкий пурпурный, темный. Глядя на солнце или его отражение, Ньютон отметил, что оно красного цвета, когда же он «входил в темную комнату, то солнце становилось синим».

От физики он незаметно перешел к анатомии. Как ему удалось узнать из книг, в каждом глазу визуальные вибрации проходят через оптические нервы, представляющие собой огромное множество тонких трубочек, а потом достигают мозга. Иссекая ткани вокруг глаз — слава богу, не своих, а глаз различных животных, — он пытался понять механизм формирования изображения в глазу и природу вещества, с помощью которого это осуществляется. «Вода слишком груба для такого деликатного дела», — заключил ученый. Тут он мог бы принять теорию Галена и его сторонников, которые считали, что по нервной системе летают «животные духи», но Ньютон напроочь отверг ее, поставив следующий эксперимент: «...хотя я и привязал кусочек оптического нерва с одной стороны и стал нагревать его посередине, чтобы убедиться, не заявит ли о себе, например, в виде пузырьков хоть какая-нибудь сущность с другого конца, ничего подобного мне наблюдать не удалось — выделилось лишь немного влаги и сердцевина этого нерва».

Если бы все закончилось лишь ожиданием того, что «духи зрения», пузырясь, появятся на кончике зрительной колбочки, то Ньютон бы так и остался еще одним гением XVII века, которому оказалось не по силам разгадать загадку света. Но в разгар исследований его заинтересовало странное поведение призм.

Проведите на листе черной бумаги линию, которая была бы до половины синей, а остальная часть — темно-красной. Призма сделает так, что в месте изменения цвета линия отклонится от первоначального направления. То же самое происходит с синей и красной нитями: они смещаются на определенное расстояние друг от друга. Но почему стекло так по-разному относится к различным цветам?

Однажды, почувствовав особое любопытство, он вырезал небольшое отверстие, диаметром четверть дюйма, в оконном жалюзи. Поставив призму на пути узкого солнечного пучка, он на противоположной стене затемненной комнаты получил весь солнечный спектр.

«Поначалу это было приятным развлечением — рассматривать яркие, живые цвета», — писал он. Синие оттенки, бледнея, переходили в зеленые, затем желтые пере-

ходили в оранжевые и красные. Но более важным был не знакомый спектр, а его форма. Она была не круглой, как отверстие в жалюзи или солнечный диск, а продолговатой: тринадцать с четвертью дюймов в длину и два и пять восьмых дюйма в ширину. Такая «диспропорция была настолько экстравагантной, что возбудила во мне далеко не обычное любопытство и острое желание понять причину».

Что-то заставляло цвета распределяться именно таким образом. Ньютон сомневался в искусственном появлении этого явления, он не верил, что это всего лишь совокупное действие случайных причин. Но и такую возможность нельзя было полностью исключать. Он стал менять положение призмы так, чтобы свет проходил через стекло разной толщины, проделывал в шторке отверстия различного размера, выносил призму за пределы комнаты, чтобы свет прошел сначала через нее, а потом через отверстие в шторке. Но результат оставался прежним: цвета во всех этих случаях распределялись одинаково.

Расщепив свет на цвета с помощью одной призмы, он обнаружил, что их можно соединить с помощью второй призмы. Вторая призма разрушала то, что делала первая, и после нее на стене оставался лишь бесцветный кружок света. Значит, это не призмы окрашивали свет — цвета находились внутри самого светового пучка!

Именно множество таких экспериментов позволили ему сделать удивительный вывод. К тому времени, когда он был готов к проведению того, что он назвал Experimentum Cruris (позаимствовав этот термин у Гука), он, скорее всего, уже знал, что обнаружит. Но это не должно отвлекать нас от сути эксперимента. Как и прежде, пучок света из окна проходил через призму и пересекал комнату, но в этом случае цветовой спектр *попадал на деревянную панель*. В одном конце панели Ньютон просверлил отверстие и, перемещая соответствующим образом призму, сумел по очереди пропускать через отверстие в панели лучи только одного цвета. После этого они попадали на вторую призму и только потом направлялись на стену.

То, что он увидел в тот день, полностью поменяло все тогдашние представления о свете. Начиная с красной части спектра и переходя к синей, каждый цвет отклонялся все больше и больше — эффект, который ему подсказали цветные нити; синие лучи испытывают большее преломление, чем красные. Это объясняло продолговатость спектра. Если бы все цвета отклонялись одинаково, то спектр был бы круглым пятном. Но свет, как сказал Ньютон, «состоит из лучей, преломляющихся по-разному».

Преломление, или рефракция, позволило Ньютону понять, что такое цвет: луч света, способный преломляться совершенно особым способом. «Одинаковые цвета характеризуются одинаковой рефракцией», — писал он. Цвет — это способность преломляться.

Но на этом все не заканчивалось. Как Ньютон ни старался, после выделения ни один из цветов уже не менялся. «Я преломлял его с помощью призм и отражал телами, которые при дневном свете имеют другой цвет; я пропускал его через слой воздуха, находившегося между двумя пластинками стекла, пропускал через цветные среды и через среды, подсвеченные лучами другого цвета; разными способами останавливал этот луч, но ни разу мне не удалось изменить его цвет. Можно было сделать его более или менее насыщенным или путем потери множества лучей заставить стать блеклым или темным, но при этом он никогда не менял свою суть».

Если луч состоял более чем из одного цвета — оранжево-желтый, желто-зеленый, — то его можно было разложить с помощью призмы на отдельные цвета; рано или

поздно, но все равно достигается точка, когда свет разлагается полностью на свои основные компоненты. «Цвет не является определением света, полученного посредством преломления или отражения естественными телами, а представляет собой изначальную, сущностную, характеристику».

Именно белый цвет является смешанным, он представляет собой лишь сочетание всех цветов, «гетерогенную смесь различно преломляющихся лучей». Солнце, сияя над миром, не приносит красное яблоку и зеленое листу. Яблоко и лист приобретают цвет из солнечного света.

Декарт тоже верил, что цвет является не свойством предмета, а свидетельством того, что свойства влияют на свет. Теперь Ньютон узнал, почему это происходит. Мир многокрасочен, потому что состоит из тел, «которые отражают один тип света значительно больше, чем другие».

В начале сентября 1666 года почти весь Лондон был разрушен Великим пожаром. Огонь заодно уничтожил и всех крыс, что позволило справиться с чумой. Отложив в сторону научные исследования, Роберт Гук помогал Кристоферу Рену перестраивать город.

Ньютон же, покинув Вулсторп, отправился в Кембридж, где получил почетную математическую кафедру и стал читать лекции о цвете и свете. Позже он, изобретя зеркальный телескоп длиной шесть дюймов, который был мощнее обычного телескопа, превышающего его по размерам в десять раз, произвел сильное впечатление на членов Королевского научного общества, а в 1672 году, через шесть лет после проведения знаменитых экспериментов, опубликовал в «Философских трудах» Королевского общества статью «Новая теория, объясняющая свет и цвета».

Гук отнесся к этому с большой ревностью и попытался дискредитировать Ньютона, в результате чего между учеными возникла вражда, не прекращавшаяся до конца их жизни. Гук заявил, что он сам, еще до Ньютона, поставил эти эксперименты и что полученные результаты легко объясняются его собственной теорией. (Позднее он будет настаивать на том, что «Основы» Ньютона не что иное, как плагиат его трудов.)

Другие ученые, включая Гюйгенса, отправили в журнал свои возражения, на которые Ньютон либо не обращал внимания, либо отвечал весьма презрительно. Безжалостное отношение к новым идеям не является чем-то особенным в научном мире, однако Ньютон посчитал себя оскорбленным. Особенно его донимала группа английских иезуитов, которые настаивали на том, что не могут воспроизвести его Experimentum cruris и что вытягивание спектра является результатом явления, названного ими «ярким облаком». Травля продолжалась до 1678 года, когда Ньютон от отчаяния полностью отошел от общественных дел и стал вести совершенно уединенную жизнь. Было ему тогда всего тридцать пять лет от роду, и впереди его ждали не менее великие свершения.

Антуан Лоран Лавуазье

Флогистон и кислород

Только представьте, что это значит — понять, что дает листву его цвет и что заставляет пламя гореть!

Карл Джерасси. Роальд Хоффман. *Кислород*[4]

Однажды осенним днем 1772 года парижане, прогуливавшиеся недалеко от Лувра, в саду Инфанты, вдоль набережной Сены, могли видеть странное, напоминавшее плоскую подводную сооружение в виде деревянной платформы на шести колесах. На ней были установлены огромные стекла. Две самые большие линзы, имевшие в радиусе восемь футов, были скреплены вместе так, чтобы из них получилось увеличительное стекло, собиравшее солнечные лучи и направлявшее их на вторую линзу, поменьше, а затем на поверхность стола. На платформе стояли занятые в эксперименте ученые в париках и черных очках, а их ассистенты сновали, как матросы по палубе, настраивая все это сложное сооружение на солнце, непрерывно держа плывущее по небосклону светило «под прицелом».

Среди людей, которые воспользовались этой установкой — «ускорителем элементарных частиц» XVIII века, — был Антуан Лоран Лавуазье. Его тогда занимало, что происходит при сжигании алмаза.

Давно было известно, что алмазы горят, и местные ювелиры попросили Французскую академию наук исследовать, не таится ли в этом какой-нибудь риск. Самого Лавуазье интересовал несколько иной вопрос: химическая сущность горения. Вся прелесть «поджигающего стекла» заключалась в том, что оно, фокусируя солнечные лучи в точке, находящейся внутри контейнера, нагревало все, что в эту точку можно было поместить. Дым из сосуда можно было направить по трубке в сосуд с водой, осадить содержащиеся в нем частицы, затем выпарить воду и проанализировать остаток.

К сожалению, эксперимент не удался: от интенсивного нагрева стекло постоянно лопалось. Однако Лавуазье не отчаивался — у него были и другие идеи. Он предложил Академии наук программу по изучению «воздуха, содержащегося в веществе», и того, как он, этот воздух, связан с процессами горения.

Ньютону удалось направить развитие физики по правильному пути, зато в химии в те времена дела обстояли из рук вон плохо — она еще была пленницей алхимии. «Хна, растворенная в хорошо дефлегментированном духе селитры, даст бесцветный

раствор, — писал Ньютон. — Но если ее поместить в добротное купоросное масло и встряхивать, пока она растворяется, то смесь сначала станет желтой, а затем темно-красной». На страницах этой «кулинарной книги» ничего не говорилось ни об измерениях, ни о количествах. «Если дух соли поместить в свежую мочу, то оба раствора легко и спокойно смешаются, — отмечал он, — но если тот же раствор капнуть на выпаренную мочу, то последует шипение и вскипание и летучие и кислые соли через какое-то время коагулируют в третье вещество, напоминающее по своей природе нашатырь. А если отвар из фиалок развести, растворив в небольшом количестве свежей мочи, то несколько капель ферментированной мочи обретут ярко-зеленый цвет».

Весьма далеко от современной науки. В алхимии, даже в записях самого Ньютона, многое напоминает магию. В одном из своих дневников он добросовестно переписал несколько абзацев из книги алхимика Джорджа Огарки, который сам себя называл Филалетом.

Отрывок начинается так: «В [Сатурне] скрыта бессмертная душа». Под Сатурном обычно понимался свинец, поскольку каждый элемент ассоциировался с какой-нибудь планетой. Но в данном случае имелся в виду серебристый металл, известный как сурьма. «Бессмертный дух» — это газ, который испускает руда при сильном нагреве. «К Сатурну узами любви привязан Марс (это означало, что к сурьме добавлялось железо), который сам в себе пожирает великую силу, чей дух делит тело Сатурна, и из обоих вместе истекает чудесная яркая вода, в которую садится Солнце, высвобождая свой свет». Солнце — это золото, которое в данном случае погружено в ртуть, часто называемую амальгамой. «Венера, самая яркая звезда, находится в объятиях [Марса]». Венерой называли медь, которую на этом этапе добавляют в смесь. Сей металлургический рецепт, вероятнее всего, является описанием ранних этапов получения «философского камня», к которому стремились все алхимики, поскольку считалось, что с его помощью можно неблагородные элементы превратить в золото.

Лавуазье и его современники сумели пойти дальше этих мистических заклинаний, однако химики даже в то время еще верили в алхимические представления о том, что поведение веществ определяется тремя началами: ртутью (которая разжижает), солью (которая стужает) и серой (которая делает вещество горючим). «Сернистый дух», также называемый *terra pingua* («жирная» или «маслянистая» земля), занимал умы очень многих. В начале XVIII века немецкий химик Георг Эрнст Шталь стал называть его флогистоном (от греч. *phlog* — относящийся к огню).

Считалось, что предметы горят потому, что в них много флогистона. По мере того как предметы поглощаются огнем, они выделяют эту горючую субстанцию в воздух. Если поджечь кусочек дерева, то он перестанет гореть, оставив после себя всего лишь кучку пепла, только когда израсходует весь свой флогистон. Поэтому считалось, что дерево состоит из пепла и флогистона. Аналогичным образом после прокаливания, т. е. сильного нагрева, металла остается белая хрупкая субстанция, известная как окалина. Стало быть, металл состоит из флогистона и окалины. Процесс ржавления — это медленное горение, наподобие дыхания, т. е. реакции, возникающие тогда, когда флогистон выделяется в воздух.

Рассматривался и обратный процесс. Считалось, что окалина напоминала добытую из земли руду, которая затем облагораживалась, подвергаясь *восстановлению*, или «возрождению», путем нагрева рядом с древесным углем. Древесный уголь испускал флогистон, который сочетался с окалиной, чтобы восстановить блестящий ме-

талл.

Само по себе использование гипотетической субстанции, которую нельзя измерить, но можно предполагать, не содержит в себе ничего плохого. В наше время космологи тоже оперируют понятием «темная материя», которая должна существовать, чтобы галактики при вращении не разлетались на куски под действием центробежной силы, и что за расширением Вселенной стоит антигравитационная «темная энергия».

С помощью флогистона ученые могли логично объяснить горение, прокаливание, восстановление и даже дыхание. Химия неожиданно становилась осмысленной.

Тем не менее это не решало всех проблем: окалина, остававшаяся после прокаливания, весила больше, чем исходный металл. Как могло получиться, что после выхода флогистона из вещества оно становилось тяжелее? Как и «темная энергия» четверть тысячелетия спустя, флогистон, по словам французского философа Кондорсе, «приводился в движение силами, противоположными по направлению силе тяжести». Чтобы эта мысль выглядела поэтичней, один химик заявил, что флогистон «окрыляет земные молекулы».

Лавуазье, как и ученые того времени, был уверен в том, что флогистон — одна из основных составляющих вещества. Но к началу экспериментов с алмазами он стал задумываться: а может ли нечто весить меньше нуля?



Сосуд «пеликан»

Рисунок Джона Френча из книги «Искусство возгонки» Лондон, 1651 год



Мария-Анна Пьеретт Пользе

Автор портрета неизвестен

Его мать умерла, когда он был еще мальчишкой, оставив ему наследство, которого хватило, чтобы вступить в прибыльное предприятие под названием «Главный откуп». Французское правительство заключало с этим консорциумом частных лиц договор на сбор налогов, от которых такие откупщики, как Лавуазье, имели определенную долю. Эта деятельность постоянно отвлекала его от исследований, зато давала доход, позволивший ему через некоторое время стать владельцем одной из лучших лабораторий в Европе. Среди первых экспериментов 1769 года был эксперимент, с помощью которого Лавуазье решил проверить бытовавшее тогда представление о том, что воду можно превратить в землю.

Доказательства были достаточно убедительными: вода, испаряясь на сковороде, оставляет твердый остаток. Но Лавуазье решил докопаться до самой сути, используя сосуд для возгонки, известный как «пеликан». Имея большую круглую емкость в основании и небольшую верхнюю камеру, сосуд был оснащен двумя загнутыми трубками (немного напоминавшими клюв пеликана), по которым пар снова возвращался вниз. Для алхимиков пеликан символизировал жертвенную кровь Христа, поэтому считалось, что сосуд «пеликан» обладает силой преображения. Более того, вода, которая кипела в «пеликане», непрерывно бы испарялась и конденсировалась, так что никакое вещество — твердое, жидкое или газообразное — не смогло бы покинуть систему.

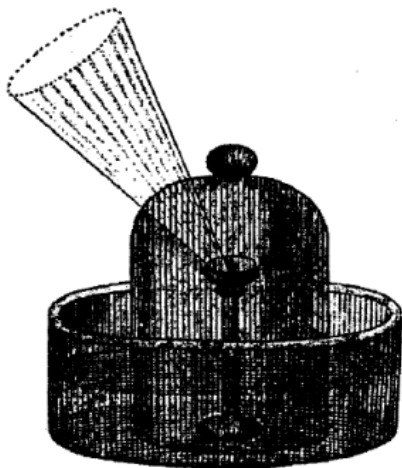
Перегоняя чистую воду в течение ста дней, Лавуазье обнаружил, что осадок действительно существует. Но он догадался, откуда тот берется. Взвесив пустой «пеликан», он обратил внимание на то, что сосуд стал легче. Высушив и взвесив оса-

док, Лавуазье увидел, что вес осадка достаточно точно соответствует уменьшению веса сосуда, и этот факт натолкнул его на мысль о том, что источником осадка стало стекло сосуда.

Два года спустя, в 1771 году, Лавуазье исполнилось двадцать восемь лет. В том же году он женился. Его избранницей стала Мария-Анна Пьеретт Пользе, тринадцатилетняя дочь еще одного откупщика. (Эта достаточно миловидная девушка к тому времени была помолвлена, и ее второму потенциальному жениху было пятьдесят.) Марии-Анне так понравились научные занятия мужа, что она быстро освоила химию и помогала чем могла: делала записи, переводила английскую научную литературу на французский и выполняла самые сложные чертежи эксперимента, который оказался настолько элегантен, что ему, как философскому камню, суждено было преобразовать алхимию в химию.

Химики того поколения, к которому принадлежал Лавуазье, уже знали, что, как это удалось сформулировать англичанину Джозефу Пристли, «воздух бывает нескольких видов». Мефитический («зловонный» или «затхлый») воздух заставляет пламя гаснуть, а мышь в нем погибает от удушья. Такой воздух делает мутной известковую воду (гидроокись кальция), образуя белый осадок (углекислая соль кальция). Однако растения хорошо чувствовали себя в этом воздухе и через некоторое время снова делали его пригодным для дыхания.

Еще один удушающий газ образовывался, когда свеча горела какое-то время в закрытом сосуде. Этот газ не осаждал известковую воду, и, поскольку совершенно очевидно был связан с процессом горения, его стали называть флогистонным воздухом, или азотом (от греческого «безжизненный»). Самым таинственным был летучий газ, выделявшийся, когда железные опилки растворялись в разведенной серной кислоте. Он был настолько горючим, что получил название «горючего воздуха». Если этим воздухом надуть шар, то он поднимется высоко над землей.



Сжигание оксида свинца в стеклянном сосуде с помощью увеличительного стекла

Рисунок Марии-Анны Лавуазье

Возникал вопрос, являются ли новые виды воздуха химическими элементами или, как предполагал Пристли, модификациями «обычного» воздуха, получаемого путем добавления или извлечения флогистона?

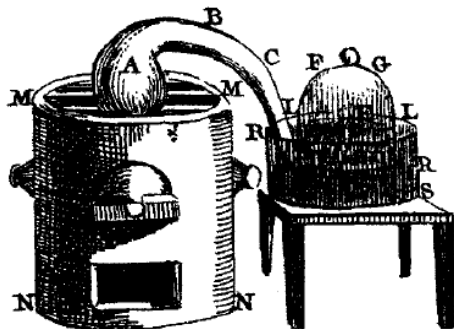
С трудом сдерживая скептицизм, Лавуазье повторил некоторые эксперименты своих коллег. Он подтвердил, что сжигание фосфора с целью получения фосфорной кислоты или сжигание серы с целью получения серной кислоты приводит к получению веществ, вес которых превышает вес использованных веществ, т. е. как и при прокаливании металлов. Но почему происходит указанное изменение? Ему показалось, что он нашел ответ на этот вопрос. Используя увеличительное стекло для нагрева олова, заключенного в герметичный стеклянный сосуд, он обнаружил, что и до опыта, и после вся установка весила одинаково. Медленно открывая сосуд, он слышал, как с шумом воздух врывается внутрь, после чего вес вновь увеличивался. Может быть, предметы горят не потому, что испускают флогистон, а потому, что поглощают какую-то часть воздуха?

Если это так, то восстановление, т. е. переплавка руды в чистый металл, ведет к высвобождению воздуха. Он отмерил определенное количество окалина свинца, которая называется «глёт», и поместил ее на небольшое возвышение в сосуде с водой рядом с кусочком древесного угля. Накрыв все это стеклянным колоколом, он стал нагревать окалину с помощью увеличительного стекла. По вытесняемой воде он мог догадаться о выделении газа. Аккуратно собрав выделившийся газ, он обнаружил, что от этого газа гаснет пламя и происходит осаждение известковой воды. Похоже, что «затхлый» воздух был продуктом восстановления, но ограничивалось ли дело только этим?

Оказалось, что ответ покоился в красноватой субстанции, которая называлась *mercurius calcinatus*, или окалина ртути, и которую продавали парижские аптекари как лекарство от сифилиса по цене 18 и более ливров за унцию, т. е. 1000 долларов, если переводить на сегодняшние цены. Всякие эксперименты с этим веществом были не менее экстравагантными, чем эксперименты со сжиганием алмазов. Как и любую другую окалину, ее можно было получать, прокаливая чистый металл на сильном пламени. Однако при дальнейшем нагреве полученное вещество снова превращалось в ртуть. Другими словами, *mercurius calcinatus* можно было восстанавливать даже без использования древесного угля. Но что тогда являлось источником флогистона? В 1774 году Лавуазье и несколько его коллег из Французской академии наук подтвердили, что окалину ртути действительно можно восстановить «без дополнительных веществ» с потерей примерно одной двенадцатой веса.

