



Книжные проекты Дмитрия Зими́на

Эта книга издана в рамках программы
“Книжные проекты Дмитрия Зими́на”
и продолжает серию
“Библиотека фонда “Династия””.
Дмитрий Борисович Зимин —
основатель компании “Вымпелком” (*Beeline*),
фонда некоммерческих программ “Династия”
и фонда “Московское время”.

Программа “Книжные проекты Дмитрия Зими́на”
объединяет три проекта, хорошо знакомых
читательской аудитории:
издание научно-популярных
книг “Библиотека фонда “Династия””,
издательское направление фонда “Московское время”
и премию в области русскоязычной
научно-популярной литературы
“Просветитель”.

Подробную информацию
о “Книжных проектах Дмитрия Зими́на”
вы найдете на сайте

ZIMINBOOKPROJECTS.RU

Содержание

Вступление	11
ЧАСТЬ 1 Начала биоэлектричества	29
1. Искусственное и животное: Гальвани, Вольты и борьба за электричество	31
2. Эффектная псевдонаука: падение и подъем биоэлектричества	64
ЧАСТЬ 2 Биоэлектричество и электром	89
3. Электром и биоэлектрический код: как понять электрический язык тела	91
ЧАСТЬ 3 Биоэлектричество в мозге и теле	121
4. Электрификация сердца: о пользе наших электрических сигналов	123
5. Искусственная память и имплантируемые сенсоры: в поисках нейронного кода	135
6. Лечащие искры: загадка регенерации спинного мозга	180
ЧАСТЬ 4 Биоэлектричество в рождении и смерти	219
7. В начале: электричество, которое нас создает и восстанавливает	221
8. В конце: электричество, которое нас разрушает	253
ЧАСТЬ 5 Будущее биоэлектричества	285
9. Меняем кремний на кальмаров: “био” в биоэлектронике	287
10. Улучшаем нашу электрификацию: электрохимия для нового мозга и нового тела	314
Благодарности	349
Примечания	353

ЧАСТЬ 1

Начала биоэлектричества

*Помни: гибель героя — предлог для его бытия.
Гибель героя последним рождением станет.*

РАЙНЕР МАРИЯ РИЛЬКЕ, “Элегия первая”*

Обычно трудно целиком воссоздать историю возникновения какой-то современной ситуации, исходя из сложной смеси культурных и хронологических фактов. Но противоречивое отношение к биоэлектричеству совершенно очевидно вызвано цепью причинно-следственных связей: это и жестокая битва, способствовавшая разграничению науки на составляющие ее современные дисциплины, и противостояние биологов и физиков в смертельной схватке, в конечном итоге определившей победителя за право приватизации электричества. Биологи проиграли, физики выиграли, и последствия сказывались на развитии науки на протяжении двух сотен лет. Этот раскол на глубочайшем уровне определил отношение следующих поколений ученых к роли электричества в биологии.

* Перевод В. Микушевича.

Глава 1

Искусственное и животное: Гальвани, Вольта и борьба за электричество

Алессандро Вольта был чрезвычайно удивлен. Он держал в руках только что напечатанную работу, автор которой утверждал, что разгадал древнейшую тайну: какое вещество протекает через тела всех живых существ и определяет любое их движение и намерение?

Ответ — электричество.

Вольта — сухощавый подвижный человек, любивший роскошные высокие воротники, с непослушной густой черной шевелюрой, беспрестанно атаковавшей лоб, — был готов проверить заявление автора. Чуть больше десяти лет назад, в 1779 году, он получил должность руководителя отдела экспериментальной физики в Университете Павии, после того как создал новый инструмент, являвшийся готовым источником статического электричества. Это изобретение было взято на вооружение многими учеными (и предвосхищало появление устройства, сохранившего имя Вольты для истории), но их негромких разрозненных аплодисментов Вольте было недостаточно. Он жаждал новых похвал. Он этого заслуживал. Он двигался вверх, посещал самые важные научные центры и создал влиятельную сеть протекции, состоявшую не только из ученых, но и из политиков и других представителей высших слоев итальянского общества. Он готов был провозгласить себя одним из мировых авторитетов в изучении противоречивого, нового, модного и загадочного явления электричества.

Электричество было (и остается) природной силой, загадки которой тогда только начинали интересовать научный мир. Никто толком не понимал суть этих невидимых токов. Небесное электричество било и иногда убивало людей; и все еще не был решен вопрос, не та же ли это сила, которая позволяет некоторым рыбам оглушать своих жертв. В то время электричество только-только выходило из ряда забавных фокусов и смехотворных измышлений (например, считалось, что мужчины с большим зарядом электричества производят искры при сексуальном контакте). Лишь незадолго до этого появились первые простейшие инструменты, позволившие перейти от диких предположений к серьезному научному исследованию и эксперименту. Изобретателей этих устройств в XVIII веке можно сравнить с современными рок-звездами. Среди них был и Вольта, снискавший репутацию восходящей звезды среди ученых, превращавших тайны электричества в эмпирические истины. Некоторые коллеги-физики называли его “Ньютоном электричества”¹. И вот теперь автор статьи анатом Луиджи Гальвани заявлял, что обнаружил биологический вариант электричества.

