

Оглавление

| | |
|---|-----|
| Введение. <i>О теле электрическом я пою</i> | 9 |
| Глава 1 <i>Эпоха чудес</i> | 17 |
| Глава 2 <i>Молекулярные поры</i> | 46 |
| Глава 3 <i>Импульс к действию</i> | 71 |
| Глава 4 <i>Не забывайте о межклеточном пространстве</i> | 101 |
| Глава 5 <i>Как действуют мышцы</i> | 127 |
| Глава 6 <i>Электрические рыбы</i> | 145 |
| Глава 7 <i>Сердечное дело</i> | 171 |
| Глава 8 <i>Жизнь и смерть</i> | 207 |
| Глава 9 <i>Врата чувств</i> | 233 |
| Глава 10 <i>Все связано</i> | 273 |
| Глава 11 <i>Что есть разум</i> | 308 |
| Глава 12 <i>Шоковая терапия</i> | 343 |
| Примечания..... | 375 |
| Дополнительная литература..... | 381 |
| Благодарности..... | 384 |
| Разрешения на использование текстов и иллюстраций..... | 386 |
| Предметный указатель..... | 387 |

Введение

*О теле электрическом я пою**

Так звездочет вдруг видит, изумлен,
В кругу светил неожиданный метеор;
Вот так Кортес, догадкой потрясен,
Вперял в безмерность океана взор,
Когда, преодолев Дарьенский склон,
Необозримый встретил он простор**.

Джон Китс. СОНЕТ, НАПИСАННЫЙ ПОСЛЕ ПРОЧТЕНИЯ
ЧАПМЕНОВСКОГО ГОМЕРА

Когда Джеймсу было всего несколько месяцев от роду, у него неожиданно обнаружился диабет, причем в такой форме, что потребовалась госпитализация. Перед ним маячила перспектива колоть инсулин на протяжении всей жизни. К тому же в процессе лечения выяснилось, что он развивается медленнее других детей. К пяти годам Джеймс только начал ходить, у него были проблемы с речью и случались приступы детских капризов, характерные для двухлетнего возраста. Жизнь обеспокоенных его судьбой родителей была не сладкой.

Как оказалось, Джеймс страдал очень редкой формой диабета, вызванной генетическим дефектом (мутацией) в белке, известном, как АТФ-зависимый калиевый канал, который играет важную роль в секреции инсулина и функционировании мозга. Чаще всего мутации АТФ-зависимых калиевых каналов вызывают только диабет, однако примерно в 20% случаев, как и в случае с Джеймсом, они влекут за собой целый

* Это известное стихотворение Уолта Уитмена из сборника «Листья травы» (1855), послужившее также названием для рассказа Рэя Брэдбери, нескольких фильмов и музыкальных альбомов. — *Прим. науч. ред.*

** Перевод С. Сухарева.

букет неврологических расстройств, включая задержку развития, гиперактивность, поведенческие расстройства и мышечную дисфункцию. Все связано с тем, что АТФ-зависимые калиевые каналы влияют на электрическую активность клеток, вырабатывающих инсулин, а также клеток мышечной ткани и мозга. Наши с Джеймсом истории переплелись, поскольку именно изучение АТФ-зависимых калиевых каналов — дело моей жизни — позволило ему отказаться от ежедневных инъекций инсулина и перейти на прием нескольких таблеток.

Диабет возникает тогда, когда бета-клетки поджелудочной железы не удовлетворяют потребности организма в инсулине и уровень сахара в крови повышается. Еще в 1984 г. я обнаружила в мембране, окружающей бета-клетку, АТФ-зависимые калиевые каналы, которые регулируют электрическую активность клетки и, таким образом, выделение инсулина. Каналы функционируют как крошечные молекулярные поры, открывающиеся и закрывающиеся в ответ на изменения содержания сахара в крови. Когда поры закрыты, секреция инсулина стимулируется, а когда открыты — ингибируется¹.

Я очень ясно помню тот день, когда произошло открытие. Как это часто бывает, озарение пришло поздно вечером. У меня были предположения, что введение глюкозы в раствор для культивирования бета-клеток должно привести к закрытию каналов. Однако, когда так и произошло, я решила, что это — техническая ошибка. Уверенность была настолько сильной, что я чуть не прекратила эксперимент. Все же, чтобышний раз убедиться в своей неправоте, мне захотелось посмотреть на эффект удаления сахара. Я рассудила, если глюкоза действительно регулирует активность каналов, то ее удаление должно привести к их открытию. Ну а в случае простой технической ошибки они так и останутся закрытыми. Через несколько томительных минут ожидания каналы открылись. Я была на седьмом небе. Я танцевала на улице, прыгала от радости, а звезды рассыпались вокруг меня разноцветными ог-

нями. Воспоминание об этом моменте до сих пор будоражит кровь и заставляет улыбаться. Ничто — ничто на свете — не может сравниться с радостью открытия, с осознанием того, что ты первый на планете, кто увидел нечто новое и понял, что оно означает. Такое не часто выпадает на долю ученого, возможно, раз в жизни, и обычно требует многих лет упорного труда. Но восхитительное чувство открытия воистину волшебное, это событие переворачивает жизнь и держит тебя в седле даже в трудные времена. Оно превращает науку в захватывающее приключение.

Тем вечером я чувствовала себя подобно отважному Кортесу, который безмолвно стоял на горном пике в провинции Дарьен, но видела не Тихий океан вдали, а перспективы, нарисованные воображением. Я совершенно ясно видела, куда мне надо двигаться, какие эксперименты нужно провести и что должно получиться. Наутро, как водится, уверенность испарилась, и чудесный результат стал казаться простой ошибкой. Найти истину можно было только одним путем — снова, снова и снова повторять эксперимент, иными словами, вернуться к повседневной рутине научных исследований, очень далекой от восторга открытия.

Даже в те далекие годы все понимали, если каналы не будут закрываться при повышении уровня глюкозы в крови, то результатом станет прекращение секреции инсулина и диабет. Чтобы доказать это, нам нужно было найти изменения в структуре ДНК, которая отвечает за синтез АТФ-зависимого калиевого канала у людей, больных диабетом. Для идентификации нужной последовательности ДНК потребовались 10 лет и усилия множества людей по всему миру, но когда мы наконец попытались определить мутации, то так ничего и не нашли.