Пристли тоже проводил эксперименты с этим веществом, нагревая его с помощью увеличительного стекла и собирая выделяемые газы. «Что меня поразило настолько, что даже не хватает слов для выражения обуявших меня чувств, — писал он позднее, — так это то, что свеча горела в этом воздухе довольно сильным пламенем... Я не смог найти объяснение сему явлению». Выяснив, что лабораторная мышь хорошо чувство-

вала себя в волшебном газе, он решил подышать им сам. «Мне показалось, что после я какое-то время ощущал необыкновенную легкость и свободу в груди. Кто бы мог предположить, что этот чистый воздух со временем станет модным предметом роскоши. А пока только две мыши и я сам имели удовольствие вдыхать его».



Нагрев ртути в колбе, выполненной в форме «фламिंगо»

Рисунок Марии-Анны Лавуазье

Газ, в котором хорошо дышится и легко происходит горение, Пристли решил назвать «обесфлогистоненным», т. е. воздухом в его самом чистом виде. Он был не одинок в таких рассуждениях. В Швеции аптекарь, которого звали Карл Вильгельм Шееле, тоже изучал свойства «огненного воздуха».

К этому времени Лавуазье уже называл газ, выделявшийся при восстановлении *mercurius calci-natus*, «чрезвычайно полезным для дыхания», или «живым» воздухом. Как и Пристли, он считал, что этот газ представляет собой воздух в его первоначальной форме. Однако тут Лавуазье столкнулся с одной трудностью. Когда он пытался восстановить окалину ртути с использованием древесного угля, т. е. старым, проверенным способом, выделялся тот же газ, что и при восстановлении глётта, — он гасил пламя свечи и осаждал известковую воду. Почему при восстановлении окалины ртути без древесного угля выделялся «живой» воздух, а при использовании древесного угля возникал удушающий «затхлый» воздух?

Прояснить все можно было только одним способом. Лавуазье взял с полки сосуд, который назывался плоской колбой. Нижняя часть его была круглой, а высокое горлышко Лавуазье нагрел и изогнул так, что оно сначала выгибалось книзу, а затем снова вверх.

Если в его эксперименте 1769 года сосуд напоминал пеликана, то нынешний был похож на фламинго. Лавуазье налил четыре унции чистой ртути в круглую нижнюю камеру сосуда (обозначена буквой А на рисунке). Сосуд был установлен на печи так, чтобы его горлышко оказалось в открытом пространстве, также заполненной ртутью, а затем поднималось в стеклянный колокол. Эта часть установки использовалась для

определения количества воздуха, который будет потреблен во время эксперимента. Отметив бумажной полоской уровень (LL), он разжег печь и довел ртуть в камере А почти до кипения.

Можно считать, что в первый день не произошло ничего особенного. Небольшое количество ртути испарилось и осело на стенках плоской колбы. Образовавшиеся ша-рики были достаточно тяжелы для того, чтобы вновь стечь вниз. Но на второй день на поверхности ртути стали образовываться красные точки — окалина. В течение нескольких последующих дней красная корочка увеличивалась в размерах, пока не достигла максимальных. На двенадцатый день Лавуазье остановил эксперимент и сделал некоторые измерения.

На тот момент ртуть в стеклянном колоколе превышала начальный уровень на то количества воздуха, который был израсходован на образование окислы. Учтя изменения в температуре и давлении внутри лаборатории. Лавуазье рассчитал, что количество воздуха уменьшилось примерно на одну шестую его первоначального объема, т. е. с 820 до 700 кубических сантиметров. Кроме того, поменялась природа газа. Когда внутрь емкости, где содержался оставшийся воздух, поместили мышь, она сразу стала задыхаться, а «помещенная в этот воздух свеча тут же погасла, как будто ее су-нули в воду». Но поскольку газ не вызвал оседания в известковой воде, то его, скорее, можно было отнести к азоту, нежели к «затхлому воздуху».

Но что ртуть получила из воздуха при горении? Сняв красный налет, образовав-шийся на металле, Лавуазье стал нагревать его в реторте до тех пор, пока он снова не стал ртутью, выделив при этом от 100 до 150 кубических сантиметров газа — пример-но столько же, сколько ртуть поглотила при прокаливании. Внесенная в этот газ свеча «прекрасно горела», а древесный уголь не тлел, а «светился таким ярким светом, что его с трудом выносили глаза».

Это был поворотный момент. Сгорая, ртуть поглощала «живой» воздух из атмо-сферы, оставляя *азот*. Восстановление ртути вновь приводило к выделению «живого» воздуха. Так Лавуазье удалось разделить два основных компонента атмо-сферного воздуха.

Для верности он смешал восемь частей «живого» воздуха и сорок две части *азота* и показал, что получившийся газ обладает всеми характеристиками обычного возду-ха. Анализ и синтез: «В этом кроется самое убедительное доказательство из тех, что доступны в химии: разлагаясь, воздух вновь соединяется».

В 1777 году Лавуазье доложил результаты своих исследований членам Академии наук. Флогистон оказался выдумкой. Горение и прокалывание происходили тогда, ко-гда вещество поглощало «живой» воздух, который он назвал кислородом из-за роли в образовании кислот. (Оху по-гречески означает «острый».) Поглощение кислорода из воздуха приводит к тому, что в нем остается только непригодный для дыхания азот.

Что касается газа, который называли «затхлым» воздухом, то он образовывался тогда, когда выделяемый при восстановлении кислород соединялся с чем-то в древес-ном угле, и получалось то, что мы сегодня называем двуокисью углерода.

Год за годом коллеги Лавуазье, особенно Пристли, ворчали по поводу того, что тот якобы присвоил себе первенство в экспериментах, которые они тоже осуществили. Пристли однажды отобедал в доме супругов Лавуазье и рассказал им о своем лишен-ном флогистона воздухе, а шведский аптекарь Шееле отправил Лавуазье письмо с рассказом о своих опытах. Но при всем при этом они продолжали думать, что кисло-

род — это воздух, лишенный флогистона.

В пьесе «Кислород», премьера которой состоялась в 2001 году, два химика, Карл Джерасси и Роальд Хоффман, придумали сюжет, в котором шведский король пригласил этих троих ученых в Стокгольм, чтобы решить вопрос о том, кого из них считать первооткрывателем кислорода. Шееле был первым, кто выделил газ, а Пристли первым опубликовал работу, в которой говорилось о его существовании, но только Лавуазье понял то, что им удалось открыть.

Он заглянул намного глубже и сформулировал закон сохранения массы. В результате химической реакции вещество — в данном случае горящая ртуть и воздух — меняет форму. Но масса при этом не создается и не исчезает. Сколько веществ вступает в реакцию, столько же должно получиться на выходе. Как сказал бы сборщик налогов, баланс должен в любом случае сходиться.

В 1794 году, во время революционного террора, Лавуазье и отец Марии-Анны вместе с другими откупщиками были признаны «врагами народа». Их на телеге привезли на площадь Революции, где уже были сооружены деревянные подмости, вид которых даже в деталях напоминал ту платформу, на которой Лавуазье сжигал алмазы. Только вместо огромных линз стояло другое достижение французской техники — гильотина.

В интернете недавно проскочило сообщение о том, что во время казни Лавуазье успел осуществить свой последний опыт. Дело в том, что гильотиной во Франции стали пользоваться, потому что посчитали, будто это самая гуманная форма казни, — она приносит мгновенную и безболезненную смерть. И вот у Лавуазье появился случай узнать, так ли это. В тот момент, когда лезвие гильотины коснулось его шеи, он стал моргать глазами и делал это столько, сколько смог. В толпе находился ассистент, который должен был сосчитать, сколько раз ему удастся моргнуть. Не исключено, что рассказ этот — выдумка, но вполне в духе Лавуазье.

ЛУИДЖИ ГАЛЬВАНИ

Животное электричество

Ибо очень легко обмануться в опытах и думать, что ты увидел и открыл то, что хотел увидеть и открыть.

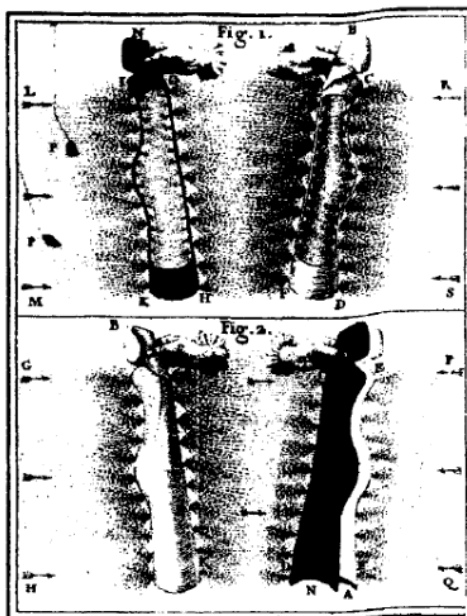
Луиджи Гальвани.

Трактат о силах электричества при мышечном сокращении

В середине XVIII века, когда электричество было модной темой, в один прекрасный день некий ученый-любитель предстал перед Королевским научным обществом в Лондоне, дабы сделать доклад о том, что сегодня можно было бы назвать законом Симмера: разноцветные носки притягиваются, а одноцветные — отталкиваются. Что-то ногам зимой было тепло, докладчик, правительственный чиновник, которого звали Роберт Симмер, носил две пары носков. Утром он надевал белые шелковые поверх черной шерстяной пары, а вечером менял их местами. Во время переодевания носков шерсть и шелк потрескивали и искрились, а Симмер, получивший прозвище Босоногий Философ, сидел в кресле и дивился происходящему.

«Когда при выполнении этого опыта два черных чулка находились в одной руке, а два белых — в другой, — сообщал он, — я становился свидетелем довольно любопытного действия: чулки одного цвета отталкивались, а противоположного — притягивались, при этом они приходили в сильную агитацию, что, признаться, меня весьма забавляло».

Это был пик романтической эры в изучении электричества, когда ученые обсуждали, является ли электричество парами, жидкостью или, как предложил Бенджамин Франклин, «крохотными частицами». Крутились колеса генераторов статического электричества (большие крутящиеся диски или сферы, которые натирались для получения заряда), ученые-шоумены (они называли себя «электриками») передавали заряды по цепочке стоявших, взявшись за руки, людей. Эффектно выглядели и два других опыта: человека в кресле подвешивали с помощью шелковых канатов (чтобы он не был заземлен), и вокруг его головы появлялась светящаяся аура — словно нимб над головой святого; из числа зрителей выбирали молодую девушку, заряжали ее электричеством, и она, целуя своего кавалера, передавала ему заряд. То был, несомненно, незабываемый поцелуй.



Носки Симмера

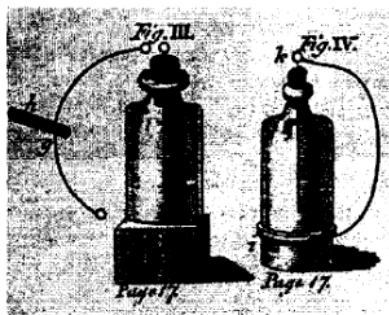
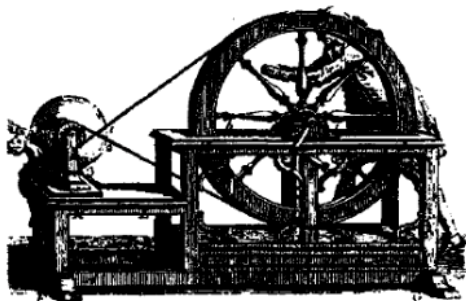
***Из трактата Жана-Антуана Нолле
«Письма об электричестве». 1767 год***

При всей своей эфемерности, электричество было достаточно материальным, чтобы его можно было хранить в колбе. Если колбу изнутри и снаружи выстелить металлической фольгой и подсоединить к противоположным полюсам электростатического генератора, на одной стороне колбы будет собираться положительный заряд, а на другой — отрицательный, причем заряд будет сохраняться еще долго после отсоединения проводов. А если прикоснуться к обеим сторонам этого примитивного конденсатора, названного лейденской банкой, можно было получить удар током, сравнимый с ударом утря.

Машина XVIII века, генерирующая статическое электричество.

Две лейденские банки

Рисунок Бенджамина Франклина. 1750 год



Ученые не стеснялись смешивать эмпирические факты с неумной фантазией и всерьез говорили о молнии, после удара которой инвалиды начинают ходить, а растения — расти быстрее. Джозеф Пристли, предположив, что электричество возникает в мозге, образуясь из флогистона, пошел дальше и высказал идею о том, что благодаря электричеству приходят в движение мышцы, расцвечен хвост попугая, «исходит сияние от некоторых животных» во время их ночной охоты и даже от некоторых людей «определенного темперамента в некоторых чрезвычайных ситуациях».

Были и те, кто предполагал наличие «нервно-электрической» жидкости, которая возникает в теле в результате трения. Такая идея потрясала умы. Только представьте себе: нервы и кости, как носки Симмера, трутся о мышцы, производя жизненную силу, т. е. электричество.

Однажды апрельским вечером 1780 года, немногим более четверти века после открытия, сделанного Симмером, Луиджи Гальвани, почтенный профессор анатомии, поднялся по террасе на крышу палаццо Замбони, стоявшего недалеко от его дома в Болонье. В его руках были моток проволоки и ножки лягушки, препарированной, как профессор любил говорить, «обычным способом», т. е. ножки эти были отсечены от спинного мозга и был виден выступающий наружу седалищный (или бедренный) нерв.

На юге собирались тучи, но Гальвани, ничего не замечая, разложил на столе обезглавленную лягушку и присоединил ее к проволоке, на которой развешивалось белье. Вскоре разразилась гроза, и Гальвани с увлечением смотрел, как при каждой молнии сокращались мышцы лягушечьей лапки, словно предупреждая о предстоящем раскате грома.

Гальвани много лет добивался в своей лаборатории таких результатов, возбуждая нервы лягушки электричеством, получаемым с помощью генератора или в виде разряда лейденской банки. Эксперимент, проведенный на крыше палаццо Замбони, убедительно показал, что «естественное» электричество приводит к такой же физиологической реакции, что и «искусственное». Каким бы электричество ни было, утверждал ученый, оно заставляет мышцы двигаться.

Однако был некий эксперимент, который Гальвани никак не мог объяснить. Несколько лет назад один из его помощников случайно прикоснулся скальпелем к открытому нерву лягушки как раз в тот момент, когда второй помощник, работавший рядом с генератором, получил электрическую искру. Между генератором и рассеченным животным никаких проводов не было, но мышцы лягушки сократились так сильно, что создалось впечатление, что их свело. С того момента Гальвани не переставал изучать это явление.

Он уже знал, что сокращение мышцы произошло не от раздражения нерва прикосновением скальпеля. Убедившись, что генератор не работает, он надавливал на нерв металлическим лезвием. Независимо от его усилия, мышца оставалась неподвижной. Не было никаких сомнений в том, что причиной движения мышцы было электричество.

Другие эксперименты показали, что железный цилиндр, на который подается искра, заставляет мышцы сокращаться, тогда как стеклянный стержень этого не делает. Иногда, однако, бывали случаи, что мышцы не реагировали и на металлический скальпель. Гальвани быстро понял, что это происходит, когда он держит инструмент за костяную ручку, не касаясь заклепок и лезвия. Получалось, что сам экспериментатор являлся частью происходящего во время эксперимента. Чтобы проверить эту гипотезу, он поместил на столе металлический цилиндр так, чтобы тот касался лягушачьего нерва, и крутанул генератор. Лапка лежала без движения.

Шаг за шагом он удалял из эксперимента все переменные. Когда он подсоединял к мышце не цилиндр, а длинную проволоку, то искра, возникавшая на удалении, заставляла мышцу сокращаться. Ситуация стала проясняться. Ученые уже знали, что электричество может оказывать определенное воздействие на некотором расстоянии. Волосы на затылке человека поднимались, если рядом ударяла молния. Вращение генератора создавало в воздухе некоторое напряжение, которое называлось «электрической атмосферой». И скальпель, и тот, кто держал его в руках, представляли собой определенного рода антенну — громоотвод, разряжавшийся через лягушку.

Но Гальвани не исключал, что могло происходить и что-нибудь более странное. Если лягушка просто реагировала на искусственное электричество, передаваемое по воздуху, то интенсивность сокращений должна была зависеть от расстояния между ней и искрой. Прикрепив металлический крючок к спинному мозгу лягушки, а сам крючок — к отрезку проволоки, Гальвани проделал эксперимент несколько раз, меняя это расстояние. В одном эксперименте лягушка находилась в 50 метрах от генератора. Однако реакция мышцы была, как обычно, резкой даже в тех случаях, когда лягушку помещали в защитный оловянный цилиндр или изолировали в вакуумной камере. Меняя условия опытов, Гальвани пришел к выводу, что электричество, производимое машиной, не было причиной сокращения мышцы. Оно лишь являлось своего рода «запускающим механизмом», возбуждавшим «естественное электричество», которое текло по нервам лягушки.

Гальвани хорошо знал, как легко экспериментатору одурачить себя и увидеть то, что очень хочется увидеть. Он осторожно суживал круги вокруг своей добычи. В конце сентября, т. е. через несколько месяцев после эксперимента в палаццо Замбони, он взял несколько препарированных лягушек и развесил их с помощью металлических крючков на железной балке балкона. На этот раз ни грозы, ни искрящего генератора не было, но лягушачьи мышцы все равно сокращались.

По его мнению, электричество не могло возникать внутри металла. Один проводник, в качестве которого выступали крючок и железная балка, не мог хранить заряд. Для создания потенциала нужно было аккуратно развести отрицательный и положительный полюсы, как в лейденской банке. Труднее было отказаться от мысли, что атмосферное электричество каким-то образом проникло в животное и накопилось в нем, высвобождаясь в тот момент, когда крючок касался железной балки. Небо в тот день было ясное, но Гальвани все равно решил отместить такую возможность.

Одной рукой он поднял лягушку, остававшуюся на крючке, и стал опускать ее так, чтобы лягушачья лапка коснулась серебряной шкатулки. Держа другой рукой кусочек металла, он коснулся им той же блестящей поверхности, и у него возникла электрическая цепь, заставившая лягушку прыгнуть. То же самое произошло, когда он держал лягушку за туловище так, что крючок и одна лапка касались плоского проводника. «В тот момент, когда лапка коснулась поверхности, все ножные мышцы сократились, и лягушка приподнялась». При каждом прикосновении лапки к поверхности ее мышцы сокращались и сокращались, и лягушка подпрыгивала раз за разом до тех пор, пока ее энергия не иссякла. Разве может это быть чем-нибудь иным, кроме животного электричества?

В 1791 году Гальвани опубликовал свои находки в труде под названием «De Viribus Electricitatis in Motu Musculari Commentarius» («О силах электричества при мышечном движении»), высказав предположение, что мышца лягушки ведет себя так же, как лейденская банка, храня и выделяя определенное органическое электричество. Тщательно записав свои эксперименты и проанализировав результаты, он позволил себе поразмышлять. Б людях, думал он, излишек электричества может приводить к беспокойству, приливам крови, а в крайних проявлениях — к эпилептическим припадкам. Выйдя за пределы своей области компетенции, он высказал предположение, что молнии и землетрясения могут иметь общую природу. «Однако предположения не могут быть беспредельны!» Иногда ему хотелось выяснить, участвует ли электричество во всех остальных функциях организма, например в кровообращении и внутренней секреции, но, обещал он, «об этом мы напишем, как только появится такая возможность, в другой комментарии, когда у нас будет немного больше свободного времени».

Поначалу Алессандро Вольта, один из самых выдающихся европейских физиков, когда-либо изучавших электричество, был потрясен открытием Гальвани. Он заявил, что эти эксперименты сделали животное электричество «очевидной истиной». А после этого принялся вежливо и последовательно развенчивать его теорию.

Взяв в качестве подопытного целиком всю лягушку, он пытался касаться спины лягушки кусочком металла, а лапок — монетой или ключом. Затем, сводя вместе металлический электрод и монету до тех пор, пока не возникала электрическая дуга, он в результате получал то же самое — «те же конвульсии, спазмы и судороги», о которых сообщал Гальвани. Но это происходило лишь в том случае, когда использовались

два разных металла.

Гальвани, сообщая о своих экспериментах, отмечал, что «биметаллическая дуга», вероятно, приводила к усилению мышечных сокращений, однако расценил этот факт как уводящий в сторону от решения проблемы. Поначалу и Вольта был склонен считать, что определенное сочетание металлов каким-то образом усиливает ток собственного электричества лягушки в тот момент, когда цепь замыкается. Но потом он решил исследовать это явление более внимательно.

Обнажив седалищный нерв, он присоединил к нему два небольших металлических зажима, похожих на хомутки, оставив между ними небольшой зазор. Один хомут был сделан из олова, а второй — из серебра. В момент замыкания цепи — когда оба хомутка сводились вместе или соединялись куском проволоки — мышцы конечности сокращались. То же происходило с парой олово-латунь. Вольта начинал верить, что проводящая дуга — это не только некоторое соединение, разряжающее или даже ускоряющее животное электричество. Она может сама являться источником энергии. Когда лягушачья лапка дергается, она функционирует как стрелка очень чуткого измерительного прибора, отмечая присутствие нового явления — биметаллического электричества. «Теория Гальвани и его объяснения... по сути своей лишены оснований, — писал Вольта одному из своих коллег, — и имеется что этот эксперимент ничего не доказал, поскольку углерод тоже является проводником.

Тогда другой сторонник Гальвани продемонстрировал, что может создать гальваническую реакцию, просто прикоснувшись к мышце лягушки одной рукой, а к отсеченному нерву — другой. «При каждом моем прикосновении лягушка вздрагивала, подпрыгивала, словно старалась от меня убежать». Вывод напрашивался сам собой: «...металлы не создают электрического движения... В них нет тайных, волшебных свойств».

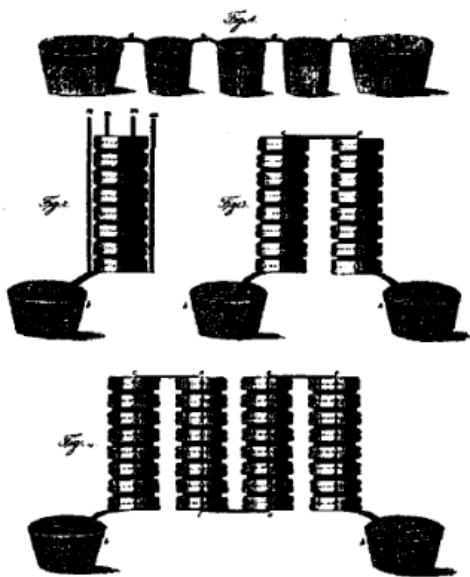
В своем самом убедительном опыте Гальвани полностью исключил все внешние проводники и с большим изяществом разместил лягушку так, что ее седалищный нерв напрямую касался мышцы, приводившей в движение лапку лягушки. Лапка тут же дернулась. Откуда в этом случае могло взяться электричество, если не из самого животного?

Уверенный в своей правоте, Гальвани высмеял Вольту с помощью его же собственных слов: «Но если дело обстоит именно так, если электричество находится в самом животном, а не является общим свойством внешней среды, то что тогда остается от теорий синьора Вольты?»

Пришлось Вольте изменить свои теории. К этому времени он уже начинал подумывать о том, что, возможно, мышца, нерв, руки экспериментатора и даже сама лягушка являются слабыми проводниками второго рода. Подносился ли нерв к мышце, серебру или латуни, эффект был один и тот же: несхожие проводники производят то, что он назвал контактным электричеством.

Электрическая батарея Вольты

Рисунок из трактата А. Вольты «Об электричестве» 1800 год



В более ранних опытах Гальвани проводники первого рода — металлические скальпели, латунные крючки, серебряные шкатулки, крышки — были отделены влажными проводниками второго рода, т. е. лягушкой. С таким же успехом он мог использовать мокрый картон или, как продемонстрировал Вольта, человеческий язык. Положите серебряную монету сверху и медную снизу и, лизнув, вы можете ощутить привкус электричества. Эксперименты с одинаковым металлом тоже нашли свое объяснение. Один проводник первого рода образовывал дугу между двумя проводниками второго рода — нервом и мышцей. В конце концов, можно создать дугу из двух аморфных проводников второго рода — рукой и лягушкой. Не важно, какими будут проводники — естественными или искусственными, — главное, чтобы они были несхожими.

Сегодня мы знаем, что правы были оба ученых и каждому удалось доказать свою правоту с помощью элегантных опытов.

Начнем с Вольты. Взяв несколько десятков дисков — часть из них из меди, а другие — из цинка, — он, чередуя металлы, сложил все диски столбиком, разделяя их картонными шайбами, смоченными в соленой воде. При достаточной высоте столбика он при прикосновении получал легкий электрический удар. Можно было использовать серебро и олово или заменять картон маленькими чашечками с соленой водой, соединенными между собой биметаллическими электродами.

Так он изобрел электрическую батарею. В названии статьи, опубликованной в 1800 году, уже была сформулирована суть его открытия: «Об электричестве, возбуждаемом простым контактом проводящих веществ различного рода». Лягушка Гальвани оказывалась просто влажным разделителем в «электрической батарее».

Но не тут-то было. Завершающий опыт Гальвани был не менее элегантным. Он препарировал очередную свою лягушку «обычным способом» — так, что у нее был

выделен каждый основной нерв лапки. В предыдущих своих экспериментах он прикасался нервом непосредственно к мышце. На этот раз, используя небольшую стеклянную палочку, он соединил один нерв с другим, т. е. образовались два одинаковых проводника, но результат был тот же: мышца сократилась, чего не могло произойти, если бы второй нерв просто раздражался кусочком стекла.

«Какую теперь нужно призвать неодинаковость, чтобы объяснить мышечные сокращения, — вопрошал он, — ибо контакт создается только между нервами?» Он настаивал на том, что эффект возникает только потому, что «в самом животном имеется электрическая цепь».

И ни одному из этих двоих ученых не приходила в голову мысль, что их опыты просто дополняли друг друга и ходили они кругами вокруг одной и той же истины. Природное, искусственное, животное электричество является прежде всего электричеством. Вольта не мог понять, что наблюдаемое им «контактное» электричество было лишь химической реакцией (ему самому казалось, что его батарея была источником вечного движения), тогда как Гальвани настаивал на том, что его биологическое электричество является чем-то совершенно иным.

Пройдут годы, прежде чем физиологи детально разберутся в том, что удалось наблюдать разозлившемуся на Вольту Гальвани в опытах с лягушками: почему в организме каждая микроскопическая клетка действует как крохотная электрическая батарейка, ее мембраны функционально напоминают картонные прокладки, а заряженные ионы выполняют роль цинковых и медных монет. В результате возникло понимание положительного и отрицательного, а также электродвижущей силы под названием напряжение. Когда мышца приходит в движение или палец чувствует поверхность камня, по нервной системе протекает электрический ток. Эфемерная «жизненная сила» отсутствует. Жизнь — это всего лишь электрохимия.

МАЙКЛ ФАРАДЕЙ

Глубинное

Всякий раз, наблюдая вспышки молний и слыша раскаты грома, я вспоминала, как любил он грозу. Никогда не забуду, как часами стоял он у окна, любуясь яркими всполохами. И мы могли лишь предполагать, какими благородными мыслями полнилась тогда его голова — иногда это были размышления о Боге, а иногда о тех законах, которые Он создал, дабы управлять миром.

Маргарет Рейд, племянница Майкла Фарадея (в письме от 22 апреля 1867 г.)

Искра — это ослепительная звезда, возникающая при разряде батареи Вольты, известная всем как самый прекрасный свет, который только может создать человек.

Майкл Фарадей. Экспериментальные исследования электричества

Все знали, что Ада Лавлейс — далеко не подарок. Дочь поэта Байрона родилась весьма неуравновешенной, и ее мать, стараясь исправить характер ребенка, упорно прививала ей любовь к математике. Однако нельзя сказать, что лечение удалось — однажды Ада попыталась бежать из дома с одним из своих учителей. Ее поймали, укротили и выдали замуж за богатого аристократа, которому она предпочла компанию ученых. Среди ее почитателей был и изобретатель Чарльз Бэббидж. Он называл ее «волшебницей чисел», но она хотела, чтобы ее называли «суженой науки». Ее восхищали все новые научные идеи: френология, месмеризм, «исчисление нервной системы». В 1844 году, когда ей было двадцать восемь, она вступила в весьма фривольную переписку с величайшим английским экспериментатором Майклом Фарадеем, стремясь стать его музой и «феей».

Я буду прекрасным привидением, красочным и красноречивым, — по первому твоему желанию. Но сейчас я хочу быть тихой серенькой птичкой рядом с тобой, которую ты незаметно учишь тому, как познать тебя и помочь тебе. Я с удовольствием передам в твои руки свою волшебную палочку, и можешь совершать с ней все, что пожелаешь.

По осторожным ответам Фарадея трудно сказать, как он относился к ее избыточным подчеркиваниями излияниям. Ему было пятьдесят три, он был женатым, добропорядочным христианином, только приходящим в себя от болезни, которую сегодня назвали бы нервным срывом. Он уже успел совершить главные из своих опытов, связав электричество и магнетизм. Может быть, именно лесь Ады заставила его сделать еще один шаг вперед и элегантно продемонстрировать, что электромагнетизм самым тесным образом связан со светом.



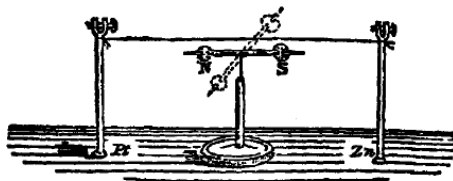
Леди Ада Лавлейс

Они происходили из абсолютно разных миров. Он — сын кузнеца и ученик переплетчика, убедивший великого английского ученого Гемфри Дэви сделать его своим секретарем и ассистентом. Поначалу Фарадей просто был слугой Дэви, путешествовал с ним по Европе и, кстати, встречался с такими людьми, как Вольта и Андре Мари Ампер. Позже, поступив на службу в лондонский Королевский институт, он не гнушался никакой черновой работы, если только она была связана с наукой: занимался анализом глины для Веджвудского фарфорового завода, исследованием пороха для Вест-Индской компании и изучением промышленных процессов на литейных заводах Уэльса. Когда ему было столько же, сколько исполнилось его юной корреспондентке, страховая компания попросила его составить отчет о горючести китового жира, а Британское Адмиралтейство справлялось у него о лучших способах вяления мяса. Примерно в то же время, т. е. в конце 20-х годов XIX века, Дэви рассказал ему о потрясающих экспериментах датского ученого Ханса Кристиана Эрстеда.

Эрстед изготовил электрическую батарею, наполнив двадцать сосудов разведенной кислотой и соединив их последовательно кусочками меди и цинка. Затем он соединил один полюс установки с длинной проволокой, которую установил над компасом параллельно компасной стрелке. В тот момент, когда он подсоединял второй конец к батарее, стрелка компаса поворачивалась на запад. Когда проволока помещалась под компасом, стрелка начинала показывать на восток.

Дэви и Фарадей, не очень-то доверяя датчанину, поспешили повторить его опыты. Примерно в то же время работавший в Париже Ампер показал, что два параллельных провода, по которым течет ток в одном направлении, притягиваются друг к другу, как

магниты. При противоположных направлениях тока проволочки отталкиваются друг от друга.

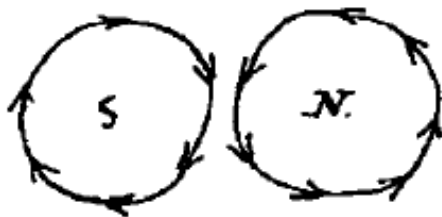


Эксперимент Эрстеда

Рисунок из книги М. Фарадея «Силы вещества», 1868 год

Такая очевидная связь между электричеством и магнетизмом была довольно неожиданной. Удивляло то, что сила могла действовать по окружности, а не по прямой линии. (Один ученый назвал это «вращающимся электричеством».) В ньютоновской механике ничего не предвещало подобного. Фарадею удалось показать, что, используя несложную установку, состоящую из ртути и пробки, можно заставить наэлектризованную проволоку вращаться вокруг магнита или магнит — вокруг наэлектризованной проволоки. Он изобрел электрический мотор. Если из проволоки сделать рамку и присоединить ее к батарее, то она становится слабым магнитом. Если изогнуть проволоку в форме спирали, магнитная сила увеличивается, концентрируясь в центре обмотки.

Несколько элегантных экспериментов выдвинули Фарадея в лидеры европейской науки. И тут, к сожалению, ему пришлось на время прекратить свои исследования — он вынужден был заниматься тем, что от него потребовала промышленная революция, и на десять лет погрузился в производство стали, меди и стекла. В письме Амперу он жаловался, что «много времени уходит, к сожалению, на повседневные дела», а не на эксперименты, которые он так любил. Но он все равно находил время на необычные исследования — изучал волнистый рисунок, или, как он его назвал, «мурашки», возникающие, когда тонкий слой порошка или песка распределяется по поверхности металлической пластины, которая вибрирует от прикасающегося к ней скрипичного смычка. Размещенная рядом с ней вторая такая пластина с порошком будет вибрировать аналогичным образом. Он также экспериментировал с жидкостями. «Когда ртуть на оловянной пластинке вибрирует в солнечном свете, отраженный свет очень красив, — сообщал он в своем отчете, чем-то напоминающая Ньютона. — Чернила и вода, вибрирующие в солнечном свете, тоже выглядят необычайно красиво». Но только в 1831 году ему удалось вновь вернуться к своим экспериментам с обмотками и батареями.



Проволока, вращающаяся вокруг магнита

Рисунок из дневника Фарадея

К тому времени английский естествоиспытатель Уильям Стерджен уже наматывал неизолированную проволоку на покрытый лаком железный сердечник, создавая таким образом электромагнит, достаточно мощный для того, чтобы удерживать груз весом больше его собственного. Используя проволоку с изоляцией, американец Джозеф Генри создал электромагнит, удерживавший груз весом более тонны. Однажды летом Фарадей решил проверить, что произойдет, если рядом поместить две рамки. Он попросил мастерскую при Королевском институте изготовить кольцевую железную рамку толщиной 2 сантиметра и радиусом 15 сантиметров. С одной стороны он намотал 22 метра медной проволоки, изолированной бечевой и ситцем. Это он назвал обмоткой А. С другой стороны кольца он намотал примерно 18 метров проволоки и назвал это обмоткой В.

Обмотки эти не имели контактов, однако, когда он прикасался проводами первой обмотки к полюсам батареи, гальванометр, подсоединенный ко второй обмотке, начинал дергаться, колебаться и только через какое-то время успокаивался в первоначальном положении. Думая, вероятно, о возникновении волн в его акустических экспериментах, он поначалу представлял все так, что «волна электричества», возникшая в первой обмотке, пройдя по кольцу, могла породить ток во второй обмотке. В результате он обнаружил электромагнитную индукцию и распахнул окно в совершенно иной мир.

Катушка индуктивности

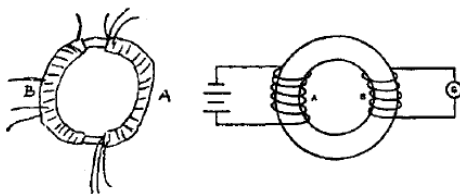


Рисунок из дневника Фарадея

Перемещение бруска магнита вперед и назад внутри полой рамки тоже приводило к образованию электрического тока в проволоке. Эрстед преобразовывал электричество в магнетизм, а теперь Фарадей преобразовал магнетизм в электричество, создав некое подобие динамо-машины, т. е. механическую противоположность мотора, который он изобрел за десять лет до этого. «Выходит, за всем тем, что существует в мире, непременно скрывается нечто глубинное, потаенное», — как впоследствии выразится Эйнштейн. И задача ученого — извлечь это на поверхность.

Чем больше Фарадей размышлял, тем больше ему открывалось. Он заметил, что со временем медные электроды в его электрических батареях постепенно покрываются окисью цинка, а цинковые электроды — медью. Перетекание электричества между двумя полюсами батареи, вероятно, сопровождалось движением атомов. Это делало возможным не только новый многообещающий промышленный процесс — покрытие металлов медью или серебром, но и другие, гораздо более сложные технологии. Батарея оказывалась тем тиглем, в котором одна энергия, химическая, превращалась в другую, электрическую. Этот процесс действовал и в обратном направлении. Когда две положительно и отрицательно заряженные проволоочки погружались в подсоленный раствор, то на одной из них накапливался водород, а на другой — кислород. Электричество порождало химические реакции, а химические реакции порождали электричество.

По всей Европе ученые сталкивались с этими загадками. Может быть, вода состоит из водорода и кислорода? Или, как предполагал один немецкий ученый, вода является первоосновой, и кислород возникает при взаимодействии с положительным электричеством, а водород — с отрицательным? Этот ученый даже пытался возродить теорию флогистона. Но именно Фарадею удалось покончить с сим заблуждением. В 30-е годы XIX столетия он раз за разом опытным путем показывал взаимосвязь между электричеством, магнетизмом и химией. И вдруг за несколько лет до того, как в его жизнь настойчиво постучалась Ада Лавлейс, он охладел к своим занятиям.

Фарадей долгое время жаловался на проблемы с памятью, а потом погрузился в мрачную депрессию, не мог концентрировать свое внимание, жаловался на частое головокружение. Не исключено, что причина была в его умственном переутомлении или медленном отравлении всеми химикатами, которые периодически попадали на его кожу. По совету врача он стал отказываться от выступлений и научных исследований. Почти все время он писал или проводил в размышлениях. Еще более он удалился от людей после разрыва с Церковью — вероятно, из-за каких-то споров сектантского характера. Именно в этот момент в его жизни появилась изысканная лесь из уст Ады Лавлейс, которая подействовала на него столь сильно, что он понял: для него

есть только один выход — оборвать все отношения с ней. «Не повергайте меня в отчаяние своими приглашениями, — умолял он ее. — Я не смею и не могу явиться и, в то же время, у меня нет сил отказать вам».

Может, будет слишком большой натяжкой утверждать, что общение с «суженой науки» стало поворотной точкой в его судьбе, но тем не менее именно в это время к Фарадею вновь возвращаются силы. Он приходит в лабораторию, чтобы найти ответ на вопрос, который мучил его многие годы. Уже было совершенно ясно, что магнетизм и электричество тесно взаимосвязаны. Но нет ли такой же связи между электричеством и светом?

Будучи научным консультантом «Тринити-хаус», организации, учрежденной в 1514 году указом Генриха VIII, «дабы упорядочить проводку судов по водным потокам королевства», Фарадей был занят усовершенствованием масляной лампы Арганда, которая использовалась на маяках по всему побережью Англии и Уэльса. В конце августа 1845 года он зажег один из маяков в своей лаборатории и приготовился к эксперименту, ставшему самым красивым в его научной карьере.

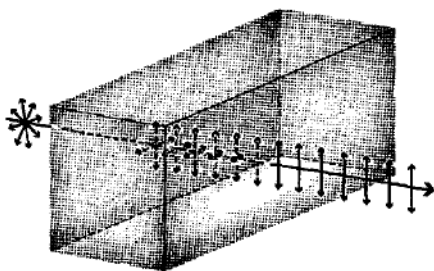
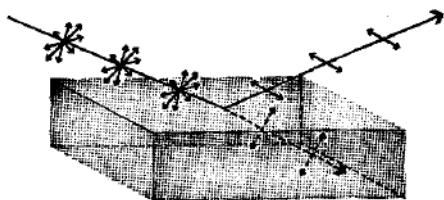
Свет, распространяясь, колеблется в двух перпендикулярных направлениях под прямыми углами к вектору движения. Но, отразившись от плоской поверхности или пройдя через обладающий определенными свойствами кристалл, например турмалин, свет становится поляризованным, то есть все его колебания происходят в одном направлении.

Если посмотреть на такой луч через второй поляризующий кристалл, вращая его вокруг оси на 360° , то изображение луча будет периодически темнеть и светлеть в зависимости от того, как синхронизируются фильтры.

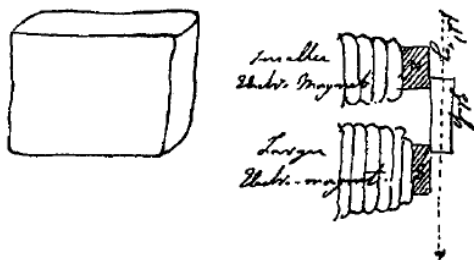
Вопрос, на который теперь хотел найти ответ Фарадей, сводился к тому, может ли электрический ток повернуть световой пучок, заставив вращаться его плоскость колебаний. Заполнив длинную ванну слабопроводящим раствором, он поместил платиновые электроды в противоположных концах емкости и подсоединил их к электрической батарее, состоящей из пяти гальванических элементов. Установка была схожа с той, в которой воду разлагают на составляющие ее газы или покрывают медью ложку. Затем он включил лампу Арганда и поставил на пути светового пучка плоскую стеклянную поверхность, чтобы получить отраженный поляризованный пучок. После этого он пропустил его через раствор в ванне, а затем проверил поляризацию, пользуясь приспособлением, известным как призма Николя.

Поляризация света при отражении и прохождении через поляризующий кристалл

Однако ничего не произошло. Направление колебаний не изменилось. Фарадей стал повторять эксперимент при постоянных токах, при перемежающихся токах, при токах, проходящих через различные растворы, но сколь-нибудь заметного эффекта отмечено не было. Он стал направлять световой поток не перпендикулярно, а параллельно электрическому току, однако смещения поляризации не происходило и в этом случае. Подумав, что его батареи недостаточно мощные, Фарадей продолжил экспе-



рименты с генератором статического электричества, заряжая стеклянную пластину и пропуская пучок света сквозь нее в разных направлениях. Но и это ни к чему не привело.



Опыт с поляризацией. Квадратная стеклянная пластинка (слева) помещается между противоположными полюсами (северным и южным) электромагнита. Пучок поляризованного света, проходящего через стекло, вращается электромагнитным полем

Рисунок из дневника Фарадея

И только тогда он решил обратиться к магнетизму. Найдя у себя в лаборатории тяжелый кусок оптического стекла площадью примерно двенадцать квадратных сантиметров и толщиной чуть более сантиметра, он поместил его рядом с полюсами мощного электромагнита. Лампу и поляризующую поверхность он расположил так, что

горизонтальные световые волны проходили вдоль стекла. Глядя через призму Николя, он вращал ее до тех пор, пока луч не исчезал. Затем он включал ток. Изображение пламени неожиданно появлялось вновь. Он выключал магнит, и пламя снова исчезало. Магнитное поле заставляло пучок света повернуться!

Вся предыдущая работа Фарадея по исследованию электричества и магнетизма приближалась к кульминации. Радость от полученных результатов заставила его продолжить эксперименты с удвоенной силой. «Сейчас у меня нет и минуты ни на что иное, кроме работы, — писал он одному из коллег. — Мне удалось обнаружить прямую связь между магнетизмом и светом, а значит, между электричеством и светом, и это открывает столь широкое и многообещающее поле деятельности, что мне хочется первому на него взглянуть.... У меня действительно нет времени об этом рассказывать, я ни с кем не встречаюсь и всецело занят только работой».

Как удалось понять Фарадею, направление магнитного поля имеет огромное значение. Когда он помещал северный полюс магнита с одной стороны стекла, а южный — с другого, ничего не происходило. Ничего не происходило и в том случае, когда одинаковые полюса оказывались с обеих сторон стекла или когда одинаковые полюса оказывались с одной стороны от стекла. «Но. — записал он в своем дневнике (как Ада Лавлейс, он от возбуждения подчеркнул это слово три раза), — когда противоположные полюса магнита оказываются с одной стороны, они *воздействуют на поляризованный луч*, и, таким образом, доказано, что магнитная сила и свет взаимосвязаны».