Мутации все же были обнаружены, но еще 10 лет спустя, и сделал это мой друг Эндрю Хаттерсли. Эндрю — удивительный человек. Высокий, худощавый, рыжеволосый, с пронзительным складом ума и отзывчивым характером, это и замечательный врач, и блестящий ученый. Он не только догадался,

что мутации, за которыми мы охотимся, вероятнее всего, встречаются у родившихся с диабетом (а не у тех, кто приобрел его позднее), но и инициировал глобальный поиск таких людей. Когда в 2003 г. Эндрю со своей коллегой Анной Глойн идентифицировал первую мутацию, он позвонил мне и предложил работать вместе. Этот звонок я никогда не забуду.

В процессе совместной работы мы показали, что мутации АТФ-зависимых калиевых каналов вызывают диабет потому, что держат канал в открытом состоянии, блокируют электрическую активность и секрецию инсулина. Но главное, оказалось, что дефектные каналы закрываются под действием препаратов из группы производных сульфонилмочевины, которые эффективно применяются уже более полувека для лечения диабета 2-го типа (диабет зрелого возраста) и которые, как было известно, закрывают нормальные АТФ-зависимые калиевые каналы.

В прошлом пациентам с врожденным диабетом назначали инъекции инсулина, поскольку по симптоматике их заболевание походило на необычно раннюю форму диабета 1-го типа (ювенильный диабет). При этом заболевании бета-клетки разрушаются самим организмом, и впрыскивание инсулина на протяжении всей жизни просто необходимо. В результате лечение Джеймса и других, подобных ему больных, начиналось не с лекарств, а сразу с инсулина. Наше исследование говорило о том, что таким больным можно назначать таблетки сульфонилмочевины. К всеобщему восхищению, новое средство не только работало, но и действовало намного лучше инсулина. Более 90% страдающих неонатальным сахарным диабетом смогли перейти на новый метод лечения.

Редко какому исследователю выпадает счастье увидеть, как результаты его работы становятся клинической практикой, и еще реже удается встретиться с людьми, жизнь которых они изменили. Мне в этом смысле очень повезло. Словами невозможно выразить чувства и переживания, возникающие при встрече с детьми и семьями, которым помогла твоя

работа. Ну вот, например, миловидная девочка-подросток говорит: «Благодаря вам я могу носить платье». «Почему?» — не понимаю я. «Теперь, — отвечает она, — мне не нужен ремень на поясе юбки или брюк, чтобы крепить к нему дозатор инсулина». Дозатор инсулина, быстро соображаю я, это страшно неудобная штука. С ним не поплаваешь и не поныряешь в удовольствие в теплом море — каждый раз его приходится снимать, а потом подсоединять. А потом, он безнадежно портит фигуру, если надеть что-нибудь обтягивающее. Таблетки устраняют эту проблему и позволяют отказаться от болезненных инъекций. Но у этого метода есть и более серьезные преимущества. По невыясненным пока причинам (мы, конечно, занимаемся этим вопросом) сульфонилмочевина дает намного более устойчивый уровень глюкозы в крови, чем инсулин. Сильные колебания концентрации сахара в крови уходят в прошлое, и гипогликемические приступы становятся значительно более редким явлением (а в некоторых случаях практически исчезают). К тому же понижается средний уровень сахара в крови, а вместе с ним и риск диабетических осложнений (почечная недостаточность, сердечная недостаточность, слепота и ампутация конечностей).

Страдающие неонатальным диабетом и их семьи восприняли новый метод лечения как чудо. Однако ничего сверхъестественного в нем не было — только чистая наука. Это понимание того, как ионные каналы регулируют электрическую активность бета-клеток поджелудочной железы и, таким образом, секрецию инсулина, позволило больным отказаться от инъекций и дозаторов инсулина и перейти на прием таблеток. Лишь более ясное представление о механике электрической активности нервных и мышечных клеток дало возможность найти более действенные методы борьбы с их неврологическими проблемами.

Все знают, что электричество приводит в действие машины, гораздо менее известно, что это же самое можно сказать о нас самих. Ваша способность читать и понимать написанное, ви-

деть и слышать, думать и говорить, шевелить руками и ногами и даже осознавать собственное «Я» обусловлена электрическими явлениями, происходящими в нервных клетках мозга и в клетках мышечной ткани конечностей. Электрическая активность в клетках инициируется и регулируется ионными каналами. Эти малоизвестные, но критически важные белковые образования есть в каждой клетке нашего тела и в каждой клетке всех организмов на Земле. Они регулируют наши жизненные процессы с момента зачатия и до последнего вдоха. Ионные каналы являются в подлинном смысле «искрой жизни», поскольку от них зависят все без исключения аспекты нашего поведения. Активность ионных каналов лежит в основе всего — от движения хвостика сперматозоида до сексуального влечения, биения сердца, желания съесть еще одну конфетку и ощущения солнечного тепла кожей. Учитывая их вездесущность и функциональную важность, стоит ли удивляться тому, что действие массы медицинских препаратов нацелено на регулирование активности этих крошечных молекулярных механизмов, а нарушение функционирования ионных каналов становится причиной многих болезней человека и животных. Свиньи, которых тремор приводит к гибели, козы, столбенеющие и теряющие равновесие при испуге, люди, страдающие фиброзно-кистозной дегенерацией, эпилепсией, нарушением сердечного ритма и (как и я) мигренью, — все они жертвы дисфункции каналов.

В Музее современного искусства в Париже есть необычный памятник ученым и естествоиспытателям, внесшим вклад в открытие электричества. Гигантское панно «Фея электричества» высотой 10 м и длиной 60 м было написано по заказу Парижской электрической компании для украшения французского павильона на Всемирной выставке 1937 г. в Париже. Эта работа принадлежит кисти французского художника, представителя фовизма Рауля Дюфи, который больше известен своими удивительно яркими изображениями кораблей. Для ее завершения художнику с двумя помощниками по-

требовалось четыре месяца. Фея электричества парит в небесах в левом углу картины над самыми известными творениями человечества, среди которых Эйфелева башня, Биг-Бен и собор Святого Петра в Риме. За нею следуют почти 110 человек, так или иначе приложивших руку к освоению электричества, — от древних греков до наших времен. По мере смены эпох на панно сельские пейзажи уступают место паровозам, доменным печам, прочим прелестям промышленной революции и, наконец, гигантским мачтам линий электропередачи, несущих энергию планете.