Он подтвердил, что мощный постоянный магнит также способен вращать луч, а вместо стекла можно использовать и иные прозрачные материалы. Одни ведут себя лучше, чем другие, но в любом случае степень вращения зависела от величины магнитного поля. При изменении полярности поля на противоположную луч тоже меняет направление поворота. Итак, были поставлены все точки над «i»: электричество связано с магнетизмом, а магнетизм со светом.

Джеймсу Максвеллу осталось только через двадцать лет показать в своих знаменитых уравнениях, что свет имеет электромагнитную природу. Не останавливаясь на достигнутом, Фарадей пошел дальше и принялся за создание единой теории, объединяющей и гравитацию с магнетизмом, — стремление, которое с тех пор не оставляло ни его, ни Эйнштейна, ни многих других ученых. «ВСЁ ЭТО — МОЯ МЕЧТА, — записал он в своем дневнике. — Нет таких чудес, которые не смогут стать истиной, если только они не противоречат законам природы, а лучшим доказательством непротиворечия является эксперимент».

Все это время Ада не выходила у него из головы. «Видишь, что ты со мной творишь, — писал ей Фарадей в 1951 году, т. е. через шесть лет после того, как умолял ее забыть о нем. — Ты говоришь — пиши, и я пишу, и как жаль, что у меня нет ни сил, ни возможности отдохнуть, чтобы позволить себе и многое другое». В следующем году Ада умерла от рака шейки матки. Было ей тогда всего тридцать шесть. Фарадей пережил ее на пятнадцать лет.

ДЖЕЙМС ДЖОУЛЬ

Что такое работа

Вы немало удивитесь, узнав, что до недавнего времени бытовало мнение, будто жизненную силу можно разрушить целиком и навсегда. Так, например, считалось, что если груз падает на землю, то его жизненная сила полностью исчезает, а труд, потраченный на поднятие груза на высоту, с которой он упал, оказывается абсолютно бесполезным.

Джеймс Джоуль. Манчестерская лекция, 1847 год

Мы не знаем, о чем думалось Уильяму Томсону в тот облачный августовский день 1847 года, когда он пешком отправился из Шамуа в Сен-Жерве, но не исключено, что его мысли были заняты физикой. Томсон был вундеркиндом и первую свою научную работу опубликовал, когда ему было всего шестнадцать. Сразу после окончания Кембриджа в возрасте двадцати двух лет он получил должность профессора естественной философии в университете Глазго, и теперь, по истечении года, путешествовал по Французским Альпам в надежде покорить Монблан. Томсон начинал верить, что все силы природы должны быть взаимосвязаны (он был «оплодотворен огнем Фарадея»), и вполне мог обдумывать эту идею, преодолевая перевал Коль-дю-Бом, где среди восходителей и увидел знакомое лицо Джеймса Джоуля.

Джоуль отмечал медовый месяц (его жена, несколько поотстав, совершала восхождение на телеге). Как потом вспоминал Томсон, у Джоуля был огромный термометр, которым он измерял температуру воды водопадов. Если Джоуль был прав, то вода внизу водопада должна быть чуть теплее, чем вверху, и это означало, что доминирующая в физическом сообществе того времени теория теплоты, которую Томсон считал наиболее загадочной из всех сил природы, была неверной. Он договорился встретиться с Джоулем через несколько дней у Кас-кад-де-Саланш (вероятно, их интересовал водопад Арпеназ высотой 370 метров), у которого разница в температуре воды вверху и внизу должна была составлять, как полагал Джоуль, полтора градуса по Фаренгейту. Однако провести точные измерения, вспоминал Томсон, помешали обильные брызги. Не получив никаких данных, мужчины пошли каждый своей дорогой.

Может быть, эта история и кажется слишком надуманной, но факт остается фактом — Джоуль и Томсон, будущий лорд Кельвин, действительно встречались в горах. В письме к отцу, написанном через несколько дней в приюте Гран-Сен-Бернар, Томсон подробно рассказал об этом событии, не упомянув лишь о наличии термометра.

Но память — вещь ненадежная, поэтому Томсон, к тому времени ставший одним из выдающихся ученых Европы, мог немного напутать и поведать о том, что происходило ранее.

Их пути впервые пересеклись на научной конференции в Оксфорде, за два месяца до знаменитой встречи в горах. Привыкший к тому, что от его идей постоянно отмахиваются, Джоуль, талантливый самоучка из промышленного города Манчестера, обрадовался, когда молодой человек по имени Томсон встал и сделал несколько замечаний по существу его доклада. Робкий и стеснительный, Джоуль был далеко не самым лучшим лектором, поэтому, когда он понял, что его хоть кто-то слушал, радости его не было предела. В своих воспоминаниях Томсон настаивал на том, что во время заседания он с места не вставал, а все вопросы задал уже после. Возможно, на этот раз память подвела Джоуля, но следует заметить, что эксперимент, о котором он рассказывал, просто не мог не произвести впечатления на внимательных слушателей.

Лавуазье удалось ослабить хватку мифического флогистона, но незадолго до своей смерти он успел ввести новое понятие: теплород. Так он назвал невидимую субстанцию, своего рода «неуловимый флюид», который, по его мнению, был носителем тепла. Все горячее считалось наполненным теплородом, и поскольку теплород имел тенденцию к расширению, то он совершенно естественным образом перемещался туда, где его не было. Вставьте кочергу в огонь, и теплород будет медленно подниматься по ручке кочерги, и в какой-то момент вы почувствуете, как она нагревается. Тела расширяются при нагревании, поскольку их начинает заполнять теплород. Тела нагреваются при сжатии, потому что теплород, находящийся внутри их, концентрируется, а при разрежении тела остывают, потому что теплород из них выходит.

В паровой машине теплород можно заставить работать, как воду — в водяной мельнице. Высвобождаясь из кусков горящего угля, теплород перетекает в котел, нагревает воду и выходит вместе с паром, приводящим в движение поршень. При завершении цикла именно это количество теплорода выбрасывается в воздух вместе с отходящими газами. Как вещество, теплород нельзя ни создать, ни разрушить. Количество теплорода во Вселенной конечно, и он постоянно перемещается из одного места в другое.

Вот поэтому Томсон так заинтересовался докладом Джоуля — ведь тот брался доказать, что тепло можно создавать совершенно произвольно! На приеме в тот же день в библиотеке Радклиффа — элегантно куполообразной пристройке к оксфордской Бодлейской библиотеке — они обсудили значение сделанного сообщения. «Я уверен, что Джоуль во многом не прав, — несколько дней спустя писал Томсон своему отцу, — но, кажется, ему удалось обнаружить некоторые факты чрезвычайной важности». А чуть позже в письме к своему новообращенному другу Джоуль утверждал: с помощью каната, ведра и хорошего термометра можно доказать, что нагрев осуществляет даже падающая вода.

Джоуль был далеко не первым ученым, готовым оспорить утверждение, будто тепло — это невидимый флюид, и тут в нашем повествовании должно появиться имя Лавуазье, или, если быть очень точным, его вдовы Марии-Анны. Она какое-то время отсидела в тюрьме, но после падения Робеспьера ей удалось не только получить свободу, но и вернуть себе имение мужа, в котором тут же возник великосветский салон, где бывали лучшие умы Европы. Среди ее гостей оказался и Бенджамин Томсон, приехавший из Америки, — ему пришлось после поражения революции бежать в Лондон,

оставив на родине жену и дочь. Со временем он поселился в Баварии, где заполучил титул графа Румфорда, а после того как в 1801 году встретился с Марией-Анной, захотел заполучить и ее. Она была мила, добра и умна, и, как он писал, не только сама являлась «большим плюсом» (что, вероятно, означало пышность ее форм), но «и имела немаленькое приданое».

Сам-то граф, надменный и своенравный господин, был далеко не подарок (кстати, заметим, что и первая его жена была богатой вдовушкой), однако достаточно умен, чтобы понять — путь к сердцу Марии-Анны лежит только через ее разум. Он развлекал ее рассказами о своих научных достижениях, в основном связанных с изучением теплоты. Среди его изобретений были печь Румфорда, теплое нижнее белье, кофеварка, но, что более важно, именно он первым поставил эксперимент, подвергший сомнению теорию теплорода.

Работая на баварскую армию, Румфорд как-то заметил, какое огромное количество тепла выделяется при сверлении стволов латунных пушек. По всеобщему мнению, при сверлении высвобождался теплород, до этого заключенный в металле, но Румфорд в этом усомнился. Он погрузил пушку в воду и впряг в сверло двух лошадей. Вода стала нагреваться, и через два с половиной часа она уже кипела, нагретая «только силой лошади, а не огнем, светом, горением или химическим разложением».

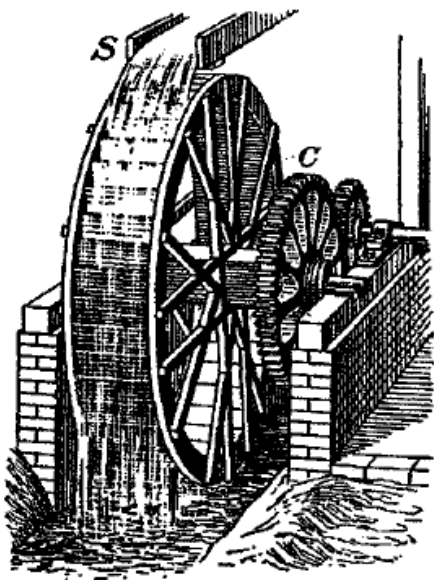
«Трудно описать, как удивились и поразились зрители, на глазах которых удалось нагреть такое большое количество холодной воды, при этом она не просто нагрелась, а закипела, и это без всякого огня», — сообщал он в Королевское научное общество. Он даже не сомневался, что может нагревать воду до тех пор, пока будут трудиться лошади. Если бы существовала такая вещь, как теплород, то в пушке его должно было содержаться неограниченное количество.

Другие тоже склонялись к такому же выводу: теплота нематериальна, она своего рода *vis viva* («жизненная сила»), или движение, — «очень быстрое и сильное возбуждение отдельных частей тела», как выразился Роберт Гук. Швейцарский математик Даниил Бернулли предложил считать теплоту результатом вибрации невидимых маленьких частиц вещества. Но эта теория не встретила поддержки, а эксперимент Румфорда был недостаточно точен, чтобы оказать существенное влияние на научное общество.

После четырех лет ухаживания Румфорду удалось уговорить Марию-Анну стать его женой, и он переехал в ее дом. Однако этот брак продлился недолго. Румфорд, решив, что супруга ему уделяет слишком мало внимания, стал отказывать ее гостям, а она в отместку полила горячий, изобиловавший теплородом водой его любимые розы. Наконец, Мария-Анна заплатила ему 300 или 400 тысяч франков, чтобы только он исчез из ее жизни.

В первые десятилетия XIX века, когда все по примеру Фарадея пытались разгадать многочисленные тайны электричества, природа теплоты — такой обычной, можно сказать, повседневной и вместе с тем могучей — оставалась неизвестной. Теплота не хотела выдавать своих секретов. Каким-то образом, проходя через паровую машину, эта таинственная невидимка могла — в буквальном смысле этого слова! — двигать Землю. Приводимые в движение паром насосы выкачивали тонны воды из штолен, делая доступными новые угольные залежи, благодаря которым крутились колеса локомотивов, фабрик и мельниц. Паровые лопаты добывали огромное количество железной руды, необходимой для производства новых инструментов и технических

устройств. При наличии такого мощного и повсеместного источника энергии, как вода, приводимые в движение водой предприятия сначала возникали на севере Англии, а потом стали распространяться на юг, где ландшафт был намного ровнее. В Манчестере, где в 1818 году родился Джоуль, паровые машины использовались повсюду, нещадно дымя и вращая колеса. Принцип работы этих устройств был хорошо понятен; пар высокого давления приводит в движение поршень, который вращает колесо, но никто не знал, какие законы природы позволяют это делать. Произошло так, как если бы много лет спустя кто-то попытался бы методом проб и ошибок создать атомный реактор, не разбираясь в физике.



Колесо, приводимое в движение водой

Было понятно, как работает водяная мельница. Вода быстро течет на лопасти колеса, падает вниз, и дальше уже движется с меньшей скоростью. Некоторая часть ее «жизненной силы» расходуется на поворот колеса. Чем больше разница между скоростью воды на входе и выходе, тем большая часть энергии падающей воды используется в процессе.

Многие инженеры, например француз Лазар Карно, стремились повысить эффективность водяного привода. В 1824 году его сын Сади, названный так в честь персидского поэта, выдвинул идею, согласно которой лопасти водяного колеса и паровая машина работают по одному принципу, только во втором случае вместо падения воды используется «тепловое» падение — перепад между горячим и холодным. Он изложил свою теорию в трактате под названием «Рассуждения о движущей силе огня», который в свое время стал известен лишь небольшому количеству специалистов. Пар

входит в машину с очень высокой температурой, а покидает ее со значительно меньшей. Чем больше разница температур, тем больше работы может совершить пар, но в пределах того, что позволяет ему физика. Можно рассмотреть этот цикл и в обратном порядке; совершать работу, закачивая пар на более высокий уровень (на этом принципе работает современный холодильник, черпающий энергию из электрической розетки).

С анализа Карно началось то, что Кельвин впоследствии назовет термодинамикой, однако сам Карно продолжал считать, что теплота — это вещество под названием теплород, который, так же как вода, падающая на лопасти колеса, не может быть ни создан, ни уничтожен. Джоуль, будучи подростком, вероятно, узнал это все от своего учителя Джона Дальтона — еще одного жителя Манчестера, чьи эксперименты позволили заложить основы современного атомного учения. Отец Джоуля, преуспевающий пивовар, организовал для своих сыновей частные уроки химии. И вот, увлекшись научными опытами, Джоуль то бил мальчишек электричеством, используя лейденские банки, то пускал электрический заряд через хромую лошадь и девочку-служанку, которая как-то получила такой удар, что потеряла сознание. Когда ему исполнилось девятнадцать, он уже что-то соорудил из катушек и магнитов в надежде создать электромотор, который будет мощнее паровой машины и дешевле в эксплуатации.

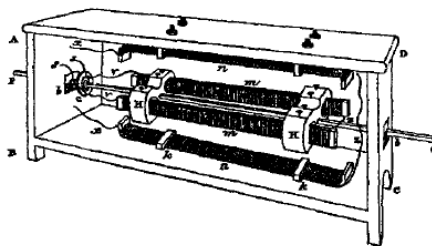
Для питания устройства Джоуль использовал электрические батареи, в которых два электрода — цинковый и медный — погружались в разбавленную серную кислоту. В такой батарее кислота реагирует с цинком, высвобождая электроны. Если к противоположным полюсам подключить мотор, то через него потечет ток, который будет намагничивать обмотки и заставлять мотор вращаться.

Очень быстро Джоуль заметил, что сила электромагнита возрастает как квадрат силы тока. Удвоив количество батарей, можно вчетверо увеличить мощность. Сама вероятность того, что это соотношение справедливо и для электромотора, звучала тогда так же заманчиво, как в 80-е годы прошлого столетия возможность холодного термомояда. «Вряд ли стоит сомневаться, что электромагнетизм в конечном счете заменит пар как источник движения машин, — заявил Джоуль с энтузиазмом двадцатилетнего юноши, еще не знакомого с трудностями бытия. — Стоимость эксплуатации электромотора можно уменьшать до бесконечности». Если не считать небольших трудностей, например, сопротивление воздуха и преодоление трения, считал он, «нет ничего такого, что могло бы помешать достигнуть огромных скоростей вращения и в результате — огромных мощностей».

Однако в реальности все обстояло не так просто. Мощность первого мотора Джоуля была достаточной лишь для того, чтобы с трудом заставить вращаться ротор. Джоуль перепробовал множество вариантов обмоток и батарей, наматывал различные типы проволоки на разные сердечники, и, чем больше он пробовал, тем больше сопротивлялась ему природа. С ростом тока, подаваемого на мотор, росла температура обмоток. По сути, Джоуль обнаружил, что нагрев тоже увеличивается пропорционально квадрату величины тока. При удвоении количества батарей нагрев происходит в четыре раза сильнее. Казалось, решение не будет найдено никогда. Правда же заключалась в том, что система не способна отдавать больше энергии, чем получает сама. Можно лишь один вид энергии преобразовать в другой.

К 1841 году это уже было понятно. Лучшие паровые машины в мире могли усваивать достаточно «жизненной силы» из фунта угля, чтобы поднять груз весом полтора

миллиона фунтов на один фут над землей или груз весом один фунт на полтора миллиона футов над землей. Другими словами, фунт угля производил 208 тысяч кг х м работы. Лучший, работавший от батареи, электромотор Джоуля мог извлечь всего лишь одну пятую от этого количества из фунта цинка, а цинк стоил в 60–70 раз больше, чем уголь. «Сравнение настолько удручающее, — жаловался Джоуль, — что я начинаю терять веру в то, что электромагнетизм хоть когда-нибудь станет источником мощности, привлекательным с точки зрения экономики».



Электрический мотор Джоуля

Рисунок из его «Научных записок»

Сегодня, конечно, электромоторы, которые питаются от электрических сетей, давно и повсюду вытеснили паровые машины. Но все равно источником их энергии является преобразованный пар. Для того чтобы довести воду до кипения, на электростанции сжигается уголь или газ или происходит распад урана в реакторе, затем пар начинает двигать турбины, которые, в свою очередь, приводят в движение динамо-машины, производящие электричество.

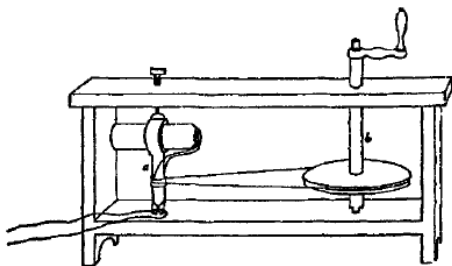
Для человека, непосредственно занятого изготовлением моторов, нагрев всегда представлял собой проблему, но только Джоулю стала постепенно открываться истина: между теплом и работой существует фундаментальная связь. Если проволокой замкнуть полюсы батареи, она так быстро нагревается, что начинает дымиться ее изоляция. Но если в цепь вставить электромотор, то проволока не перегревается, поскольку за счет теплоты осуществляется работа мотора. То же самое происходит, когда батарея используется для электролиза воды — разделения ее на водород и кислород — или при анодировании ложки.

Может быть, теплород вытекает из батареи вместе с электричеством, однако батарея при этом не становится холоднее — еще одно доказательство того, что теплота не присутствует изначально, а возникает в результате какого-либо процесса. В 1843 году Джоуль начал проверять эту гипотезу.

Он решил поместить катушку с железным сердечником внутри изолированной стеклянной трубки, наполненной водой, и вращать ее изогнутой ручкой. Вдоль трубки он установил два электромагнита, снятых с его электромоторов. В результате получился генератор. Провода катушки были подсоединены к гальванометру, измеряющему величину получаемого тока. (Чтобы провода при вращении не скручивались, он

придумал контакт, состоявший из двух полукруглых канавок, заполненных ртутью.) Джоуль определял температуру воды, потом крутил ручку в течение 15 минут, а затем снова измерял температуру воды.

Это достаточно сложный опыт, поскольку приходится принимать во внимание такие факторы, как охлаждающий эффект воздуха и колебания температуры в помещении. Нужно было учесть и то, что ток, возбуждаемый при вращении ручки, был не постоянным, а пульсирующим. Джоуль испробовал электромагниты различной мощности, а также разное количество гальванических элементов и, только все перепробовав, позволил себе увериться в том, что вода нагревается от вращения. Более того, сопоставив показания гальванометра и термометра, он увидел знакомую закономерность: удвоение величины тока вело к повышению нагрева в четыре раза.



Генератор Джоуля. Электромагниты на рисунке не изображены

Рисунок из «Научных записок» Джоуля

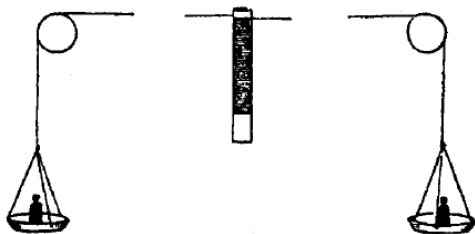
Обмотка катушки не была соединена с батареей, поэтому теплороду братья было неоткуда. Единственно возможным источником нагрева была работа, которую проделывал Джоуль, вращая ручку. Как и в эксперименте с пушкой, проведенном Румфордом, вращательное движение преобразовывалось в движение иного рода — незаметные вибрации, которые наши пальцы ощущают как тепло.

Джоуль знал, что для переубеждения скептиков полученных результатов мало. Необходимо еще точно определить, какое количество работы совершено для получения соответствующего количества тепла. Он перестроил свой первоначальный прибор, обмотав двумя длинными кусками бечевы вал ручки так, что один отрезок бечевки был накручен в одну сторону, а второй — в другую. Каждый конец бечевы был продет через шкив и прикреплен к чаше весов, на которой находился груз. По мере падения груза катушка будет вращаться и генерировать электричество и тепло.

Испробовав различные веса, падавшие с разной высоты (чтобы падение было достаточно долгим, он даже выкопал две ямы в своем саду), он пришел к выводу, что 838-фунтовая масса, поднятая на фут над землей, создает механическое усилие, достаточное для того, чтобы нагреть фунт воды на один градус Фаренгейта. Поэтому температура на вершине и внизу водопада высотой 838 футов (около 255 м) — примерно такую высоту имеет водопад короля Эдварда VIII в Гайане — будет отличаться

почти на один градус, внизу она будет теплее.

В августе 1843 года он изложил полученные результаты на научной конференции в ирландском городе Корке, но, как он позднее говорил, «эта тема не стала предметом всеобщего внимания». Не исключено, что обилие различных явлений — электричество, магнетизм, теплота, движение — не позволили слушателям вникнуть в суть доклада. Джоулю все еще требовался решающий эксперимент, способный убедить любого, но при этом простой, более элегантный и более четкий.

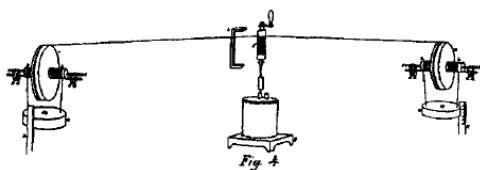


Веса и шкивы, приводящие в движение вал генератора

Рисунок из «Научных записок» Джоуля

К своей оксфордской встрече 1847 года с Томсоном Джоуль уже обладал таким доказательством. Наступал вечер, и его попросили сделать лекцию покороче. Из Манчестера он привез с собой установку, которую и поместил на столе в аудитории. Это был медный сосуд, изнутри покрытый оловом. Крышка также была оловянной. В отверстие посередине крышки входил вал латунного гребного колеса. Во второе отверстие вставлялся термометр.

Джоуль объяснил, как он наполнял сосуд водой и приделывал веса, бечеву и шкивы для того, чтобы колесо вращалось. С внутренней стороны сосуда направляющие лопасти препятствовали свободному вращению воды, увеличивая трение. Поместив на каждую чашу груз весом 29 фунтов (13 кг), он поднял его на высоту 5,25 фута (1,6 м) и позволил ему упасть вниз. Затем он снова намотал бечеву и повторно сбросил груз вниз. Так продолжалось двадцать раз. Это было равносильно тому, что груз весом 58 фунтов (26,3 кг) был сброшен с высоты 105 футов (32 м). Весь эксперимент он проделал девять раз, обнаружив в итоге, что вода нагрелась примерно на $0,668^{\circ}$.



Усовершенствованная схема эксперимента Джоуля

Рисунок из «Научных записок» Джоуля

Он понимал, что часть силы падающего груза расходуется на преодоление трения между шкивами и струной. Чтобы определить, какая именно часть силы расходуется на это, он взял валик такого же диаметра, что и шпиндель, и, обмотав вокруг него бечевку, подвесил с обеих сторон по грузу. Постепенно добавляя небольшие веса с одной стороны, он обнаружил, что требуется примерно 7,2 унции (примерно 200 г), чтобы нарушить равновесие и заставить валик шевельнуться.

Учтя этот и другие факторы, он уточнил свои предыдущие измерения; итак, чтобы нагреть один фунт воды на один градус, требуется 108 «килограмм-метров». Раньше он считал, что для этого необходимо 106,7, а один градус разницы в температуре имеет потенциал, необходимый для подъема 106,7 кг на один метр, и надо только понять, как этот градус использовать.

В тот раз, чтобы не затуманивать основной смысл, в эксперименте не использовались ни обмотки, ни гальванические элементы; тепло и работа не только оказались взаимосвязанными, но и, по сути, одним и тем же: два разных способа преобразования «усилия», или «жизненной силы», или, как мы теперь говорим, энергии, в движение. Выходит, работа — это результат приложения силы, смещающей тело на определенное расстояние. Например, лошадь, тянущая повозку. Это структурированная энергия, поставленная на службу человеку. Теплота же, наоборот, — непроектируемая работа, ненаправленная, неструктурированная — энергия, рассеиваемая в результате неупорядоченных микроскопических вибраций. По мере развития атомистической теории это представление обретало дополнительную конкретику: теплота — это вибрация атомов.

Такая формулировка была исключительно интересной и легко воспринимаемой: при поднятии веса с земли Джоуль расходует энергию, а когда груз падает вниз, он возвращает полученную ранее энергию. Если эту энергию впрячь в генератор, то работу можно преобразовать в электрическую энергию, которая будет приводить в движение моторы, качать воду в резервуар, а вытекая оттуда, вода в свою очередь будет вращать водяное колесо, которое можно использовать для завода гигантской часовой пружины. Но на каждом этапе этой схемы часть энергии будет теряться в виде тепла. А если груз будет падать, не производя при этом никакой полезной работы, то, кроме нагрева земли в месте падения и воздуха в результате трения об него падающего груза, ничего не произойти. Поэтому необходимо сохранять не теплород, а энергию.

Признав, что Джоуль совершил открытие, Томсон тут же задумался о том, что из него следует.

Итак, хотя тепло не исчезает из Вселенной, оно постепенно уменьшается, поскольку процесс перетекания от горячего к холодному, и никогда наоборот, — своего рода путь «безвозвратных потерь». Можно предположить, размышлял он, что мир когда-то был очень горяч и с тех пор постоянно остывает: «...какой-то конечный период времени тому назад и через какой-то конечный период времени в будущем Земля была и будет непригодна для обитания человека».

Ныне ясно, что это справедливо и в отношении всей Вселенной. Она началась с Большого взрыва и с тех пор постепенно «сползает вниз». И все это открылось потому, что кому-то захотелось понять, как устроена паровая машина!

Глава 8

АЛЬБЕРТ АБРАХАМ МАЙКЕЛЬСОН

Затерянные во Вселенной

В космосе отсутствуют приметы, поскольку каждая область пространства ничем не отличается от другой, а потому нельзя точно сказать, где мы находимся. По сути, мы плывем в безмятежном море и не можем определить свой курс ни по звездам, ни по компасу, ни по звукам, ни по направлению ветра, ни по приливу; мы даже не знаем, в каком направлении плывем. Нет у нас и лота, который мы бы бросили за борт, чтобы узнать, какова наша скорость; мы способны лишь рассчитать наше смещение по отношению к соседним телам, да только у нас нет ника кого представления о том, как эти тела перемещаются в пространстве.*

Джеймс Клерк Максвелл. *Материя и движение*

Для опытного моряка Альберта Абрахама Майкельсона картина, нарисованная Максвеллом, была бы настоящим кошмаром — дрейфовать безветренной ночью, не видя звезд, по которым можно определить, где ты находишься... Майкельсон изучал физику, будучи молодым человеком, во время службы в военном флоте США, а точнее, в Военно-морской академии в Аннаполисе, а также в океане, осваивая штурманское дело. Вы должны забыть о Копернике и думать как Птолемей. Вы и ваш корабль находитесь в центре Вселенной, а звезды вращаются вокруг вас. При определении местоположения вам необходимо учитывать скорость вашего судна, а также силу и направление ветра. Несмотря на растерянность и неуверенность, наверняка присущие молодому курсанту, Майкельсон четко знал, что его корабль всегда в визире небесного ока, т. е. на соответствующей широте и долготе. При странствиях во Вселенной в принципе все должно обстоять так же. Должен быть какой-то стандарт, что-то постоянное, по отношению к чему можно производить измерения.

По крайней мере, он на это надеялся. В 1885 году Майкельсон в течение некоторого времени сам находился в большой неопределенности и проживал в нью-йоркской гостинице «Нормандия» под наблюдением опытного психиатра. По словам сослуживца Эдварда Морли, у Майкельсона «была слабая головка» — он то неожиданно возбу-

ждался, то впадал в уныние. Жена пыталась поместить его в психиатрическую лечебницу, но врач в конце концов решил, что ничего страшного нет, — пациент всего лишь отличается повышенной впечатлительностью, и на него легко подействовать светом, цветом и видом того, как солнечные лучи играют на крылышках насекомых. Морьяк Майкельсон мечтал о цветомузыке: исполнитель сидит за клавиатурой и нажимает зримые ноты цветового спектра, и тогда рождаются аккорды и арпеджио, «передающие все фантазии, настроения и эмоции человеческого сознания».

В ноябре 1885 года, оставаясь еще в психически очень неустойчивом состоянии, Майкельсон стал готовиться к возвращению в свою лабораторию в Кейсовской школе прикладных наук в Кливленде, однако вскоре он узнал, что место его уже занято и он может рассчитывать только на частичное жалование. Тем не менее он вернулся домой и поселился в задней комнате дома, где, по правде, не очень-то был желанен. Теперь им владело желание провести свой самый грандиозный эксперимент — с помощью лучей света измерить скорость движения Земли по отношению к звездам.

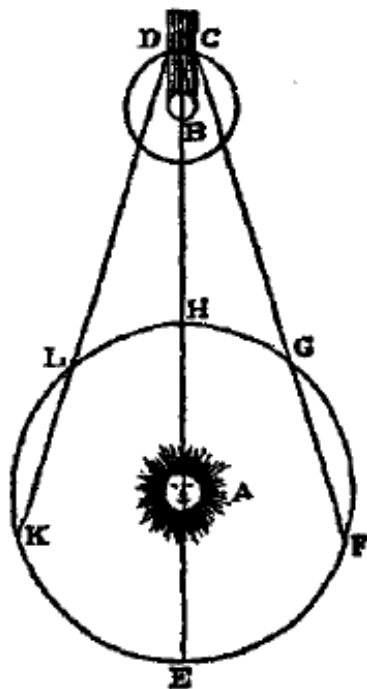
В своем труде «Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей науки» Галилей предложил, как можно проверить, является ли свет мгновенным или же он движется с конечной скоростью. Стоя ночью на вершине холма, экспериментатор должен направить яркий свет в сторону удаленного холма, на котором находится его помощник, ожидающий сигнала и готовый ответить аналогичным сигналом, как только увидит свет. При отсутствии заметной задержки между сигналами можно заключить, что «если свет не мгновенен, то скорость его очень высока».

Правда, на Земле трудно найти холмы, удаленные друг от друга на расстояние, необходимое для этого опыта. В 70-е годы XVII века датский астроном Оле Рёмер нашел способ произвести измерения, используя масштабы всей Солнечной системы. Направляя свой телескоп на Юпитер в определенное время года, он обнаружил, что его самый близкий спутник Ио в какой-то момент замедляет свое движение по орбите. Рёмер решил, что это происходит потому, что Юпитер и его луны в этот момент находятся дальше от Земли и свет от них доходит за более продолжительное время. Учтя всё, что на то время было известно о расстояниях между планетами, он на основании своих наблюдений пришел к выводу, что свет распространяется со скоростью порядка 225 тысяч километров в секунду.

Схема Рёмера, изображающая затмение Юпитером (В) его спутника Ио (DC), наблюдаемое из различных точек земной орбиты

(Земля вращается вокруг Солнца)

По тем временам невероятно смелая идея. И Кеплер, и Декарт были уверены, что свет движется с бесконечно большой скоростью. Однако утверждение Рёмера ждало своего подтверждения почти полвека, когда английский астроном Джеймс Брэдли открыл явление, получившее название аберрации звездного света. Наблюдая за Гаммой Дракона, он обнаружил, что эта звезда блуждает, смещаясь к югу в период с сентября по март, а затем снова возвращаясь к северу. Отвергнув много вариантов, он наконец



нашел объяснение этому феномену: к тому моменту, когда свет от звезды достигает его, Брэдли, телескопа, Земля меняет свое положение. Астроном должен вести себя с телескопом подобно охотнику, целящемуся с упреждением в утку. На основе данных, полученных Брэдли, удалось определить, что свет движется со скоростью 294,5 тысячи километров в секунду.



Эксперимент Физо. Свет пропускается между зубцами быстро вращающегося зубчатого колеса и подается на зеркало (М), которое вновь направляет его через колесо

В 1849 году французский врач Арман Ипполит Луи Физо произвел более сложные измерения, воспользовавшись усовершенствованной идеей Галилея с мигающими фонарями. Из дома, находящегося в западном пригороде Парижа, он направил луч света на зеркало, установленное на вершине Монмартра и отражающее пришедший луч в обратном направлении. На пути луча установили быстро вращающееся зубчатое

колесо, на котором было 720 аккуратно вырезанных зубцов. Скорость вращения сделали такой, чтобы подаваемый и отраженный свет попадали в зазор в окружности колеса и на окуляре. Физо свет казался «светящейся точкой наподобие звезды». Ускорение или замедление вращения колеса приводили бы к тому, что круглое пятно света исчезло. По длине пути света и скорости вращения Физо рассчитал, что скорость света должна быть равна 315,4 тысячи километров в секунду.

Тринадцать лет спустя его конкурент Леон Фуко усовершенствовал эксперимент, заменив зубчатку вращающимся зеркалом, установленным под определенным углом. Поскольку зеркало вращается, то падающий и отраженный свет несколько смещаются на его поверхности. Измерив это небольшое смещение, удалось рассчитать, что свет движется со скоростью 297,7 км/с.



Эксперимент Фуко. Свет из источника (S) отражается вращающимся зеркалом (R), затем проходит через линзу (L) и попадает на второе зеркало (M). К моменту возвращения пучка света первое зеркало поворачивается, вызывая небольшое отклонение пучка

Похоже, что Майкельсон все это изучил в Военно-морской академии Аннаполиса, где он оказался в 1869 году, проделав весьма сложный путь. Он был старшим сыном польских иммигрантов, которые сначала осели в Калифорнии, где его отец открыл мануфактурную лавку в лагере золотоискателей. Затем «серебряная лихорадка» увлекла их в Неваду. Там, закончив среднюю школу, Альберт решил поступать в Военно-морскую академию. Не получив помощи в поступлении от конгрессмена своего штата, он отправился поездом в Вашингтон и уговорил президента США Улисса Гранта вмешаться*. В 1874 году Майкельсон уже плыл курсантом на борту американского военного корабля «Ворчестер», а вскоре преподавал физику и химию в Аннаполисе. Именно там он встретил Маргарет Хеминуэй, племянницу офицера, который был начальником кафедры физики, и дочь магната с Уолл-стрит. Они поженились в 1877 году, а год спустя, получив от тестя две тысячи долларов, Майкельсон стал готовиться к своему первому большому эксперименту.

В опыте Фуко по измерению скорости света отклонение пучка на вращающемся зеркале составило менее одного миллиметра, т. е. расстояние, которое было очень трудно измерить. Майкельсон знал, что если путь светового пучка многократно удлинить (у Фуко свет пробегал всего двадцать метров), то время его распространения тоже возрастет. Отраженный пучок достигнет зеркала позднее, отклонение станет больше, и скорость света можно будет измерить с большей точностью.

Он начал с того, что установил два зеркала — одно вращающееся и одно стационарное, разнеся их на 600 метров по северной набережной кампуса. Чтобы точно измерить расстояние между зеркалами, он использовал рулетку, градуированную по эталону ярда. Протянув ленту рулетки вдоль пирса и выровняв ее свинцовыми гирями, а также обеспечив ее равномерное натяжение, он сделал несколько замеров. Введя поправки на тепловое расширение и сжатие, Майкельсон определил, что расстояние между зеркалами равно 605,4 метра.

Такая точность нужна была везде. Для определения положения стационарного зеркала, которое должно было отражать световой луч на длинной его траектории, он взял телескоп и геодезический прибор, известный как теодолит. Для определения скорости вращающегося зеркала он использовал электрический камертон, который тщательно настроил по эталону. Небольшое стальное зеркало крепилось к одному из элементов вилки камертона. Оно должно было отражать вращающееся устройство. Когда частота вибрации совпадала со скоростью вращения, стробоскопическое изображение замирало.

Используя паровую воздуходувку для вращения зеркала со скоростью 256 оборотов в секунду и направив через линзу солнечный свет, он определил, что, пройдя весь путь, солнечный луч отклонился на 133 миллиметра, т. е. «почти в 200 раз больше, чем удалось измерить Фуко». После определенных вычислений удалось обнаружить, что скорость света равна 299 940 км/с, т. е. несколько выше, чем принятая сегодня скорость света в 299 792,8 км/с. (Ученые настолько уверены в правильности своих расчетов, что ныне измеряют длину метра, используя скорость света, а не наоборот.)

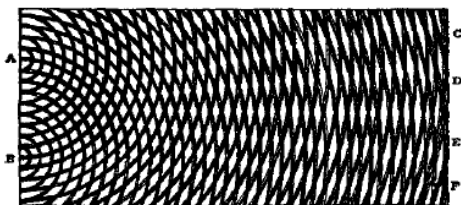
«Похоже, что научное сообщество Америки скоро украсит своим присутствием новый выдающийся ученый», — писала газета «Нью-Йорк тайме», предсказывая, что скорость света будет измерена «с такой же точностью, с какой измеряется скорость обыкновенного артиллерийского снаряда».

Пока Майкельсон заявлял о себе с помощью собственного светового спидометра, ученые посчитали, что окончательно решили вопрос о том, является ли свет потоком частиц или волн. Ньютону свет представлялся в виде «глобулярных тел», с помощью которых он хотел объяснить даже рефракцию. Входя в призму, а затем вновь распространяясь в воздухе, частицы разного цвета будут по-разному вращаться, как «теннисный мяч после закрученной подачи ракеткой».

Труднее было разобраться с явлением, получившим название колец Ньютона, — пятна, состоящего из светлых и темных колец, которые возникают при прижатии друг к другу слегка изогнутой выпуклой линзы и плоскопараллельной пластины. Пытаясь хоть как-то объяснить это явление, Ньютон считал, что цвета определяются частотами света, претерпевающими «легкое отражение и трансмиссию».

До 1801 года никто не мог предложить лучшей теории, пока Томас Юнг (в своем знаменитом эксперименте с двумя отверстиями) не показал, как два наложенных один на другой пучка света интерферируют, образуя одинаковые интерференционные картинки. Юнг посчитал, что этот факт можно объяснить только волновой природой света. Более светлые полосы образуются там, где налагаются два максимума волны, а темные — там, где максимумы не совпадают. После ряда других подтвердивших эти факты экспериментов волновая теория обрела незыблемость. Дело было за малым: понять, откуда берутся эти волны.

И тогда возникло предположение о наличии еще одной неуловимости, получившей название «светоносный эфир» и представляющей собой нечто неопишемое, но заполняющее собой все, даже пространство между атомами. Будучи почти пустотой, таинственный эфир, как полагали, сообщал свету вибрации и способствовал его распространению.



Картинка интерференции, полученная Томасом Юнгом

Если рассматривать эфир более фундаментально, то в нем усматривалось своего рода лекарство от ночного кошмара, ожидавшего странника во Вселенной. Двигаясь в космическом пространстве, мы не можем определить свое положение или скорость движения по отношению к соседним звездам, поскольку звезды тоже находятся в движении. Однако, если мы вводим эфир, всё можно измерить по отношению к нему.

В 1880 году, после прекрасного эксперимента в Аннаполисе, Майкельсон получил годичный отпуск на флоте для учебы в Европе. Отправившись с семьей в Париж, где Маргарет когда-то окончила школу, он поделился с французскими учеными своими планами по измерению скорости движения Земли относительно эфира. Если он прав, говорил Майкельсон, то луч света, посланный в направлении движения Земли вокруг Солнца, будет замедляться эфирным ветром. Доказав это, легко измерить скорость света, движущегося параллельно с направлением движения Земли и противоположного ему, а потом сравнить результаты. Но тут возникала проблема. Чтобы зафиксировать отклонение света, каждый пучок должен был отражаться зеркалом, как в эксперименте, проведенном в Аннаполисе. Любая разница в скорости движения пучка в одну сторону будет компенсироваться при движении пучка в обратную сторону после отражения. (На плавание по течению реки, а затем против течения уйдет столько же времени, сколько и на плавание против течения реки, а потом по течению.)

Но что, если два источника света поставить под прямым углом друг к другу — один в направлении орбиты Земли, а второй — строго перпендикулярно? Теперь, как выразился Майкельсон, «один пловец будет преодолевать реку вверх и вниз по течению, а другой проплывет то же расстояние сначала к противоположному берегу, а потом назад». Второй пловец будет всегда показывать лучшее время, «если только в реке есть течение», а в случае со светом — если существует эфирный ветер.

Переехав в том же году в Берлин, Майкельсон приступил к сборке своей установки. Сделанная вручную оптика была дорогой, но с помощью коллег на родине ему удалось получить грант от Александра Белла.

В его эксперименте свет от фонаря должен был направляться на частично покрытое амальгамой зеркало, которое расщепит пучок на два «карандаша» света, направленных под прямым углом друг к другу. Пройдя через тщательно обработанные латунные кронштейны длиной один метр каждый, они отразятся от зеркал и вместе вернуться назад. Если скорость пучков будет отличаться, то они разойдутся по фазе и максимумы их волн не совпадут.

В результате получится эффект интерференции наподобие того, который был описан Томасом Юнгом: череда темных и светлых полос. Если повернуть установку на девяносто градусов по отношению к «эфирной реке», то полосы подвинутся. Учитывая скорость движения Земли по отношению к эфиру, а также длину волны, Майкельсон предсказывал, что смещение будет равно одной десятой ширины интерференционной полосы, причем он был уверен, что это расстояние сможет измерить без труда.

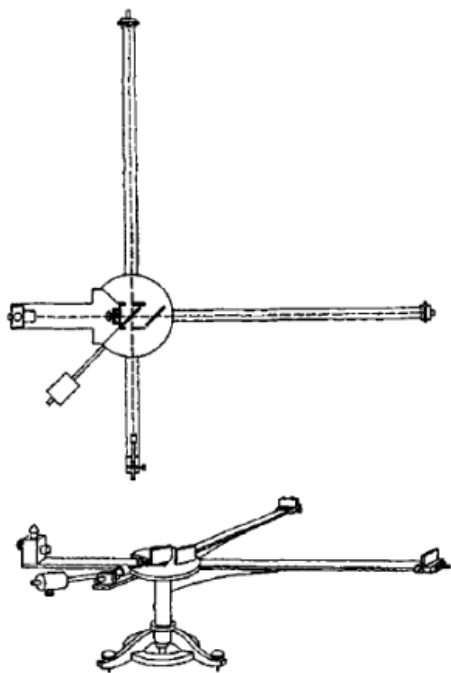
При таком тонком эксперименте любая вибрация могла сместить луч и исказить результаты.

(«Прибор был таким точным, — писал он позднее, — что если шагать по тротуару на расстоянии 100 метров от обсерватории, то интерференционная картинка совершенно исчезнет!») Чтобы интерферометр не испытывал колебаний, Майкельсон закрепил его на каменном причале, а чтобы латунные кронштейны не расширялись и не сжимались от разницы температур, он защитил их бумажными коробами и даже хотел всю установку засыпать тающим льдом. Однако и эти предосторожности не помогли. Доносившийся шум Берлина не давал проводить измерения до полуночи.

В поисках более спокойного места он переместился в Потсдам и установил свое оборудование в подвале Астрофизической обсерватории. Поначалу ему казалось, что, переориентируя прибор, он получает существенный сдвиг в интерференционной картинке, но потом он обнаружил, что виной всему — нечаянный изгиб латунных кронштейнов. Он переделал поворотный механизм, обеспечивающий большую легкость движения, и повторил эксперимент.