Величественная картина Дюфи прославляет ученых и инженеров, определивших облик нашего сегодняшнего мира, — Ампера, Архимеда, Ома, Фарадея, Франклина, Эдисона и других. Однако существует еще плеяда менее известных ученых, последователей Гальвани, открывателя «животного электричества». Им мы обязаны существованием лекарств и технологий, которые ныне воспринимаются в больницах как нечто само собой разумеющееся, а также знаний о том, как наш организм функционирует. Именно им посвящается эта книга. В ней раскрывается процесс развития наших представлений о животном электричестве и их связь с углубляющимся пониманием природы самого электричества, объясняется происхождение электричества в организме и излагаются драматические, захватывающие, а иногда трагические истории о том, что случается, когда разлаживаются тонкие механизмы. Что происходит во время сердечного приступа? Можно ли действительно умереть от страха? Почему некоторые не могут остановиться, когда едят бананы? Что в действительности делает ботокс? Почему электрический угорь может ударить током? Как летучие мыши-вампиры отыскивают свои жертвы? Можно ли утверждать, что один человек воспринимает красный цвет точно так же, как и другой?

Настоящая книга дает ответы на эти и другие вопросы. Она объясняет, как работают ионные каналы и как они дают начало электрической активности нервной и мышечной ткани.

Из нее вы узнаете, что ионные каналы являются нашими окнами в мир и что все наши чувственные восприятия — от наслаждения квартетом Моцарта до определения точки, где теннисный мяч коснется земли, — зависят от их способности преобразовывать информацию от органов чувств в электрические сигналы, которые могут интерпретироваться мозгом. В ней мы рассмотрим, что происходит, когда человек засыпает или теряет сознание, и обсудим, как более глубокое понимание электрической активности мозга сказывается на объяснении связи между интеллектом и мозгом.

По существу в книге написана почти детективная история об особой разновидности белковой материи — ионном канале, — которая переносит нас из античной Греции на передний край современных исследований. Во многом это рассказ о сегодняшнем дне. Хотя о воздействии статического электричества и молнии на живой организм известно уже не первый век, лишь в последние десятилетия ученые смогли открыть ионные каналы, разгадать их функции и впервые увидеть прекрасную, тонкую и невероятно сложную структуру. Книга, помимо прочего, панегирик тем уникальным белкам, которые захватили мое воображение еще в молодости и не отпускают меня до сих пор. Это всепоглощающая страсть моей жизни. Выражаясь высоким слогом Уолта Уитмена*, «о теле электрическом я пою».

* Американский поэт, публицист (1819–1892). — *Прим. пер.*

Глава 1

Эпоха чудес

Я нахожусь под огнем критики двух расположенных на разных полюсах сект – ученых и невежд. И те и другие насмеются надо мной и называют меня «повелителем танцующих лягушек», но я знаю, что открыл одну из величайших сил природы.

Луиджи Гальвани¹

«В одну из ненастных ноябрьских ночей я наконец подошел к завершению моих трудов. Едва сдерживая волнение, я поставил вокруг приборы, с помощью которых можно было вдохнуть искру жизни в бесчувственное тело, лежавшее у моих ног. После полуночи прошел час, дождь уныло барабанил в окно, свеча почти догорела, когда в ее неверном свете я увидел, как открылись мутные желтые глаза, как существо начало дышать и судорожно подергивать конечностями». Так Виктор Франкенштейн в романе Мэри Шелли «Франкенштейн», вышедшем в 1818 г., описывал создание монстра.

Принято считать, что для оживления монстра Франкенштейн использовал энергию молнии. Это заблуждение связано, скорее всего, со знаменитым фильмом 1931 г., в котором монстра сыграл Борис Карлофф. Сама Шелли была намного более осмотрительной и упомянула только «приборы». Тем не менее роман заставляет предположить, что именно электричество позволило вдохнуть в монстра «искру жизни». Франкенштейн дает очень красочное описание увиденного им в молодости удара молнии, которая разнесла в щепки старый дуб. А когда он интересуется у своего отца природой молнии, то узнает, что это – «электричество». Шелли еще в предисловии пользуется случаем, чтобы отметить связь физиологии

и электричества: «не исключено, что умершего можно реанимировать; гальванизация стала символом таких вещей».

И Мэри, и ее возлюбленный Перси Биши Шелли очень живо интересовались нарождающейся наукой об электричестве и влиянием электричества на человеческий организм. Перси был настоящим энтузиастом и экспериментировал с электричеством в Итоне, Оксфорде и даже дома — его сестра вспоминает, как ей было страшно, когда с братом они «ходили, взявшись за руки, вокруг стола, чтобы электризоваться». Перси, в конце концов, выставили из Оксфорда за атеистические взгляды. В 1810 г. во время зимних каникул перед его последним семестром в университете он написал своему руководителю, что, по его мнению, человек — «масса электризованной плоти, способной вмещать, связывать и разрушать вездесущий разум вселенной». Спустя 200 лет «электризованная плоть» по-прежнему остается довольно хорошим описанием человеческого мозга.

Хотя идея оживления умершего создания с помощью электричества может показаться нам смешной и мы знаем, что удар молнии нередко несет смерть, даже сегодня вряд ли кто будет отрицать, что электричество — это искра жизни. Идущая поздно вечером британская телевизионная программа по искусству (The South Bank Show) начинается с демонстрации стилизованной версии знаменитой картины Микеланджело «Сотворение Адама», на которой с указующего перста Господа срывается электрическая искра. Не покажется нам полностью фантастической и идея о том, что люди, как и все остальные организмы, являются электрическими механизмами. Как вы увидите в этой главе, углубление знания о «теле электрическом» тесно связано с нашим пониманием самого электричества.

Начальные представления

В сухой холодный день каждый может получить удар электрическим током, когда открывает дверцу автомобиля

или берется за металлическую дверную ручку, и услышать, как потрескивают электрические искры при стягивании нейлоновой рубашки. Нижняя юбка, прилипающая к ногам, слипшаяся одежда, вытащенная из стиральной машины после сушки, кончики волос, приподнимающиеся, когда вы снимаете шляпу, электрический удар, когда вы целуетесь с кем-нибудь, слабое потрескивание электрических разрядов при расчесывании волос – все это проявления статического электричества, накапливающегося на нашем теле. Во влажной атмосфере заряд быстро исчезает, в сухой же он может достигать тысяч вольт. При приближении к металлическим предметам или даже к другому человеку происходит разряд. Прикосновение вовсе необязательно, поскольку электричество пробивает зазор, образуя искру. «Электрическое» притяжение, возникающее между двумя людьми, тот самый особый импульс, может быть не просто рассказами влюбленных.

Электростатика начинается с пристрастия древних греков к янтарю. Это греческое название янтаря, «электрум», производное от «электор» – «сияющий», дало нам слова «электрон» и «электричество». Поскольку янтарь обычно находят на морском побережье, куда его выносит прибой, происхождение этого камня всегда считалось загадочным. Историк Демострат считал, что это окаменевшая моча рыси. Овидий предлагает другую историю. Он рассказывает, что Фаэтон направил колесницу Аполлона (Солнце) прямо на Землю и был сражен Зевсом, чтобы избежать катастрофы. Безутешные сестры Фаэтона превратились в тополя, а их золотые слезы – в янтарь, который упал в реку Эридан, где утонул Фаэтон.

Теперь мы знаем, что янтарь – это окаменевшая смола когда-то росших на Земле сосен. Он знаком нам как материал для изготовления ювелирных украшений и как среда, в которой встречаются превосходно сохранившиеся доисторические насекомые. Однако янтарь интересен не только этим, у него есть еще одно любопытное свойство. При трении о шерсть в нем генерируется статическое электричество,

под действием которого притягиваются легкие сухие предметы вроде небольших кусочков бумаги, перышек, частичек мякины и волос. Возможно, поэтому сирийские женщины, использовавшие веретена с декоративными янтарными грузиками на концах, называли его «захватом». Считается, что первым, кто упомянул способность янтаря притягивать предметы, был Фалес Милетский* в V в. до н. э., хотя с полной уверенностью утверждать это нельзя, поскольку истории о его деятельности передавались устно до тех пор, пока их не записали более поздние философы, такие как Теофраст.

Янтарь генерирует статическое электричество потому, что он притягивает электроны из атомов шерсти и, таким образом, приобретает отрицательный заряд, оставляя шерсть положительно заряженной. Заряд возникает в результате соприкосновения янтаря и шерсти – трение при этом не играет никакой роли, оно лишь увеличивает площадь контакта двух поверхностей. Поскольку противоположные заряды притягиваются, любой материал, имеющий естественный положительный заряд, прилипает к отрицательно заряженному янтарю. И наоборот, поскольку одноименные заряды отталкиваются, волосы в результате электризации отклоняются друг от друга настолько это возможно и топорчатся как у Петера Волосы Дыбом из немецкой иллюстрированной книжки для детей. Между прочим, в «статическом» электричестве нет ничего статического. Термин свидетельствует лишь о том факте, что положительный и отрицательный электрические заряды физически разделены. Как только положительно заряженный материал оказывается достаточно близко к отрицательно заряженному материалу, возникает электрический ток, который проявляется в виде проскакивающей искры.

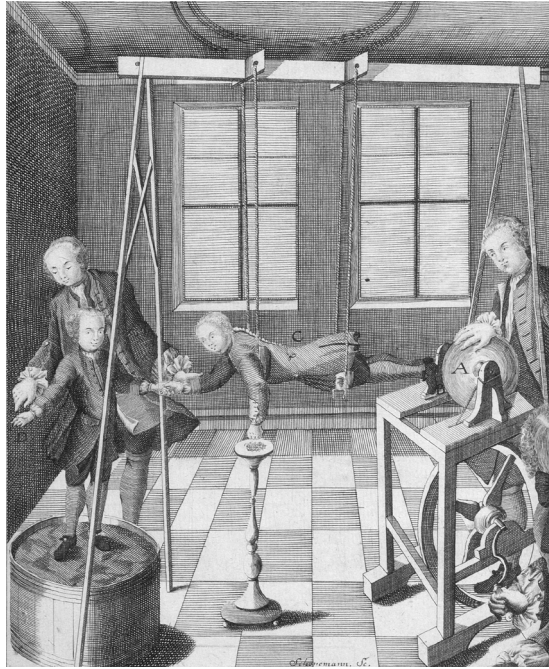
Первым, кто изобрел чувствительный прибор для демонстрации индикации статического электричества (прототип электроскопа), был Уильям Гильберт, врач королевы Елиза-

* Древнегреческий философ и математик. – *Прим. пер.*

веты I. Он использовал его для составления перечня материалов, которые могут электризоваться в результате трения. Гильберт, кроме того, отличал притягивающую силу янтаря от притягивающей силы магнитов и утверждал, что это два разных явления. Гильберт был ученым в полном смысле этого слова и исходил из того, что написанному не следует верить и все нужно проверять экспериментально. Он писал, что «в наш век появилось много книг о скрытых, неясных и таинственных причинах и чудесах, в которых янтарь и гагат представляются как занятные безделушки; однако в них предмет рассматривается лишь на словах, без попыток найти объяснения или доказательства путем экспериментов, такие высказывания еще больше затуманивают вопрос». Таким образом, по его заключению, «вся их философия бесплодна». Слова Гильберта были пророческими — сегодняшние ученые предъявляют те же претензии защитникам астрологии и альтернативной медицины.

Огненные шары

Первый прибор, способный генерировать статическое электричество, создал Отто Герман фон Герике в 1663 г. Он представлял собой шар из самородной серы размером с голову ребенка. Через центр шара проходил деревянный стержень, который лежал на опоре и позволял вращать шар вокруг оси с помощью кривошипного механизма. Когда к вращающемуся шару прижимали сухую руку или кусок ткани, возникал электростатический заряд. Вряд ли фон Герике понимал, что его аппарат генерирует электричество в современном смысле этого слова, однако от него не ускользнула способность шара притягивать пушинки и другие легкие материалы, а также то, что после соприкосновения с шаром пушинки отталкивались от него, и их можно было разогнать по комнате, если снять шар с аппарата. Осторожные манипуляции даже позволяли ему посадить пушинку на другой предмет, например на нос коллеги.



Фронтиспис* книги *Novi propectus in historia electricitatis*, post obitum auctoris Христиана Августа Гаузена (1743 г.) с изображением опыта Стивена Грея с «летающим мальчиком». Справа виден шар фон Герике. Маленький мальчик слева, похоже, стоит на изолирующем барабане и не чувствует электрического удара при соприкосновении с летающим мальчиком. Однако, когда это делает мужчина, летят искры, и через его заземленное тело проходит ток.