Первый интерферометр Майкельсона — вид сверху и сбоку

День за днем он повторял измерения, по-разному разворачивая интерферометр, пока не убедился, что смещение интерференционных линий не превышает одной сотой их ширины, которое он из-за малой его величины отнес к экспериментальной ошибке. Было уже начало апреля, когда направление движения Земли и всей Солнечной системы совпадало, поэтому скорость Земли по отношению к эфиру должна быть максимальной, однако сколько-нибудь заметного эффекта не наблюдалось. В 1881 году в письме своему спонсору Беллу он сообщал о получении отрицательного результата. Майкельсон пояснял, что это можно рассматривать как подтверждение отсутствия эфира. Однако эфир должен был быть! Некоторые ученые полагали, что просто сам эксперимент неудачно поставлен. Может быть эфир, двигаясь вокруг Солнца, замедлял свое движение вблизи Земли. В самом центре урагана никогда не бывает ветра. Но что бы там ни говорилось, а Майкельсон не сомневался в своих выводах. Позднее Белл напишет: «Я был очень высокого мнения о его способностях, но, думаю, что и он



о своих — тоже».

У Майкельсона оставалась надежда, что замедление эфира будет неполным и по «звездному занавесу» можно будет судить о движении Земли. Такая вероятность уже высказывалась в начале XIX века французским ученым Франсуа Араго, который пытался измерить скорость звездного света, достигающего Земли. Араго предположил — и весьма оправданно, — что скорость будет меняться в зависимости от того, приближается к нам или удаляется от нас источник света. На конце телескопа он установил призму, полагая, что лучи с большей скоростью будут отклоняться на меньший угол, чем лучи с меньшей скоростью. Он был очень удивлен — в любое время года угол отклонения оказывался одним и тем же.

Араго заключил, что наши глаза замечают изменения только в очень узком диапазоне скоростей и что лучи вне этого диапазона остаются невидимыми. Однако его коллега Огюстен Жан Френель выдвинул другое объяснение: поскольку эфир беспрепятственно проходит через молекулярные трещины материи, небольшое его количество прилипло к призме Араго. Это и сводит на нет тот эффект, который пытался обнаружить Араго. Когда Земля движется по направлению к звезде, ее свет действительно будет достигать призмы с большей скоростью, но затем он будет замедляться на аналогичную величину эфиром, находящимся внутри стекла. Сей результат справедлив, по утверждению Френеля, для любой прозрачной среды и зависит от коэффициента преломления, с помощью которого определяется, насколько замедляется и искривляется луч. Поэтому эфирное замедление будет более заметно в воде и совершенно неущественно в воздухе.

В 1882 году, после творческого отпуска, проведенного в Европе, Майкельсон совсем ушел с флотской службы и стал преподавателем Кейсовской школы прикладных наук в Кливленде, которая в тот момент только открылась. В первый год своего пребывания там ему удалось измерить скорость света в вакууме (которая оказалась равной почти 299 852 км/с). Затем с человеком, с которым он познакомился в поезде на пути в Монреаль, он стал заново обдумывать эксперимент с эфиром.

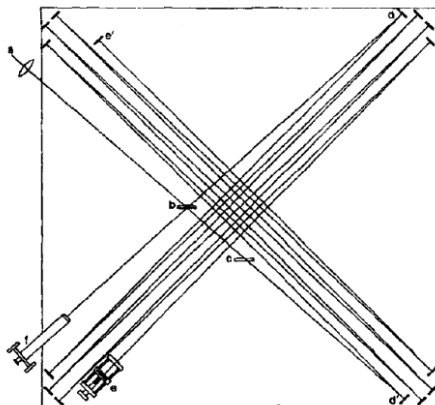
Эдвард Морли, химик из близлежащего Западного резервного университета, был в науке таким же щепетильным, как и Майкельсон. Оба сразу договорились, что бессмысленно повторять попытку с определением абсолютного движения Земли, не проверив предварительно гипотезу Френеля о том, что звездный фон в пространстве фиксирован, и замедляются только небольшие количества эфира, попадающие в прозрачные тела, причем эффект этот настолько слабо выражен, что им можно пренебречь. Усовершенствовав эксперимент, проведенный Физо, они приступили к прокачиванию воды по кольцевой трубе и, разделив один и тот же луч, направили одну его половину по течению воды, а другую — против течения. В результате им удалось обнаружить, что вода действительно незначительно ускоряет или замедляет распространение света. (Необходимо отметить, что то, что они посчитали подтверждением гипотезы об эфирном замедлении, теперь объясняется с помощью специальной теории относительности.)

Случилось так, что как раз посреди этого эксперимента Майкельсон затеял развод. Причины неясны, но этот брак никогда не был крепким. Ученый считал, что жена слишком много говорила и старалась всеми силами привлечь к себе внимание любой компании. Ей было скучно в Кливленде, она устала оттого, что муж постоянно приходил домой поздно, пропадая все время в лаборатории или еще где. Она жаловалась, что ему ничего не стоит истратить хозяйственные деньги на научную аппаратуру. И когда Майкельсон отправился в Нью-Йорк полечиться (разводиться), Морли был уверен, что он уже никогда не вернется к научной работе.

Эксперимент Майкельсона-Морли. На нижней схеме показано, как проходили два световых пучка, путь которых был увеличен отражением от шестнадцати зеркал

Однако Морли, похоже, выдавал желаемое за действительное (Майкельсон больше, чем кто-либо, держал его в черном теле). Не прошло и двух месяцев, как Майкельсон снова был в лаборатории, готовый возобновить эксперименты. Но тут его постигла очередная неудача. В 1886 году пожар разрушил Кейсовскую школу, и Майкельсону пришлось все, что пощадил огонь, перевезти в Западный университет. Но пришел день, когда эти двое решили, что они готовы, как выразился Морли, «уже наконец выяснить, распространяется ли свет во все стороны с одинаковой скоростью». Как и Майкельсон, он был уверен — ответ будет отрицательным.

В этом эксперименте они предприняли дополнительные меры, чтобы полностью демпфировать все колебания интерферометра. Установка была смонтирована на глыбе песчаника со стороной порядка полутора метров и толщиной 35 сантиметров. Это сооружение плавало на деревянной конструкции в форме бублика в поддоне, залитом



ртутью. По углам установили четыре металлических зеркала, которые должны были многократно отражать свет, идущий от лампы Аргана. В результате получалось, что свет, шедший по направлению движения Земли и перпендикулярно ему, преодолевал расстояние в 10,9 метра. От воздействия воздуха оптические детали были защищены деревянным коробом. Тщательно измерив и установив необходимое расстояние между зеркалами — калибровка выполнялась столь точно, что потребовалась резьба в 100 оборотов на один дюйм, — они приступили к эксперименту.

От усилия руки интерферометр начал медленно вращаться, совершая шесть оборотов в минуту. Вокруг него ходил Майкельсон. Стараясь не касаться установки, он периодически смотрел в окуляр на кольца интерференции, сообщая Морли, когда прибор проходил 1/16 круга, размеченного как картушка. Они проводили измерения между 8 и 12 июля в полдень и вечером и не обнаружили никакой разницы. Получалось, что оба пловца возвращались в одно и то же время.

Тогда они задумали проводить измерения в разное время года, чтобы понять, влияет ли на измерения орбитальное движение Земли, но им уже казалось, что в этом нет особого смысла. Вероятно, Френель ошибся: планета захватывала с собой столько эфира, что ни о каком эффекте и речи не могло быть. Для измерения абсолютного движения Земли потребовалось бы проведение измерений высоко над Землей, возможно, даже в околоземном пространстве.

Морли и другой его коллега, Дейтон Кларенс Миллер, продолжали искать эфир, используя интерферометры с большими путями светового пучка. Миллер даже утверждал, что при проведении эксперимента на горе Вильсон ему удалось обнаружить некое легкое вещество, но, скорее всего, его обманули температурные колебания. В 1936

году Майкельсон своими экспериментами в горах лишь подтвердил полученные ранее результаты.

Конечно, Майкельсону хотелось иного. Но тут он повторно женился, завел вторую семью и стал нобелевским лауреатом. Несмотря ни на что, он не отказывался от своей идеи: эфир, утверждал он, — «одно из величайших обобщений современной науки, про которое мы можем сказать все, что угодно, но только не то, что оно ложно, даже если это и так».

Он умер в 1931 году, всего через несколько месяцев после того, как встретился с Эйнштейном, специальная теория относительности которого объясняла истинное величие прекрасного эксперимента, поставленного Майкельсоном и Морли; вопреки своим ожиданиям они доказали, что ни в пространстве, ни во времени нет никакой фиксированной реперной точки, по отношению к которой можно проводить измерение истинного движения. При движении во Вселенной наши мерные палочки будут то удлиняться, то укорачиваться, а наши часы будут то ускорять, то замедлять свой ход, чтобы существующий эталон оставался неизменным. И этот эталон — не эфир, а скорость света.

Глава 9

ИВАН ПАВЛОВ

Как измерить неизмеримое

Приходится с болью признать, что лучшее домашнее животное человека — собака — как раз благодаря своему высокому умственному развитию чаще всего становится жертвой физиологического эксперимента.

Иван Павлов. Вивисекция

Если послушать Ивана Петровича Павлова, то может показаться, что все эти животные — добровольцы, принесшие себя в жертву науке, которая сделала Павлова знаменитым. Лада, Лушка, Жучка — вот обычные собачьи клички. Но у него были Пестрый, Ласка, Сокол, Цыган, Рыжая, Пудель и Ворон. Были еще Арлекин, Красавец, Леди, Пострел, Злодей, Байкал и Чингисхан. Была поначалу еще одна собака, которую Павлов любил больше всего, — помесь сеттера и колли, ее звали Дружок.

Жилось им лучше, чем животным, умиравшим под скальпелем любопытных исследователей в других лабораториях. Для Павлова методы его коллег были подобны удару кувалдой по часам для изучения их механизма. Великий русский физиолог начал с не проводившихся до него никогда и никем исследований пищеварительной системы млекопитающих, и эти исследования до сих пор составляют основу гастроэнтероло-

гии. Павлов предпочитал «хронический» эксперимент: пока собака находилась под наркозом, ее желудок, пищевод или слюнные железы модифицировались (с помощью фистул) таким образом, чтобы все их секреты впоследствии можно было бы собирать и анализировать. Павлов был известен как один из лучших хирургов Европы, он проводил операции в антисептических условиях лучше, чем это делали во многих госпиталях. Только после того, как животное полностью выздоравливало, начинались наблюдения, которые могли продолжаться месяцы и даже годы.

В начале XX века, когда он заинтересовался работой центральной нервной системы, между ним и его собаками уже установились тесные отношения. Он предоставлял им кров и еду, а они за это становились подопытными животными, не переставая быть его талисманами. В свободное от экспериментов время собаки гуляли по территории института. Иногда, чтобы окончательно прояснить для себя некоторые вопросы физиологии, Павлов решался на эксперименты со смертельным для животного исходом, но потом всегда жалел об этом: «Когда я рассекаю и убиваю живое существо, что-то внутри меня непременно порицает за то, что моя грубая, неумелая рука уничтожает несравненный художественный механизм. Но я иду на это во имя истины и ради человечества». Павлов считал, что в мире, где на животных ведется охота ради развлечения, где их убивают, чтобы получить мясо и шкуру, гибель еще нескольких животных в научных экспериментах вполне можно оправдать стремлением человека к знанию.

Это часть обычного ответа защитникам животных, которых всегда было много в России и которых сегодня немало и в других странах. С их точки зрения, павловские эксперименты далеки от изыска. Даже владелец собаки, никак не возмущающийся наличием фуа-гра в ресторанном меню и не причитающий по поводу судьбы лабораторной мыши, способен вздрогнуть только от описания хирургических подробностей павловских экспериментов. Конечно, получаемые знания могут служить утешением. Безукоризненная логика и элегантность экспериментов, поставленных Павловым над его собаками, открыли дверь в мир, который всегда казался таким же далеким, как самая далекая из звезд, и этот мир — наш мозг.

Поначалу Павлов хотел стать священником, как его отец. Но в это же самое время он открыл для себя Дарвина. Завершались 60-е годы XIX века. Иван вместе с братом Дмитрием учились в семинарии, находившейся в Рязани, — там в то время жило семейство Павловых. Говорят, что по утрам Иван отправлялся в местную библиотеку почитать последний перевод книги Дарвина «Происхождение видов», а также книгу Джорджа Генри Льюиса «Физиология обыденной жизни» со схематическими рисунками внутренних органов или труд Ивана Сеченова «Рефлексы головного мозга», радикальное проявление материализма, доказывающее, что мозг — это просто исключительно сложная машина.

Сеченов предложил рассматривать любое проявление человеческого поведения от чихания до желания прочесть книгу как состоящее из рефлексов — мускульных движений, инициированных сигналами органов чувств. «Абсолютно все свойства внешних проявлений деятельности головного мозга, таких как возбуждение, страсть, насмешка, печаль, радость и т. п., — это результат большего или меньшего сокращения определенных групп мышц, — писал он, — что, как каждому известно, является чисто механическим действием». И даже когда в голове появляется случайная мысль, она является результатом действия определенного рефлекса или пробуждения памяти

под воздействием внешнего сигнала. Сеченов мечтал о том, что наступит время, когда человек сможет анализировать внешние проявления работы головного мозга так же легко, как физик анализирует колебания музыкальной струны или свободное падение тел.

Эти идеи не могли не восхитить сына священника. В царствование Александра II в русскую глубинку стал проникать свет знаний. Книги и журналы, которые бы наверняка были запрещены при Николае I, теперь поступали в библиотеки, на пороге которых толпились люди, жаждавшие припасть к книжным сокровищам. Павлову иногда приходилось проникать в библиотеку через окно, предусмотрительно оставленное библиотечкарем открытым.

Покоренный идеей о том, что живой организм подвластен научному познанию, он в 1870 году оставил семинарию и отправился учиться в Санкт-Петербург. К нему вскоре присоединился и брат Дмитрий. Они вместе изучали химию у Менделеева, создателя периодической таблицы элементов. Однако Иван больше увлекался физиологией и вскоре защитил докторскую диссертацию по медицине — темой диссертации стало регулирование кровяного давления и сердечной деятельности центральной нервной системой. В 1890 году он возглавил отдел физиологии Института экспериментальной медицины. Тут он, используя свои хирургические навыки, изучал «сложную химическую фабрику», в которой происходит переработка и усвоение пищи организмом.

Ученый заметил, что слюноотделение у собаки начинается до того, как кусочек еды окажется на ее языке: вода смешивается с муцином (гликопротеином, входящим в состав секретов всех слизистых желез), чтобы смазать пищу, поступающую в желудок, где уже приготовлена порция «аппетитного сока». Там, а затем в двенадцатиперстной кишке особые нервные рецепторы анализируют пищу, сигнализируя организму, какая смесь желудочного сока необходима для усвоения хлеба, молока, мяса и всего остального, что получила собака во время кормления.

Оказалось, что слюноотделение выполняет и другую функцию. Если собаке дать попробовать что-нибудь несъедобное — горчицу, слабую кислоту или соль, то слюна все равно будет выделяться, но на этот раз она будет состоять в основном из воды, чтобы защитить язык и смыть несъедобное вещество. В этом случае желудочные железы ничего не выделяют. Организм каким-то образом «узнает», что такие секреты не нужны.

Для измерения количества и состава слюны Павлов подвергал собак небольшой операции. Пока животное оставалось под наркозом, на его щеку или подбородок делался вывод (фистула), идущий от слюнных желез и фиксированный несколькими хирургическими стежками. После того как шов от хирургического вмешательства заживал, выделенная жидкость собиралась и анализировалась. Ученый обнаружил, что кусочки кварца практически не вызвали появления жидкости, тогда как при наличии песка выделялась вода, помогавшая собаке вымыть его из пасти. Следуя такой же физиологике, собака выделяла больше жидкости при наличии корочки хлеба, чем при появлении сочного куска мяса. Эволюция идеально настроила каждый рефлекс, приспособлявая животное к внешним воздействиям.

«Каждая материальная система может существовать как единое целое лишь до тех пор, пока его внутренние силы — влечение, когезия (сцепление) и т. п. — уравновешивают действующие на нее внешние силы, — писал он позднее. — Это в равной мере справедливо и по отношению к обычному камню, и по отношению к самым сложным

химическим веществам, и эта истинность должна признаваться и в отношении животного организма... Рефлексы — это элементарные единицы в механизме постоянного уравнивания».

В 1904 году Павлову была присуждена Нобелевская премия за труды по физиологии пищеварения. Поразительный человек, он был готов отказаться от этой награды, поскольку соперничавшая с ним лаборатория обнаружила, что он пропустил очень важный компонент системы — гормоны. «Совершенно очевидно, что у нас нет исключительного патента на открытие истины», — не без чувства горечи признавал он. Примерно в это же время он решил оставить исследования пищеварения и заняться тем, что он называл высшей нервной деятельностью.

В одном из своих опытов Павлов заметил, что для того, чтобы началось слюноотделение, наличие пищи в пасти животного совсем не обязательно. Запах, вид миски, даже скрип двери, когда наступает время кормления, иногда достаточен, чтобы запустить реакцию. Он называл это «психической секрецией».

В отличие от врожденных рефлексов, т. е. инстинктов, рефлексы приобретенные, или «условные»¹, можно изменять. Покажите собаке кусок мяса, а потом уберите его. Сделайте это несколько раз, и с каждым разом слюноотделение у собаки будет уменьшаться. Происходит «блокирование» рефлекса. Но вкус мяса, хлеба и даже — что парадоксально — неприятной кислоты восстановит («разблокирует») реакцию. Так же, как эволюция за долгие века «настраивала» каждый вид на внешнюю среду, прижизненный опыт животного «настраивает» конкретный организм на условия его существования. У него развивается способность к обучению.

Несколько ранее Павлов пытался объяснить это явление с точки зрения психологии, предполагая, что мысли собаки отражаются на ее «внутреннем экране». Животное перестает обильно выделять слюну после неоднократной демонстрации мяса потому, что устает и решает, что ее «усилия бесполезны». Но почему тогда попадание незначительного количества отвратительной кислоты вновь возвращает слюноотделение? Что при этом думает собака?

Павлов пришел к выводу, что так ставить вопрос нельзя. Позднее он заявил, что у нас нет способов проникнуть во внутренний мир собаки, поскольку нет фактов, позволяющих рассуждать о том, что и как она чувствует. Ученому пришлось признать, что по отношению к человеку такой вывод тоже оказывается справедливым, ибо извечная печаль жизни состоит в том, что люди не способны понимать друг друга и проникать во внутреннее состояние ближнего.

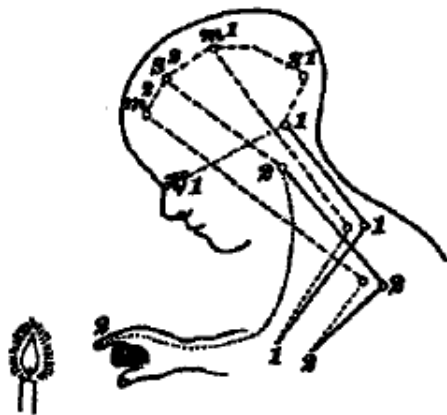
Водораздел между умственным и физическим начинал постепенно исчезать. Павлов отметил, что, когда ученый приступает к изучению того, как повышается и понижается давление или что выделяет поджелудочная железа, он рассуждает исключительно материалистически. Но когда физиолог озадачивается деятельностью высшей нервной системы, то существо его исследований резко меняется. Он начинает делать предположения относительно внутренних состояний животного, основываясь на своих собственных субъективных ощущениях. До этого момента он пользовался общенаучными концепциями. Теперь перед ним новый фронт работ, и ему приходится осваивать новые понятия, которые целиком принадлежат психологии. Другими словами, он осуществляет переход из мира измеряемого в мир неизмеримый.

Итак, пришла пора сконцентрировать свои усилия на важнейшей научной проблеме. Независимо от того, включались ли слюнные железы рецепторами на языке или в

глазу, носу, ухе, результат был одинаков: сигналы из внешней среды вызвали физиологическую реакцию.

Идея, согласно которой организм, включая мозг, является биологической машиной, была высказана Декартом еще в XVII веке, однако он допускал и то, что человеку могут быть присущи некоторые особенности: хотя наши тела являются механическими и должны подчиняться законам физики, мозг представляет собой обиталище более высокой субстанции под названием «разум». Ко времени Павлова ученые уже знали о теориях Дарвина, которые весьма затрудняли существование такого дуализма. Считалось, что мозг развивался так же, как и остальное тело, но, как могли материальные факторы естественного отбора воздействовать на призрачный разум, оставалось загадкой. Уильям Джеймс описал эту проблему в 1890 году в своем труде «Принципы психологии»: «Те же самые атомы, которые, хаотически двигаясь, создают туманности, образуют и наш мозг, сгущаясь и на время оказываясь в определенных положениях; вот почему «эволюция» мозга, если она когда-нибудь будет понята, сведется к пониманию того, как и почему атомы мозга оказались схвачены и сжаты именно таким образом».

Некоторые философы пошли дальше и предположили, что каждый атом материи повторяется атомом сознания — «первичной разумной пылью», которая распространялась одновременно с развертыванием космоса и возникновением видов. Джеймс так объяснял такие высказывания: «Так же как атомы материи образуют тела и мозг путем устремления друг к другу, так и ментальные атомы начинают агрегироваться аналогичным образом, образуя более масштабные сознания».



Формирование рефлекса избегания пламени у ребенка **Схема из труда Уильяма Джеймса «Принципы философии». 1890 год**

Считалось, что наряду с химическими процессами в мозгу происходят процессы ментальные, при этом ни один из них не может контролировать другой. Томас Генри

Гекели выразил эту мысль следующим образом: «Душа относится к телу так же, как колокол курантов к часовому механизму, а сознание отвечает на звук, который издает колокол». Когда мы хотим пошевелить пальцем, то это является указанием на событие, а не его побудительной причиной. «Чувство, которое мы называем волевым актом, — предлагал Гекели, — не добровольное действие, а символ состояния мозга, являющегося непосредственной причиной такого акта». (Век спустя американский физиолог Бенджамин Либет будет утверждать, что ему удалось это доказать экспериментально.)