Одним из наиболее известных случаев применения аппарата фон Герике был опыт с «летающим мальчиком», поставленный Стивеном Греем в 1730 г. За него Грей был первым удостоен медали Копли, высшей награды Королевского научного общества Великобритании. Ребенка подвешивали на неэлектропроводных шнурах из шелка и заряжали, прижи-

* Страница с изображением, образующая разворот с титульной страницей книги. – *Прим. пер.*

мая ноги к вращающемуся шару из серы. Папиросная бумага, тонкие волокна и другие легкие предметы притягивались к его рукам, и искры летели с них, когда происходил разряд.

Крупные шары из серы было непросто добыть, поэтому позднее в электростатических генераторах стали использовать круглые пластины (или шары) из стекла, которые терлись о неподвижную ткань. В одном из таких аппаратов, изготовленном для императора Наполеона, диаметр пластины достигал 125 см. Современным аналогом такого аппарата является генератор Ван-де-Граафа, который позволяет получить напряжение в миллионы вольт и хорошо известен по зрелищным демонстрациям с «волосами, встающими дыбом».

Удар током

Способа сохранять электростатический заряд не существовало до появления в октябре 1745 г. лейденской банки, которую изобрел немецкий священнослужитель Эвальд Юрген фон Клейст. Всего несколько месяцев спустя нидерландский ученый Питер ван Мушенбрук доложил Парижской академии наук об аналогичном независимом изобретении. Его письмо было переведено Жаном-Антуаном Нолле, аббатом картезианского монастыря в Париже, который и назвал устройство лейденской банкой в честь города Лейден в Нидерландах, где работал Мушенбрук.

Лейденская банка напоминает пустую стеклянную банку из-под джема, внутренняя и наружная поверхность которой примерно на две трети высоты покрыты тонкой металлической фольгой. Через неэлектропроводную крышку в горловину банки вставляется латунный стержень, соединенный с внутренней металлической фольгой цепочкой. Если наружный слой фольги заземлить, то внутренний слой можно зарядить от генератора статического электричества через стержень. Это происходит потому, что стеклянная стенка банки служит изолятором и не позволяет заряду перетекать к на-

ружному слою фольги. Разность потенциалов между двумя слоями фольги может быть очень высокой. Устройство разряжается путем соединения внутреннего и наружного слоя фольги с помощью двух проводников, между которыми при их сближении проскакивает впечатляющая электрическая искра, или, что не рекомендуется, с помощью рук.

Заряд, накопленный в лейденской банке, может быть очень значительным и чрезвычайно опасным, как убедился Мушенбрук. Он написал, что «прикоснувшись правой рукой [к банке], я испытал удар такой силы, словно в меня ударила молния... это было так болезненно, что невозможно описать. Я думал, мне пришел конец». Мушенбрук также сказал, что не согласился бы повторить этот эксперимент, даже если бы ему предложили за него целое королевство, и предостерег других от подобных попыток. Но они все равно продолжались, и результат их был предсказуем. У некоторых наблюдались судороги и даже временный паралич. Один немецкий профессор после того, как получил сильный удар током и разбил нос, стал экспериментировать на своей жене!

Эти эффекты были, конечно, прекрасно известны Жюлю Верну, который описал фантастическое устройство в своем приключенческом романе «Двадцать тысяч лье под водой». В романе капитан Немо объясняет господину Аронаксу, что его подводное ружье стреляет стеклянными капсулами, которые представляют собой «настоящие лейденские банки в миниатюре, несущие электрический заряд высокого напряжения. При самом легком ударе они разряжаются, и животное, каким бы могучим оно ни было, падает замертво». Несмотря на некоторые художественные вольности, автор ясно показывает, насколько опасными считались лейденские банки.

Сила удара электрическим током из лейденской банки поражала экспериментаторов по той причине, что она была намного сильнее эффекта отдельной искры от электростатического генератора. Это объяснялось тем, что банка позволяла накапливать и хранить заряд множества электрических искр,

который затем высвобождался весь сразу. Первоначально считалось, что электричество представляет собой текучую среду, а потому использование бутылок и банок для его накопления было естественным. Однако впоследствии выяснилось, что это не так, и сегодня на смену лейденским банкам пришли конденсаторы. Принцип их работы абсолютно тот же. Они состоят из двух параллельных металлических пластин, разделенных тонким слоем неэлектропроводного материала, например слюды, стекла или воздуха. Величина заряда, который конденсатор способен накапливать, зависит от площади пластин и расстояния между ними и может быть значительной. В первом ускорителе частиц, построенном в 1930-е гг. в Кембриджском университете Джоном Кокрофтом и Эрнестом Уолтоном, использовались батареи конденсаторов, разность потенциалов в которых доходила до миллиона вольт.

Прыгающие монахи

Одна из первых демонстраций воздействия электричества на человека была организована аббатом Нолле. В 1746 г. он велел 200 своим монахам образовать цепь окружностью почти в милю и взяться руками за длинные железные прутья. Когда они выстроились, аббат незаметно присоединил концы цепи к лейденской банке. Результат был очень эффектным, поскольку электрический разряд заставил монахов подпрыгивать поочередно и наглядно показал, что ток течет очень быстро. Французский ученый Лемонье отметил в своих записках, что «было любопытно видеть, как получившие удар током подпрыгивали и вскрикивали». Узнав об этом представлении, король Людовик XV вернулся в Версаль и заставил прыгать 180 солдат, взявшихся за руки. Адам Уокер, известный британский экспериментатор конца XVIII в., пошел еще дальше и хвастался тем, что «наэлектризовал два полка солдат, 1800 человек».

Эти эксперименты стали сенсацией. Публичная демонстрация эффектов электричества превратилась в повальное увлечение, и странствующие лекторы заполнили города. Одним из самых известных организаторов представлений был Бенджамин Мартин, виртуозный затейник, который открыл сезон лекций 1746 г. в английском городе Бат показом ярких электрических разрядов, «удивительных потоков лилового огня». В затемненном помещении они выглядели красочно и необычно. Как и аббат Нолле, он интриговал зрителей тем, что предлагал им взяться за руки и испытать на себе воздействие электрического тока, которое было не «таким сильным и опасным, как их убеждали, и его мог выдержать любой человек (особенно мужчина)». Автор одного из писем того времени отмечал, что эти публичные представления были «общепринятой темой светских разговоров. Аристократки забывали о своих картах и скандалах и рассуждали об эффектах электричества».