Другими словами, мы являемся умными автоматами. Джеймс с осуждением писал, к чему может привести такая теория:

Если бы мы хорошо знали центральную нервную систему Шекспира и так же хорошо — окружавшую его действительность, то смогли бы показать, почему в определенное время своей жизни его рука оставляла следы на некоторых листах бумаги, — эти маленькие черные закорючки мы для краткости называем рукописью «Гамлета». Для этого мы должны понимать смысл каждого зачеркнутого и исправленного слова, причем без какой-либо отсылки к мыслям, которые *возникали* в сознании Шекспира. Слова и предложения в таком случае должны восприниматься не как знаки чего-то, а как некоторые внешние факты, ясные и простые. Аналогичным образом мы можем написать исчерпывающую биографию теплого белкового тела под названием Мартин Лютер, не обращая никакого внимания на то, что это тело могло ощущать.

Павлов недолго задерживался на таких метафизических вещах. Что бы там ни происходило в мозгу собаки, объективное суждение об этом можно сделать только по внешним проявлениям. По его мнению, натуралиста должна занимать лишь одна проблема: как соотносятся та или иная внешняя реакция животного и явления внешней среды.

Он быстро понял, что между обозначающим и обозначаемым нет внутренней связи. Совершенно очевидно, что пасть собаки смачивается при запахе мяса, хотя даже такая реакция может являться результатом научения. (Щенок, еще сосущий мать, порой отворачивает нос от гамбургера.) Однако, предъявляя мясо одновременно с другими стимулами, экспериментатор может обучить животного выделять слюну при вспышке света, вращении предмета, прикосновении холодного или горячего зонда к коже, тиканье метронома, звуке звонка, свистка, камертона или рога. (Павлов почти никогда не использовал колокольчик.) Нет никаких оснований полагать, что эволюция предусмотрела такие случайные связи, но при определенных обстоятельствах они становятся важными для выживания собаки.

Собака выделяет слюну, чувствуя уколы двух механических стимуляторов

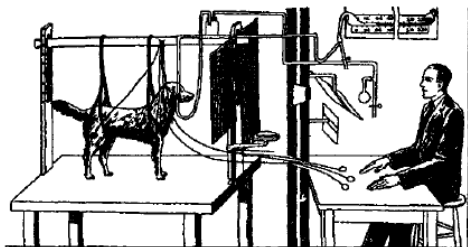


Рисунок из труда И. Павлова *Условные рефлексы». 1916 год

То же справедливо и в отношении защитного слюноотделения. После того как собака попробовала разведенную кислоту, окрашенную тушью, у нее началось слюноотделение при виде любой жидкости черного цвета. Однако, если она пробовала несколько раз безобидный раствор, такая реакция пропадала и появлялась вновь только после того, как собака снова глотнула кислоты.

Нервные соединения оказались столь пластичны, что их можно было коммутировать, как линии связи на АТС. При достаточном обучении положительный стимул, например кусок мяса, можно связать с отрицательным стимулом. Так, собака при ударе током не отскочит, а начнет выделять слюну.

Методы эксперимента становились все более изощренными, что дало возможность исследовать чувство времени у собак. После того как собака научилась выделять слюну в вспышку света, положительный стимул задержали на три минуты. Через какое-то время собака привыкала к задержке — ее пасть наполнялась слюной через три минуты после сигнала.

В других экспериментах само время становилось стимулом. Собака получала пищу через каждые тридцать минут. При отмене кормления собака все равно усиленно выделяла слюну каждые тридцать минут. «Я убежден, — говорил Павлов не без помпы, — что именно на пути такого экспериментирования лежит решение проблемы времени, которая занимала умы многих поколений философов».

Нервное устройство собак было настолько сложным, что их можно было научить различать вращение предмета по часовой и против часовой стрелки, круг и эллипс, чувствовать, когда метроном отбивает два раза в минуту, 96 или 104 раза. Они могли отличить две соседние ноты на музыкальной шкале, ощущать интервал между нотами до и фа любой из пяти октав органа, а также видеть оттенки серого.

Для таких экспериментов важен контекст. Если собака изучает новый рефлекс сидя на полу, то, устроив ее на столе или введя нового экспериментатора, можно потерпеть неудачу, опыт не получится. Необходимо тщательно избегать всего, что может отвлечь внимание собаки. Чьи-то шаги, случайные разговоры в соседних комнатах, хлопанье дверью, вибрация от проехавшего грузовика, шум улицы, даже тени, проникающие с улицы через окно, — любой из этих случайных стимулов, попадающий на рецепторы собаки, создает возмущение в полушариях головного мозга и мешает эксперименту.

Собаки Павлова были так же чувствительны, как и интерферометр Майкельсона. С целью убрать все возможные помехи Павлов решил построить «башню тишины» наподобие сейсмологических лабораторий. Здание было окружено рвом, заполненным соломой, — она предназначалась для амортизации вибраций, а на первом и третьем этажах (второй этаж был пустым, нежилым) находились звуконепроницаемые лабораторные камеры, разделенные коридорами. Экспериментаторы наблюдали за собаками дистанционно, через специальные перископы, которые, по выражению одного из посетителей, «заставляли вспомнить о подводной лодке, готовой к бою».

Историк Даниэль Тодес назвал это сооружение «физиологической фабрикой Павлова», образцом для будущей экспериментальной науки. Здесь было проведено множество блестящих экспериментов, однако один из них оказался настолько неожиданным, что заслуживает специального рассмотрения.

Павлов и его сотрудники уже показали, что у собаки есть базовые музыкальные способности. Наученная выделять слюну при звучании определенного тона, например ля минор, она будет реагировать, хотя и не так сильно, на каждую отдельную ноту. Ученые пошли дальше — они решили проверить, способна ли собака различать простейшие мелодии.

Как только звучали четыре ноты подряд по восходящей шкале, собака получала немного еды.

После четырех нот в нисходящем порядке собака не получала ничего. Животное быстро научилось отличать эти мелодии. Но Павлова интересовало, как собака отреагирует на 22 других возможных сочетания этих же четырех нот.

И вот были сыграны все мелодии и собрана выделившаяся слюна. Собака разделила прозвучавшие мелодии на две группы: в первой звуки располагались по восходящей, а во второй наблюдался обратный порядок. Без преувеличения можно сказать, что собаке стали доступны какие-то зачаточные музыкальные понятия. Такой тип распознавания образов, по мнению Павлова, лежит в основе даже той деятельности, которую он совершал как экспериментатор.

Движение растений к свету и поиски истины с помощью математического анализа — явления одного порядка. Это последние звенья в почти бесконечной цепочке адаптаций, которую можно наблюдать в любом живом существе, считал он.

Павлов, как и многие другие ученые, создатели фундаментальных теорий, любил иногда помечтать, и в такие минуты он пытался объяснить характеры своих собак и человеческие неврозы как некую совокупность условных рефлексов. Между тем в Соединенных Штатах Джон Б. Уотсон и Б.Ф. Скиннер разработали бихевиористскую психологию, в которой все ментальное сводилось к стимулу и реакции на него. В результате появились два противоречащих друг другу взгляда на будущее. В романе Скиннера «Вальден-2» изображено общество, в котором главенствует бихевиористская инженерия. В романе Олдоса Хаксли «О дивный новый мир» аналогичный инструментариум используется государством для насаждения жесткой диктатуры. Однако ни то ни другое, к счастью, не сбылось. Не так давно появление компьютера и использование этого понятия как метафоры дало ученым новый стимул порассуждать о механизмах мышления. Однако фундаментальные выводы Павлова, гласящие, что мозг и центральная нервная система образуют точную высокоадаптивную живую машину, и сейчас не потеряли своей актуальности и по-прежнему продолжают служить ученым.

Уже в старости Павлов получил в подарок от своих студентов альбом с фотографиями сорока его собак. Одна из копий альбома обнаружилась в Санкт-Петербурге усилиями ученого из лаборатории Колд-Спринг-Харбор. Он использовал методику Павлова в опытах с фруктовой мушкой, чтобы определить ген, ответственный за долгосрочную память. Различных мутантов он называл «мушками Павлова», давая им клички знаменитых павловских собак.



Памятник собаке (эскиз проекта)

В 1935 году на территории института был открыт памятник собаке Павлова, представлявший собой декорированный фонтан. В центре фонтана — постамент, на котором восседает большая собака. Постамент украшен барельефами со сценами из лабораторной жизни и поясняющими подписями, а также словами Павлова: «Пусть собака, помощница и друг человека с доисторических времен, приносится в жертву науке, но наше достоинство обязывает нас, чтобы это происходило непременно и всегда без ненужного мучительства».

Памятник собаке

Сверху постамент украшен головами восьми собак разных пород, из их пасти льется вода — собаки словно салютуют нам слюноотделением.



РОБЕРТ МИЛЛИКЕН

На рубеже

Мы уже приблизились к тому рубежу, где материя переходит в силу, а сила в материю, к тому туманному миру, что отделяет Известное от Неизвестного, которое всегда меня особенно влекло. Я осмеливаюсь думать, что величайшие научные проблемы будущего найдут свое решение здесь, на этом рубеже и даже за его пределами, ибо мне кажется, что именно там лежат Подлинные Сущности — неуловимые, многозначные, прекрасные.

Уильям Крукс, 1879 год

Субботним январским утром, разыскивая последний прибор, который мне был нужен, чтобы убедить себя в существовании электронов, я отправился в «Черную дыру» — такую «постапокалиптическую помойку» Лос-Аламоса, штат Нью-Мехико. Командовал этим складом, превращенным в магазин, некто Эдвард Б. Гротус, бывший творец атомной бомбы, а ныне престарелый борец за мир и заодно владелец этого помещения, забитого сверху донизу осциллоскопами, генераторами сигналов, счетчиками Гейгера, вакуумными насосами, центрифугами, амперметрами, омметрами, вольтметрами, сосудами для хранения низкотемпературных жидкостей, муфельными печами, термopарами, барометрами, трансформаторами, пишущими машинками, древними арифмометрами, — всего более 15 соток, заполненных «мусором», накопленным с годами в результате деятельности национальной лаборатории, той самой, где когда-то начинался Манхэттенский проект.

Уже много лет я приобретал на интернет-аукционе все, что мне было необходимо для повторения классических экспериментов: опытов Дж. Дж. Томсона в 1897 году, показавших, что электричество — это часть отрицательно заряженной материи, а также знаменитого эксперимента Милликена с распылением масла, в результате которого удалось изолировать электроны и измерить их заряд. Изучая «закрома» «Черной дыры», я наконец обнаружил то, что искал, — источник высокого напряжения компании «Флюк». Я аккуратно поставил эту 12-килограммовую штуковину на бетонный пол. Работавший на электронных лампах прибор, созданный в 60-е годы XX века, имел вполне привлекательный вид. Я потащил его в глубь магазина, где лежали и висели всевозможные коаксиальные кабели, нашел тот, который совпадал с источником по разъему, и отправился к кассе.

Похоже, Эд совсем не собирался продавать что-либо из своих сокровищ. Он скорее был готов воздвигнуть пару монументов, чтобы озадачить археологов будущего, которое наступит после грядущего холокоста, или поговорить о своей Первой церкви высоких технологий, где по воскресеньям совершает «критическую массу» (мессу). И когда очередной клиент разыскивал его в недрах этого магазина-логова, Эд всегда выглядел недовольным. Вот и сейчас я услышал: «За это — двести пятьдесят долларов», — ровно в десять раз больше, чем я предполагал.

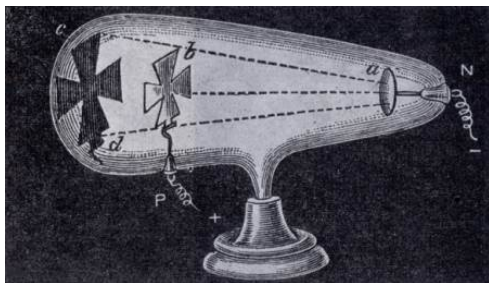
Я пытался его урезонить. В интернет-магазине я видел один очень похожий источник питания всего за 99 долларов. Однако торговаться с Эдом было бесполезно. Разочарованный, я потащил прибор обратно на то место, где он, возможно, покоится до сих пор, и ушел, купив лишь отрезок кабеля. Затем я зашел в публичную библиотеку, которая находится рядом с ресторанчиком «Фуллерлodge», где частенько бывали Оппенгеймер и другие физики-ядерщики, соединился с интернетом, оформил заказ и через две недели у меня дома уже был другой такой же источник питания.

В 1896 году Роберт Милликен, молодой выпускник Колумбийского университета с докторским дипломом в кармане, оказался на лекции Вильгельма Рентгена. Лекция сопровождалась демонстрацией полученных им изображений костей руки. Лекция та была прочитана на январской сессии Германского физического общества. Милликен был потрясен увиденным и услышанным как ребенок, столкнувшийся с чудом, и позже, вспоминая тот день, даже перепутал дату и написал, что лекция состоялась накануне Рождества.

Двумя годами ранее, в Соединенных Штатах, он слышал, как великий Майкельсон утверждал, что физика еще далека от своего завершения. Законы движения и оптики прочно заняли свое место, а уравнения Максвелла накрепко связали электричество и магнетизм той нитью, что пряли Фарадей и его современники, Генрих Герц, проверяя теорию Максвелла, показал, что радиоволны могут отражаться, преломляться, фокусироваться и поляризоваться и что они являются лишь одним из вариантов света. Но здесь было новое, совершенно неожиданное явление — рентгеновские лучи!

Милликен был счастлив оттого, что прежние воззрения оказались ложными. «Нам не удалось ни к чему приблизиться в исследованиях глубин Вселенной, даже в вопросе о фундаментальных физических принципах, как нам думалось раньше».

Рентген совершил свое удивительное открытие, исследуя светящуюся точку, которая возникает в конце вакуумной стеклянной «разрядной трубки», когда достаточно высокое напряжение подается на две металлические пластины внутри нее — отрицательно заряженный катод и положительно заряженный анод (эти термины появились благодаря Фарадею). Проходящие через разреженный воздух, эти катодные лучи оказались весьма загадочными. Если внутрь этой лампы поместить препятствие — химик и медиум Уильям Крукс для этой цели использовал мальтийский крест, — то его тень появится на флюоресцирующем стекле; это означает, что лучи, как пуля, движутся по прямой. Если рядом с трубкой разместить магнит, то пучок сместится вбок. Если внутрь трубки поместить драгоценный камень, то он начнет флюоресцировать. Кроме того, эти лучи представляли собой поток вещества, которое вращало крохотную крыльчатку в лампе. Крукс объявил: «Теперь физикам известны четыре состояния вещества — твердое, жидкое, газообразное и лучистое.»

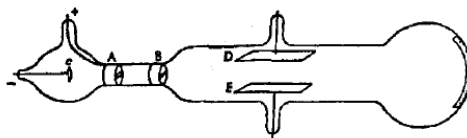


Трубки Крукса: катодные лучи заставляют светиться бриллиант, оставляют тень от мальтийского креста и двигают лопатки крыльчатки, оказавшейся на их пути

Рентген обнаружил еще большую странность: если пучок ударяет в конец трубки с достаточной силой, то возникает совершенно иное излучение, достаточно мощное для того, чтобы проникать сквозь плоть. Не прошло и года, как Анри Беккерель обнаружил в Париже еще одну форму проникающих лучей, испускаемых кусочками урана, проходящих через непрозрачный экран и оставляющих след на фотопластине. Вскоре стало ясно, что оба типа излучения могут ионизировать газ и наделять его электрическим зарядом. Теперь мы знаем, что это происходит потому, что обнаруженные лучи выбивают электроны из атомов.

Вернувшись из Европы, чтобы приступить к работе в Чикагском университете, где в то время царствовал Майкельсон, Милликен издалека наблюдал за работами некоторых величайших европейских ученых, увлеченных новой физикой. В Кавендишской лаборатории Кембриджа Дж. Дж. Томсон показал, что пучок можно отклонять не только магнитом, но и сильным электрическим полем. Герц неудачно провел эксперимент, в котором пучок проходил между параллельными пластинами внутри вакуумной лампы. Когда на пластины подавалось напряжение от электрического элемента, пучок не смещался. Герц решил, что эти лучи — нематериальные возмущения эфира. (Урок Майкельсона-Морли все еще не был усвоен.)

Томсон подозревал, что Герц недостаточно откачал воздух из лампы и оставшиеся молекулы закорачивают пластины так, словно они оказываются под дождем. При более высоком вакууме он смог подтолкнуть пучок в сторону положительного полюса — серьезное указание на то, что катодные лучи состоят из отрицательно заряженного вещества, частиц электричества, или электронов.

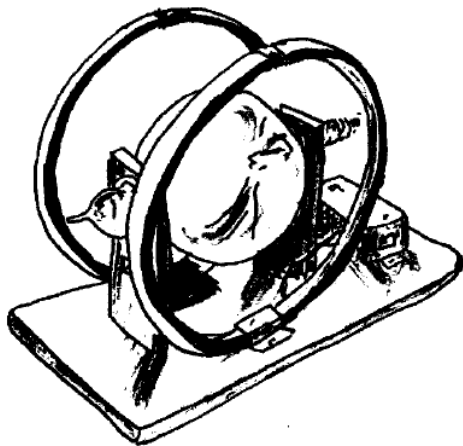


Эксперимент Дж. Дж. Томсона. В точке С возникают катодные лучи, которые проходят через положительно заряженный анод (А), затем через отверстие В и между пластинами D и E и высвечивают точку в конце трубки.

Подача напряжения на пластины заставляет луч отклоняться

Я не собирался покупать установку Томсона, но красота эксперимента настолько соблазнила меня, что я не устоял: в простой деревянной рамке установлена сферическая вакуумная трубка с заострениями, а большие медные катушки Гельмгольца (названы так в честь немецкого физика Германа фон Гельмгольца) крепятся по бокам. При расстоянии между ними, равном их радиусу (15 см), они создавали равномерное магнитное поле, в котором оказывалась трубка. Прибор был изготовлен в Германии для демонстрации на уроках физики, и посеревшее и потрескавшееся покрытие электрических клемм позволяло предполагать, что сделали его в 60-е годы прошлого века.

Никакого руководства не было, а вместо него оказался толстый лист чертежной бумаги, на котором кто-то цветными карандашами изобразил схему включения прибора: для разогрева металлического катода и выброса электронов, ускоряющихся значительно большим напряжением на аноде, подавалось напряжением 6,3 В. Третий источник тока должен был питать катушки Гельмгольца. Я подсоединил провода к моему источнику питания и выключил свет.



Современный вариант установки Томсона

Рисунок Элисон Кент

Зрелище было жутковатым. По мере того как я увеличивал напряжение на аноде, вокруг катода собиралось зеленоватое облако в форме яблока, оно росло и наполнялось светом до тех пор, пока при 160 В тонкий как волосок синий луч «выстрелил» из самой сердцевины и ударил в верхнюю часть стекла. Настоящий джинн в бутылке! Каким страшным это все должно было казаться Круксу и другим пионерам электронно-лучевых приборов! Некоторым чудилось, что они видят эктоплазму, ту самую субстанцию, появляющуюся из отверстий в теле медиума во время спиритического сеанса. Поднеся стержневой магнит к стеклу, я заставил джинна искривиться. Черный полюс отклонял пучок на меня, а красный — отталкивал.

Теперь пришла пора подать напряжение на катушки. Я стал потихоньку вертеть ручку, и при напряжении 3,5 В и токе 0,76 А пучок закрутился по часовой стрелке и образовал сияющий круг внутри трубки. Если анод старался толкать электроны строго вверх, то магнитный ветер сносил их в сторону — две силы встретились под прямым углом и, как понял Томсон, результат этой борьбы зависит от массы частиц и их заряда. Эксперимент не мог ему дать ни одной из этих величин (потому что легкие, слабо заряженные частицы будут вести себя так же, как и тяжелые частицы с большим зарядом). Но соотношение величин определить можно.

Я подставил свои величины — анодного напряжения, тока на катушках, радиуса мерцающего круга — в его уравнение и произвел вычисления. Получилось $2,5 \times 10^8$ кулона на грамм (единица электрического заряда «кулон» была названа в честь французского ученого Шарля Огюстена Кулона, она приблизительно равняется количеству электричества, проходящему ежесекундно через 100-ваттную лампочку). Я получил итоговую величину примерно на 50 % больше общепринятой, но был доволен тем, что хоть количество нулей в результате совпало.

Более важным было то, что Томсон собирался показать, а именно: отношение заряда и массы частиц луча не зависит ни от конкретного газа в трубке, ни от металла, из которого сделан катод. Это означает, что, независимо ни от чего, луч будет состоять из одного и того же вещества.

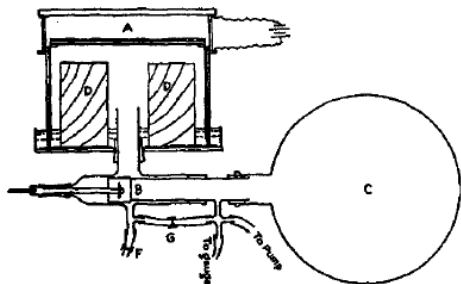
И каким же странным было это вещество! Отношение заряда к массе уже было измерено для занимающего самое высокое место в периодической таблице атома водорода, когда он перетекал от полюса к полюсу электролитического элемента. Для электрона эта величина была почти в тысячу раз больше. Либо у него должен быть огромный заряд, либо, как предполагал Томсон, он несоизмеримо меньше атома. Интуиция подсказывала Томсону, что он открыл нечто невообразимое — субатомную частицу.

Шел 1906 год, и Милликен чувствовал себя как человек, утративший почву под ногами. К этому времени он уже десять лет провел в Чикаго, но оставался всего лишь доцентом. Правда, он считал себя хорошим преподавателем, и недаром его учебники хорошо продавались. Однако ему исполнилось тридцать восемь — возраст вполне зрелый для физика, — а он не сделал еще ни одного большого открытия!