Были случаи, когда представителям публики предлагали зарядиться статическим электричеством и зажечь бренди или эфир искрой, срывающейся с пальца. Дамы надевали стеклянные туфли, изолирующие их от земли, заряжались статическим электричеством, и, когда сердечный друг приближался к ним для поцелуя, между губами проскакивала искра. Поцелуй наэлектризованной Венеры, так это называлось, был жгучим. Появилась масса электрических игрушек. Скрытые слова проявлялись на «искровых досках», когда в небольших зазорах проскакивали искры, бумажные балерины оживали в результате притяжения и отталкивания электрических зарядов, «грозовые домики» демонстрировали эффект попадания молнии в здание. Еще более эффектными были пистолеты и игрушечные пушки, которые стреляли под действием тепла, выделяемого электрической искрой.

Многие поначалу относились с подозрением к этим опытам, как и к тем, кто их демонстрировал, — электричество считалось атрибутом высшей силы, манипулирование которым

было богохульством. Другим оно представлялось формой огня, именно поэтому Мэри Шелли дала своей книге подзаголовок «Современный Прометей» – в честь героя древнегреческих мифов Прометея, который украл огонь у богов и отдал его людям². В целом электричество считалось новой «штучкой», любопытной, но не имеющей практического значения. Затем на сцене появился Бенджамин Франклин и коренным образом изменил существовавшие представления. Под его влиянием электричество покинуло салоны и стало разделом науки.

Похищение молнии у небес³

Франклин, по общепринятому мнению, первым показал, что молния – это форма электричества. Его самый известный эксперимент был поставлен в июне 1752 г. Франклин тогда запустил воздушного змея при приближении грозы в стремлении доказать, что молния представляет собой поток электризованного воздуха. На верхушке змея он установил короткий, жесткий, заостренный проводник, привязал металлический ключ к концу удерживающей змея веревки, а к ключу привязал шелковую ленту, чтобы изолировать его от земли. Когда грозовая туча приблизилась, Франклин увидел, что волокна пеньковой веревки встали дыбом, и понял, что веревка наэлектризовалась. Он также обратил внимание на то, что между ключом и его пальцами стали проскакивать искры и что от ключа можно было зарядить лейденскую банку. Франклину повезло, что в него не ударила молния, – это был очень опасный эксперимент.

В действительности, однако, Франклин был не первым среди тех, кто продемонстрировал, что молния является электрическим разрядом. Пальма первенства принадлежит французу Тома-Франсуа Далибару. В мае того же года Далибар установил 12-метровый железный шест толщиной 2,5 см на тщательно изолированном от земли основании из доски,

лежащей на трех винных бутылках, и укрепил его растяжками из шелковых веревок. Во время грозы электрический заряд мог поступать от шеста к лейденской банке. По признанию Далибара на этот эксперимент его вдохновила работа Франклина с описанием «экспериментов и наблюдений» за электричеством, в которой американец выдвигал предположение, что такой заостренный шест должен притягивать молнию из облака, и советовал, как экспериментатору избежать опасности. Опыт Далибара произвел сенсацию в Европе и вызвал у многих желание повторить его. К сожалению, не все были так осторожны и удачливы, как Далибар. Год спустя во время экспериментов с молнией и проводниками от удара током погиб российский ученый Георг Вильгельм Рихтер. Его трагическая гибель запечатлена в возвышенной поэме Эразма Дарвина (деда более известного Чарльза Дарвина):

...И в изумленье наблюдая
Серебряные струи, сапфировое пламя;
Как вдруг, взорвавши сталь, электрическое жало
Сразило мудреца, и смерть его настала!

В Мемориале Франклина в Филадельфии высечено мудрое изречение этого политического деятеля и ученого: «Если вы не хотите, чтобы о вас забыли сразу после смерти, напишите что-нибудь достойное прочтения или сделайте что-нибудь, о чем будут писать». Сам Франклин сделал и то и другое. Одним из его не теряющих ценности изобретений является молниеотвод. Зная, что молния – это разновидность электрического разряда и что она бьет в самые высокие точки, он рекомендовал устанавливать на «самых высоких частях зданий вертикальные железные стержни, заостренные, как иглы, и позолоченные, чтобы не ржавели, и пропускать снаружи здания проволоку от нижнего конца этих стержней до земли». Такие заостренные стержни, по его разумению, должны безопасно отводить электрический разряд в землю, предотвращая повреждение здания, или, как он

более возвышенно выразился, «защищать нас от самой неожиданной и ужасной беды!».

Поначалу идея Франклина получала поддержку не везде. Одни говорили, что молниеотвод будет притягивать молнии к зданию и повышать опасность. Другие считали, что это бесцеремонное вмешательство в волю Божию. Во времена Франклина многие видели в молнии наказание Божие за грехи. Франклин утверждал, что в молнии «не больше сверхъестественного, чем в дожде, граде или солнечном свете, от которых мы защищаемся с помощью крыш и навесов без всяких сомнений». Его аргументы и явная ценность изобретения вскоре привели к тому, что молниеотводы появились на большинстве пороховых погребов и даже на соборах.

В Англии, однако, все было не так просто. Там развернулся ожесточенный спор между теми, кто соглашался с идеей заостренного стержня на конце молниеотвода, и теми, кто считал более предпочтительным круглый набалдашник на том основании, что заостренный наконечник чересчур эффективно притягивает молнии. Автором второй идеи был Бенджамин Уилсон. Он развернул активную кампанию против Франклина и приобрел влиятельных друзей. Спор достиг критической точки в 1777 г., когда в пороховой погреб Артиллерийского управления в Пурфлите на Темзе ударила молния и выбила несколько кирпичей. Заостренные стержни, установленные там в соответствии с рекомендацией Франклина и его коллег, не защитили здание. Уилсон воспользовался этим событием и устроил феерическое зрелище, призванное доказать опасность высоких шпилей и предпочтительность низких тупых набалдашников. Демонстрация проходила в присутствии короля Георга III и многих министров, на которых аргументы Уилсона произвели сильное впечатление. К тому же все это происходило во время войны за независимость в Америке, которая придавала вопросу политическую окраску. То, что начиналось как научное разногласие, быстро превратилось в непримиримую вражду между сторонниками

британских тупых набалдашников и американских остроко-
нечных стержней. Уилсон играл на этом и заявлял, что па-
триотический долг британцев – отказаться от изобретения
врага. Сторонники Франклина отвечали не менее язвитель-
ными политическими нападкамии. В спор вмешалось Королев-
ское научное общество, которое после серии экспериментов
пришло к заключению, что прав Франклин. Король Георг, од-
нако, принял сторону Уилсона, приказал снять заостренные
стержни со всех королевских дворцов и зданий Артиллерий-
ского управления и потребовал от Королевского научного об-
щества изменить заключение. Джон Прингл, президент Коро-
левского научного общества, отказался подчиниться, заявив,
что «долг и ответственность всегда побуждают меня прила-
гать все силы для исполнения королевской воли; но “сир...
я не в состоянии изменить законы природы”». Король в от-
вет предложил ему уйти в отставку. Вскоре после этого один
из сторонников Франклина написал следующую эпиграмму:

Пока король Георг, довольный сам собою,
Все острое вокруг меняет на тупое,
В стране единства нет:
Франклина курс верней,
Тем лучше молниезащита,
Чем проводник острей.

Нельзя было назвать гладким процесс внедрения молние-
отводов и во Франции. Месье де Виссери из Арраса было при-
казано снять молниеотвод, который он установил на трубе
своего дома. Он обжаловал это решение. К тому времени,
когда дело дошло до суда последней инстанции в 1783 г., че-
рез три года после начала спора, оно стало темой для разго-
воров в Париже и приобрело политическое значение. Никому
не известный адвокат Максимилиан Робеспьер сделал себе
имя, встав на защиту науки от предрассудков и выиграв это
дело. Он исходил из того, что если теория требует экспертов
для ее интерпретации, то факты нет. Десять лет спустя Нацио-

нальный конвент, возглавляемый Робеспьером, использовал аналогичную аргументацию, чтобы избавиться от правительственных экспертов и всех национальных академий и литературных обществ. Робеспьер известен как инициатор «большого террора», в период которого были казнены многие французские аристократы. Не исключено, что без успеха в защите месье де Виссери и его молниеотвода Робеспьер так и не попал бы в Париж и история Франции пошла бы по иному пути.

В наши дни практически на всех высоких зданиях можно увидеть молниеотводы того типа, который предлагал Франклин. Они отводят электрический ток в землю и обеспечивают надежную защиту. На крупных сооружениях устанавливают несколько молниеотводов. На соборе святого Павла в Лондоне, например, они размещены с равными интервалами по всему периметру крыши. И это не прихоть: в небоскребе Empire State Building в Нью-Йорке регулярно попадают молнии, наглядно доказывая ошибочность расхожего представления о том, что молния никогда не попадает в одно и то же место.

Франклин говорил, что во время грозы неразумно прятаться под одиноко стоящим деревом, поскольку оно может притянуть к себе молнию. Он также указывал на то, что мокрая одежда имеет низкое сопротивление и позволяет электрическому току уйти в землю по поверхности тела, а не через него. Именно поэтому, отмечал он, «мокрую крысу нельзя убить разрядом из лейденской банки, а сухую можно». Это соображение позволяет объяснить известный случай, когда один юноша остался невредимым после удара молнии. На нем в тот момент был плащ (дождевик), который намок от сильного дождя. Отец, видевший, что произошло, поспешил доставить сына в больницу, но мальчика через час отпустили, поскольку никаких вредных для здоровья последствий у него не нашли. Большинству людей везет намного меньше, и количество погибших и пострадавших от ударов молнии исчисляется сотнями каждый год.

Гром среди ясного неба

Молния зарождается в дождевых облаках, тех кучевых облаках в форме наковальни с вздымающимися краями и плоской нижней частью, которые образуются при подъеме теплого влажного воздуха на такую высоту, где достаточно холодно, чтобы вода замерзла. В таких грозовых облаках частицы льда и капли воды непрерывно соударяются под действием завихрений воздуха. Крошечные кристаллы льда при этом приобретают положительный заряд и поднимаются к верхней части облака, а более массивные частицы льда и снега величиной с небольшие градины заряжаются отрицательно и опускаются вниз. В результате происходит разделение зарядов, и верхние слои облака приобретают положительный заряд, а нижние – отрицательный. Разность потенциалов между отрицательными нижними слоями облака и землей может достигать 100 млн вольт. В некоторых точках разность потенциалов настолько велика, что происходит пробой воздуха, и между облаком и землей возникает электрическая дуга, которую мы называем молнией*. Она длится всего лишь доли секунды. Изредка молния рождается в верхней части облака. Такая «положительная молния» очень опасна, поскольку может ударить в землю за много километров от места рождения, где нет облаков и ярко светит солнце. Она становится полной неожиданностью – воистину громом среди ясного неба.

Молния распространяется очень быстро – со скоростью до 60 000 м/с, а ее температура достигает 30 000 °С, что в пять раз выше температуры поверхности Солнца. Она имеет среднюю длину порядка 4 км и диаметр всего 1 см. Каждая молния фактически представляет собой несколько разрядов, которые происходят слишком быстро, чтобы наш их глаз различал их. По этой причине молния кажется мерцающей. В результате

* Молния чаще всего бьет из облака в землю, но бывают и такие, которые проскакивают от облака к облаку, а иногда от земли к облаку. Со спутников видно молнии, бьющие из облаков вертикально вверх. – *Прим. науч. ред.*

удара молнии высвобождается энергия, равная энергии детонации тонны тринитротолуола, а интенсивный нагрев порождает взрывообразное расширение воздуха. Когда расширяющийся воздух преодолевает звуковой барьер, мы слышим раскаты грома. Хотя гром и молния возникают одновременно, мы слышим раскаты с запозданием в зависимости от расстояния из-за того, что свет распространяется намного быстрее звука — 300 000 км/с по сравнению с 0,3 км/с.