Милликен знал, что впечатляющий эксперимент Томсона не дал ответов на все вопросы. Под найденное соотношение подпадало очень много значений заряда и массы. Такая неопределенность не могла развеять скептицизм немецких ученых, по-прежнему считавших, что электричество — это эфирные волны. Чтобы разрешить этот вопрос, нужно было найти хотя бы одну величину из соотношения Томсона, то есть либо массу, либо заряд электрона.

Милликен начал с повторения эксперимента, в котором один из ученых группы Томсона в Кавендишской лаборатории определил время, за которое заряженный туман из водяных паров, ионизированный либо рентгеновскими лучами, либо излучением радия, полностью оседает на стенках герметичного сосуда. Туман находился между двумя металлическими пластинами, подключенными к полюсам гальванического элемента. Заметив, как скорость осаждения пара меняется в зависимости от величины электрического поля, можно определить общий заряд облака. Если же величину этого заряда разделить на количество заряженных частиц, которые, по вашему предположению, содержатся в облаке, можно рассчитать примерную величину заряда одного электрона.

Этот метод, использующий так называемую камеру Вильсона, не устранял неопределенность и возможность разных интерпретаций. Пар возникал постоянно, верхний край облака был неровным и нечетким, отчего наблюдение за его движением было делом весьма нелегким. Милликен увеличил напряжение в надежде устойчиво зафиксировать мишень между положительным и отрицательным полюсами. Тогда удастся, полагал он, измерить скорость испарения и учесть ее в дальнейших расчетах.



Ионизационная камера Вильсона. Вакуум С при открытии впускного клапана В всасывает через основание камеры А находящийся в ней влажный воздух. Увеличение объема ведет к образованию облака

Вместо этого после включения рубильника облако исчезло, и эксперимент не получился. По крайней мере, так казалось до тех пор, пока ученый не заметил, что несколько водяных капель остались висеть в воздухе. Значит, их вес и заряд оказались такими, при которых сила притяжения полностью уравновешивалась действующим в противоположном направлении электрическим полем.

Милликен понял, что это позволит поставить более точный эксперимент. Вместо того чтобы изучать поведение целого облака капель в массе, он сможет наблюдать капли по одной. Глядя через небольшой телескоп, установленный на расстоянии чуть более полуметра от установки, он выберет зависшую каплю, а затем выключит электричество! С хронометром в руке он рассчитывал время падения капли между отдельными делениями окуляра телескопа. Час за часом он записывал результаты, сравни-

вая примерный вес капли и количество заряда, необходимое для ее удержания. Как сообщал Милликен, результаты всегда были 1, 2, 3, 4 или любой другой целый множитель минимального заряда, который когда-либо измерялся для минимальной капли». И действительно, заряд увеличивался равными порциями, которые, по его расчетам, равнялись $1,55 \times 10^{-19}$ кулона.

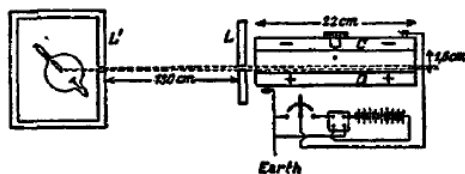
В сентябре 1909 года он отправился в Виннипег, чтобы доложить результаты своих опытов, которые он считал предварительными, на заседании Британской ассоциации содействия науке. Вступительную речь произнес сам Томсон, а Эрнст Резерфорд — ему только что была вручена Нобелевская премия — прочел лекцию о состоянии атомной физики, отмечая, что при всех успехах последнего времени «обнаружить отдельный электрон пока не удалось». Тогда Милликен, который не был даже заявлен в повестке дня, удивил многих, заявив, что он уже близок к решению этой задачи.

Возвращаясь в поезде домой, он размышлял, как сделать его эксперимент более убедительным. Из-за испарения каждая капля живет всего несколько секунд. Если бы капля жила минуты или даже часы, то можно было бы регулировать напряжение в более широком диапазоне. Поскольку в это время он любовался равнинами Манитобы[5], то ответ, как он впоследствии вспоминал, пришел мгновенно.

По приезду в Чикаго он попросил Харвея Флетчера, который тогда искал тему для докторской диссертации, посмотреть, можно ли экспериментировать не с каплями воды, а с каплями других, более «живучих» жидкостей. Приобретя секундомер и понаблюдав в соседней аптеке за поведением масла, Флетчер стал собирать установку для эксперимента: две круглые латунные пластины (причем в верхней он посередине просверлил отверстие) устанавливались на лабораторном столе и подсвечивались ярким светом сбоку. Над установкой он распылял масло и наблюдал за ним в телескоп. Впоследствии он говорил, что это было незабываемое зрелище:

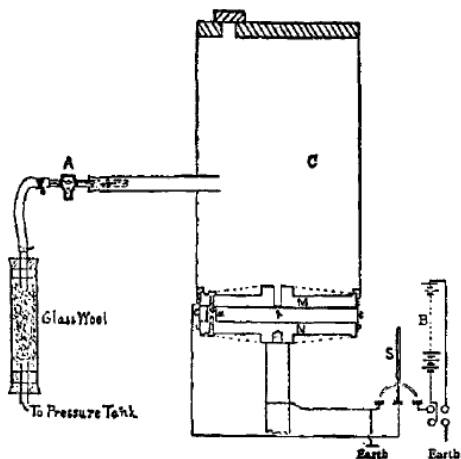
Пространство было усыпано крохотными звездочками всех цветов радуги. Более крупные капли вскоре упали на дно, а маленькие оставались в воздухе почти минуту. Они исполняли невероятно замысловатый танец.

На следующее утро Флетчер вкатил в лабораторию большую батарею гальванических элементов, способных дать одну тысячу вольт, и подсоединил их к латунным пластинам. Увеличивая ток, он восхищенно наблюдал за тем, как отдельные капли подпрыгивали вверх, а другие опускались вниз. Трение о сопло пульверизатора придавало им то положительный, то отрицательный заряд. Увидев, как хорошо сработал его план, Милликен пришел в восторг. Вместе с Флетчером он усовершенствовал установку и каждый вечер все последующие полгода проводил в лаборатории, накапливая данные.



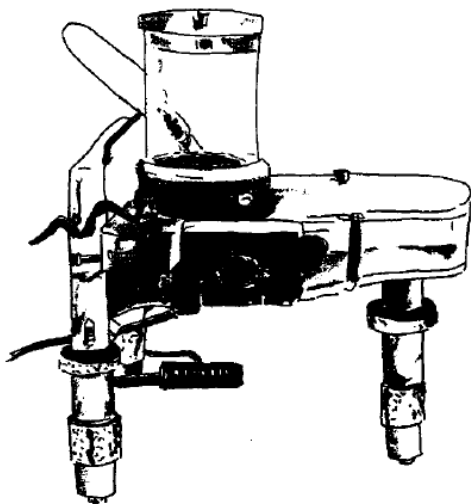
Ранняя версия эксперимента Милликен а с масляными каплями. Капли опускались через небольшое отверстие и располагались в пространстве между латунными пластинами С и D, которые через рубильник были подключены к источнику электричества. Слева — источник рентгеновского излучения, который использовался для «выбивания» электронов из капель и изменения их заряда

Моя установка, спроектированная и созданная бирмингемской компанией *Phillip Harris*, представляла собой упрощенную версию установки Милликена, однако идея Милликена реализовалась в ней без каких-либо изменений. Латунные пластины были установлены внутри покоящейся на трех ножках плексигласовой платформы, смонтированной на твердом деревянном бруске размером примерно 40 x 50 см. Сбоку располагался источник освещения — металлический корпус, покрашенный в серый лабораторный цвет и снабженный фокусирующей линзой. Английских ламп у меня не было, но я смог найти поместившуюся в этот корпус галогеновую лампу, для которой потребовался адаптер.



Более поздняя версия установки. Серийный пульверизатор А подавал очищенный через фильтр воздух, чтобы рассеять масло в камере С, откуда случайная капля продолжала свой путь через отверстие в верхней пластине М

Для наблюдения за пляшущими каплями у меня был телемикроскоп (что-то среднее между телескопом и микроскопом), оснащенный окуляром с измерительной сеткой. Для подачи напряжения имелся рубильник. В верхнем положении напряжение подавалось на пластины (надпись на черном шильдике гласила: «Не превышать 2000 В!»). В нижнем положении происходило замыкание, и заряд рассеивался. И вот, разобрав установку и очистив ее от пыли и осевшего за тысячи студенческих демонстраций масла, я был готов к проведению своего собственного эксперимента.



Установка Милликена производства компании *Phillip Harris*

Рисунок Элисон Кент

Я зарядил обычный парфюмерный пульверизатор вазелиновым маслом и впрыснул его в камеру поверх верхней латунной пластины. Потом подождал, пока несколько капель не опустятся через крохотное отверстие в пластине. Капли выглядели, скорее, как пылинки в снопе солнечного света, а не как маленькие звездочки. Однако их воздействие было гипнотическим. Я отобрал ту, которая падала плавно и прямо, и включил напряжение. Если бы она неожиданно устремилась вверх, это означало бы, что у нее есть заряд. Двигая рубильник вверх и вниз и регулируя напряжение, я засекал время подъема и падения капель между делениями измерительной сетки окуляра — 4,2 секунды вниз, 2,6 секунды вверх... 6,8 секунды вверх... 7, 1 и 2,2...8,1 и 3,3.

Мне это стало нравиться, но, чтобы правильно проводить эксперимент, требовалось выделять одну каплю и долго наблюдать разброс во времени подъема, который сигнализирует об отдаче или захвате электрона каплей. Когда я накопил данные измерений для десятка капель и примерно определил их массу (по уравнению, которое

известно как закон Стокса), мне удалось рассчитать, чему равна единица заряда.

Это только в учебниках по физике все выглядит так просто. Там нет упоминания о том, что между латунными пластинами может произойти короткое замыкание или что они могут искрить оттого, что съехала контактная клипса. Молчит учебник и о том, что можно выпустить из пульверизатора слишком много масла и тогда отверстие в пластине забьется. Я уже не говорю, как легко перепутать капли или принять за каплю соринку в своем глазу.

Я выделил каплю, которая показалась мне идеальным образцом, а потом беспомощно наблюдал, как она покидает фокальную плоскость. Иногда капля оказывалась такой тяжелой, что камнем шла на дно, или заряжалась так сильно при включении электричества, что ракетой исчезала из виду. Только после множества неудачных попыток я понял, что освоить такой тонкий эксперимент для меня — все равно что научиться играть на скрипке или стать столяром-краснодеревщиком.

А вот маэстро Милликен так ловко обходился со своей установкой, что, поймав в прицел оптического прибора каплю, мог пойти поужинать, а, вернувшись, обнаружить, что его капля практически не сдвинулась со своего места. Имея же такого помощника, как Флетчер, он легко фиксировал изменения в скорости движения капель, когда электроны «прилипали» к капле или покидали ее, как пассажиры сан-францисского трамвая. Если ему нужно было придать каплям небольшое ускорение, он открывал свинцовую дверцу и «подгонял» их радием.

Его данные, полученные в эксперименте с водяными каплями, уже подверглись сомнению со стороны одного австрийского экспериментатора, который утверждал, что ему удалось выделить «суб-электроны», которые, как он подозревал, являются наименьшими единицами заряда. Однако результаты, полученные Милликеном в его раннем» более грубом эксперименте, нашли полное подтверждение в экспериментах с масляными каплями. Электроны действительно существовали. Однажды вечером Чарльз Протеус Штейнмец, пионер электротехники, пришел к Милликену посмотреть на эксперимент. «Никогда бы не поверил!» — все повторял он, благодарно тряся руку Флетчера.

В начале 1910 года они начали записывать результаты, и в течение трех последующих лет Милликен непрерывно совершенствовал эксперимент. Простая настольная установка постепенно превратилась в высокотехнологичное устройство с фильтрацией воздуха, точным контролем температуры, давления и напряжения, а также часами, способными отмерять миллисекунды. Не менее важно и то, что он научился понимать поведение капель. Все неудачи и успехи Милликен записывал в дневнике:

Очень медленно что-то не так... не уверен в расстоянии...
Возможно, сдвоенная капля... Красотка... Опубликовать...
Хороша для небольшой капли... Отлично... Правильно... Имеет значение... Не получится... Опубликовать эту красоту.

По мере освоения количество «красоток» увеличивалось:

Само совершенство... Лучшая из всех.

Было такое впечатление, что это сами электроны переливались всеми цветами радуги.

Все, кто видел этот эксперимент... по сути, ВИДЕЛИ электрон, — позднее напишет Милликен, специально выделив это место, — Можно было посчитать количество электронов в конкретном небольшом электрическом заряде с такой же точностью, с какой считают пальцы на руках и ногах.

В 1913 году он опубликовал окончательную величину единицы электрического заряда: $1,5924 \times 10^{-19}$ кулона. Десять лет спустя он получил Нобелевскую премию.

Эта история имела неприятное продолжение. В 1981 году, после смерти Гарвея Флетчера, бывшего помощника Милликена, появились мемуары, в которых он не только благодарил Милликена за то, что тот помог ему с карьерой, но и высказал свое разочарование по поводу того, что его участие в эксперименте с масляными каплями было недооценено. По его словам, профессор Милликен однажды появился у него в квартире и предложил сделку: мол, он, Милликен, будет единственным автором статьи о заряде электрона, а во всех менее значимых их совместных работах Флетчер будет указан как соавтор.

Флетчер хотел, чтобы его мемуары появились только после его смерти, и это заставляет его верить, но таким образом он лишил Милликена (который умер в 1953 году) возможности дать ответ. Если судить по автобиографии Милликена, то он меньше всего был похож на человека, с которым «хотелось бы идти в разведку». Он мог быть снисходительным и даже фанатичным. Хоть его авторство идеи изолирования и измерения электрона ни у кого не вызывает сомнения, он все равно мог бы быть более справедливым по отношению к своему ученику.

Еще более печальными выглядят обвинения Милликена в том, что он подделал опубликованные результаты. Обнаруженные в архивах записи его лабораторных журналов показывают, что он отбирал только те результаты, которые не противоречили его представлениям. Однако все эти обвинения не совсем убедительны. Подозреваю, что у Милликена возникло ощущение того, что должно происходить; своим шестым чувством он мог отличать, когда что-нибудь шло не так — палец соскочил с секундомера, резко изменилась температура или напряжение на пластинах, частица пыли могла показаться каплей масла. Он знал, чувствовал, когда результат измерений был ошибочным.

Более интересным по сравнению с такими обвинениями является ответ на вопрос о том, как определить, где инстинкт, а где подсознательное желание подтолкнуть прибор так, чтобы, как на спиритической доске, получить желаемый ответ. С таким соблазном приходится бороться каждому экспериментатору. Дело в том, что самой темпераментной частью лабораторного оборудования всегда является человеческий мозг.

ОДИННАДЦАТЫЙ, И САМЫЙ КРАСИВЫЙ, ЭКСПЕРИМЕНТ

Осенью 2006 года, когда я был штатным публицистом Института теоретической физики Кавли в Санта-Барбаре, штат Калифорния, я выступил со своим изложением книги «Десять самых изящных экспериментов». После этого выступления ко мне подошла женщина и спросила, почему героями книги оказались только мужчины.

Я действительно подумывал над тем, чтобы включить в книгу Марию Кюри в связи с ее экспериментами с радием и готовностью перебрать тонны радиоактивной руды, чтобы найти всего несколько сияющих частиц. Однако после некоторых размышлений я пришел к выводу, что в этом было больше героизма, чем сознательного желания «с пристрастием допросить природу». Более вероятным кандидатом мне показалась Лизе Майтнер, однако ее пионерские работы по делению ядра проводились в 30-е годы прошлого столетия совместно с Отто Ганом и Фрицем Штрассманом. Похоже, наука постепенно становилась плодом коллективных усилий ученых, т. е. такой, какой мы ее знаем сегодня. Под статьей, заявляющей об открытии топ-кварков, стоит 439 фамилий!

Бели бы я нарушил установленные мною рамки, то, возможно, одиннадцатым самым изящным экспериментом стало бы открытие Ритой Леви-Монтальчини фактора роста нервной ткани, работа Барбары Мак-Клинток по исследованию транспозирующих генетических систем или же блестящая демонстрация У Цзяньсюн того, что при слабых взаимодействиях закон сохранения четности может нарушаться.

Не успел я закончить книгу, как начал сомневаться в своем выборе. Почему не Резерфорд и атомное ядро, Джеймс Чедвик и нейтрон или Хейке Камерлинг-Оннес и сверхпроводимость? В биологии были Грегор Мендель и его садовые эксперименты по генетике, а также Освальд Авери, который доказал, что гены состоят из ДНК. К числу изящных можно отнести и знаменитый эксперимент Альфреда Херши и Марты Чейз, показавший, что генетическая информация содержится в ДНК. Не менее красивый эксперимент Мэтью Мезельсона и Франклина Сталя — многие считают его самым блестящим в истории биологии — продемонстрировал механизм репродуцирования ДНК, следовавший из модели двойной спирали Уотсона и Крика.

На исходе XX века открытий было немного — казалось, природа не хочет расставаться со своими оставшимися тайнами. Вероятно, уже минуло то время, когда открытие можно совершить, используя настольную установку. Однако наверняка этого утверждать нельзя. Может быть, время одиннадцатого самого красивого эксперимента просто еще не пришло.

Благодарности

Не представляю, как можно было бы написать эту книгу, если бы не обилие прекрасных библиотек вокруг меня. Первой среди них хочется назвать великолепную библиотеку Меем, которая расположена на вершине холма в колледже святого Иоанна. Она построена по проекту архитектора Джона Гау Меема, и в ее фондах можно найти самые разные книги по истории науки — от «Альмагеста» Птолемея до «Электрона» Милликена. Мне удалось даже отыскать факсимильное издание рукописных записок Альберта Майкельсона, которые он сделал в 1878 году во время измерения скорости света. Совершенно особенной является публичная библиотека, расположенная в центре города Санта-Фе. Ее читальный зал — настоящий архитектурный шедевр. Там библиотекари справочной службы помогли мне получить несколько книг по МБА. Из Санта-Фе мне приходилось выбирать не дальше Альбукерке, где находится Университет штата Нью-Мексико.

В открытом доступе его библиотеки до сих пор находятся подшивки старых журналов, которые никто не собирается переводить на микрофиши.

Не могу не сказать о том энтузиазме, с которым к моей книге отнесся президент колледжа святого Иоанна, Джон Балькольм. Хочу поблагодарить Ганса фон Бризена, бывшего директора лаборатории, который первым познакомил меня с экспериментами Томсона и Милликена. Моя благодарность Уильяму Донахью, Питеру Песику и Неду Уолпину — преподавателям, которые сделали ценные замечания при чтении рукописи. Я признателен Оуэну Джинджеричу и Джеральду Холтону из Гарвардского университета и Джону Хейлброну из Беркли за их рекомендации. Много ценных замечаний по главе о Павлове сделал Даниель Тодес из Университета Джона Хопкинса, а Роальд Хоффман из Корнельского университета помог своими замечаниями по главе о Лавуазье.

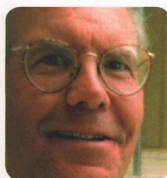
Я, конечно, благодарен и своим друзьям, которые вызвались быть моими первыми читателями: Патрику Коффи, Луизе Гильдер, Бонни Ли Ла Мадлен, Давиду Падва и Урселе Павиш. Внимательное прочтение Кормака Маккарти позволило мне избавиться от излишних знаков препинания (правда, некоторые из них пришлось снова вставить). На конечном этапе становлению книги помогли добросовестность, эрудиция и здравый смысл Мэри Ватц и художественное дарование Элисон Кент.

Это — шестая книга, которую мне повезло делать вместе с Йоном Сегалом в издательстве *Knopf*, и третья, которую помогал делать Уилл Салкин из издательства *Jonathan Cape and Bodly Head*. Их советы и хорошее отношение оказались для меня просто бесценными. Бесценным было мое сотрудничество и с литературным агентом Эстер Ньюберг, которая была со мной с самого начала. В издательстве *Knopf* мне хотелось бы поблагодарить помощника редактора Кайл Маккарти, художника Вирджинию Тан, начальника копировального цеха Лидию Бюхлер и типографского редактора Кетлин Фриделла за то, с каким знанием и умением они помогли моей рукописи превратиться в книгу.

GALILEO

GEORGE JOHNSON

The Ten Most Beautiful Experiments



Наука сегодня превратилась в настоящую индустрию. Исследования стоят миллионов долларов, в экспериментах участвуют сотни ученых. Однако совсем недавно самые потрясающие научные открытия делались учеными в одиночку, а великие эксперименты, вошедшие в историю науки, ставились на лабораторном столе. Эти эксперименты проводились со столь безупречной элегантностью, что заслуживают, чтобы их назвали красивыми — красивыми, как античные статуи.

О десяти таких экспериментах и рассказывает в своей книге известный американский популяризатор науки Джордж Джонсон. Мы узнаем, как во время опытов по гравитации Галилео Галилей пол пел, отмеряя промежутки времени. Уильям Гарвей перевязывал руку, наблюдая ход крови по венам и артериям, а Иван Павлов заставлял

интернет-магазин
OZON.RU



25056320



КоЛубри

НЕВЕРОЯТНОЕ

О НАУКЕ И ЕЕ ГЕРОЯХ



FICTION BOOK

FB2

created by
mefysto

Примечания

Мексиканский стиль, для которого характерна стилизация под глинобитные здания и невысокая этажность. (*Прим. пер.*)

2

Эти слова принадлежат герою книги Галилео Галилея по имени Сальвиати, в уста которого ученый вложил свои идеи и мысли.

Койре Александр (1892–1964) — французский ученый русского происхождения, философ, историк науки и философской мысли, автор множества трудов.

Эти слова в пьесе произносит Мария-Анна Лавуазье.

5

Манитоба — провинция в центре Канады.