Поражение молнией

Если вам не повезло и в вас попала молния, то часть электрического тока пройдет по поверхности, а часть — через тело в пропорции, определяемой сопротивлением. Прохождение тока по поверхности менее опасно, и люди, которые остались в живых после удара молнии, скорее всего, испытали «поверхностный разряд». Если вы намокли под дождем, то вода может превратиться в пар, способный сорвать одежду и обжечь кожу. Ток, проходящий через тело, может вызвать серьезные внутренние повреждения. У многих поражение молнией вызывает остановку сердца. В таких случаях необходимо немедленно начать непрямой массаж сердца и искусственное дыхание во избежание повреждения головного мозга (после поражения молнией люди теряют заряд, и прикасаться к ним не опасно). Если у пострадавшего поражен дыхательный центр в мозге, то он перестает дышать. Бывали случаи, когда люди не могли дышать самостоятельно до 20 минут после удара молнии, хотя их сердечная деятельность восстанавливалась. Это говорит о том, что очень важно продолжать искусственную вентиляцию легких пострадавшего, который внешне кажется мертвым. Очень часто при поражении молнией наблюдается неврологическая симптоматика, например потеря сознания, потеря ориентации, потеря памяти и частичный паралич, особенно нижних конечностей. В числе других последствий можно назвать потерю слуха,

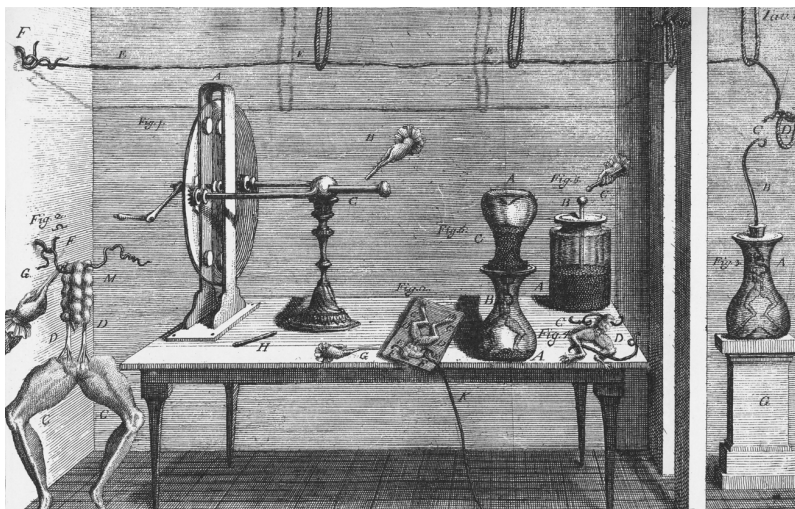
потерю зрения, расстройство сна и сильные ожоги. Электрический ток также вызывает сокращение мышц. Именно поэтому люди подпрыгивают или отлетают от стены при ударе. Поскольку все мышцы сокращаются одновременно, они подбрасывают человека в воздух.

Повелитель танцующих лягушек

Удивительные эффекты электрического разряда, наблюдаемые при работе электростатических генераторов и ударе молнии, заставили многих экспериментаторов XVIII в. задуматься над его физиологическими последствиями. В их числе был и выдающийся итальянский ученый Луиджи Гальвани, первым открывший «животное электричество». Хотя Гальвани первоначально намеревался принять духовный сан, родителям удалось убедить его заняться медициной, и к 1762 г. он получил звание профессора анатомии в своем родном городе Болонье. Как и многих других ученых того времени, Гальвани интересовало статическое электричество, и в 1780 г. он начал исследовать его воздействие на мышечную ткань. В устроенной прямо дома лаборатории ему помогала небольшая исследовательская группа в составе его жены Лучи и двух племянников, Камилло и Альдини.

В своем дневнике Гальвани сделал 26 января 1781 г. запись о том, что, когда его ассистент прикоснулся металлическим инструментом к нерву лапки недавно умерщвленной лягушки, все мышцы лапки резко сократились. Это, однако, происходило только в момент проскакивания искры, генерируемой электрической машиной. Гальвани повторял эксперимент много раз и при разных условиях и неизменно получал один и тот же результат. Как следствие он выдвинул гипотезу, что именно электрическая искра заставляет мышцы сокращаться. Это заставило Гальвани задаться вопросом: сможет ли и молния вызвать сокращение мышц лягушки? Для проверки он с помощью своего племянника Камилло

присоединил к нерву лягушачьей лапки длинную проволоку, которая была связана с металлическим стержнем на крыше его дома. Как и ожидалось, лапка лягушки резко дернулась, когда во время грозы над домом сверкнула молния.



На гравюре 1 из «Трактата о силах электричества при мышечном движении» Гальвани показаны несколько препарированных лягушачьих лапок. На столе слева расположен электростатический генератор, а справа – лейденская банка. Небольшие изображения кисти руки с кружевной манжетой, указывающие на инструменты, которые смахивают на атрибуты из фильма о Монти Пайтоне*, – обычный прием указания на что-либо в эпоху Возрождения.

Как очень методичный исследователь, Гальвани повторил эксперимент для контроля в тихий день. На этот раз он подвесил лягушачьи лапки к чугунной ограде своего балкона с помощью медных крючков, пронизывавших спинной мозг. Поначалу ничего не происходило. Потеряв терпение, Гальвани стал дотрагиваться до лапок. К его удивлению, они начали часто и самопроизвольно подергиваться, при этом сокраще-

* Фильм «Монти Пайтон и священный грааль», Великобритания, 1975 г. – Прим. пер.

ния не зависели от изменения погоды, а происходили, когда крючки прижимали к ограде.

Гальвани воспринял такой результат как свидетельство того, что клетки живого существа не только возбуждаются электричеством, но и сами могут генерировать его. Он предположил, что именно электрическое (само) возбуждение приводит к сокращению мышц. В 1791 г. Гальвани написал о своем открытии в «Трактате о силах электричества при мышечном движении», где утверждал, что животное электричество отличается по своему характеру от электричества, возникающего при ударе молнии или вырабатываемого электростатическим генератором, и настаивал на том, что «электричество присуще самому животному». Гальвани отпечатал несколько экземпляров трактата за свой счет и разослал их коллегам, в том числе своему другу и земляку Алессандро Вольта, профессору физики в университете Павии.

В первый момент коллеги приняли идеи Гальвани прохладно, однако, повторив его эксперименты, они получили те же результаты. Кончилось все тем, что живые лягушки стали дефицитом, и год спустя после публикации работы Гальвани Эзуебио Валли жаловался своему коллеге: «Мне нужны лягушки. Вы должны найти их. Если вы не найдете их, я никогда не прощу вам этого. Обращайтесь ко мне без церемоний, ваш покорный слуга, Валли».

Эксперименты заставили Вольта, который поначалу согласился с выводами Гальвани, пересмотреть взгляды. Он стал настаивать на том, что причиной подергивания мышц, наблюдаемого Гальвани в отсутствие внешнего стимулирования электрическим током, было не внутренне животное электричество. По его умозаключению (и оно было правильным), подергивания вызывал электрический ток, который возникал при соприкосновении двух разных металлов – чугунной ограды балкона и медных крючков, связанных с нервом лягушачьей лапки. Это вызвало жаркий спор между двумя учеными о том, какой была причина возбуждения мышц – биологической или физической.