Гальвани был нелюдимым мужланом из той части Италии, где лишь недавно появились инструменты, позволившие включиться в быстро развивавшиеся научные исследования. Рукопись этого набожного акушера была написана очень простым языком. *И этот человек* утверждал, что обладает высшими знаниями о предмете, в котором еще не разобрались величайшие умы в мире философии и науки!

Из рукописи было ясно, что Гальвани понимал размах своего заявления. “Мы не могли предположить, что судьба будет настолько благосклонна, что позволит нам быть первыми, кто коснулся электричества, спрятанного в нервах”, — писал он в предисловии с волнением и предчувствием². На самом деле эти слова Гальвани стали впоследствии причиной многих его несчастий.

Почему же заявление Гальвани о том, что тело оживляется каким-то видом электричества, вызвало такое возмущение? Чтобы понять причину негодования Вольты, нужно знать, что в конце 1700-х годов биология чрезвычайно сильно отставала от физики.

Научная революция в Европе перевернула представление ученых о физическом мире, сбросив оковы признанных догм и заменив их проверяемыми законами и предиктивными уравнениями. Коперник и Галилей сместили нашу планету из центра мироздания в непримечательный уголок космоса. Кеплер открыл законы движения планет вокруг Солнца, занявшего теперь центральное положение. Благодаря этому Ньютон вывел закон гравитации и объяснил падение тел на Земле.

Но в биологии открытий такого масштаба³ было очень мало. В науке о живых существах многообещающий век закончился тупиком. Физиологи с помощью микроскопов могли разглядывать миниатюрный мир бактерий, клеток крови и дрожжей. Анатомы составляли подробные карты нервов, протянутых до всех окончаний тела. Стало понятно, что эти нервы тесно связаны с нашей способностью двигать конечностями. Но каким образом? В конце 1700-х годов ученые по-прежнему почти ничего не знали о механизмах, позволяющих человеку ходить, говорить, сгибать пальцы рук и ног, чувствовать и расчесывать раздраженные участки кожи. Как нематериальная душа управляет движениями живой машины? Ни у кого не было и намека на ответ.

Сказать, что понимание этих явлений в XVII оставалось на уровне темных веков, значит не сказать ничего. Такое понимание сложилось гораздо раньше, еще во времена Клавдия Галена — блестящего и авторитетного римского врача и философа II века⁴. Теории Галена на следующие полторы тысячи лет определили суть философских рассуждений о том, что протекает по нашему телу и позволяет нам двигаться и мыслить.

Идеи Галена сформировались на основании столетних рассуждений в аристотелевском духе, которые он уточнял по мере вскрытия многочисленных трупов. Гален заключил, что нервы представляют собой полые трубки, переносящие волю человека с помощью нематериального вещества, названного *pneuma psychikon* (*animal spirits*, животный дух), заставляющего действовать мышцы и конечности. Слово “животный” в данном случае употреблено не в зоологическом смысле: *anima* — латинский перевод греческого слова *psyche*, означающего жизнеспособность. По мнению Галена, этот дух образуется в результате сложных серий превращений внутри тела: он начинается в печени, очищается в сердце, вступает в реакцию с воздухом при дыхании и, наконец, отправляется в соответствующий центр в мозге¹. При необходимости совершить движение мозг выступает в роли гидравлического насоса, накачивая животный дух в полые нервы для распределения по всем движущимся и чувствующим частям тела. При продвижении от мозга к мышцам этот дух вызывает мышечное сокращение, а обратно переносит ощущения.

За исключением некоторых дополнительных барочных украшений эта догма в целом оставалась неизменной как минимум на протяжении последующих 1300 лет. Любой теоретический прогресс в данной области достигался за счет не экспериментальных наблюдений, а философских рассуждений. Например, в середине 1600-х годов автор идеи о дуализме души и тела Рене Декарт предположил, что животный дух по составу ближе не к “огненному воздуху”, а к жидкости, подобной воде, движущей механическое устройство. Врачи продвинулись ненамного дальше. Сицилийский физиолог и врач Альфонсо Борелли предположил, что животный дух — не жидкость, а скорее очень активный щелочной “сок” — он назвал его нервным соком (*Succus nervens*) — и этот сок просачивается из нервов при малейших пертурбациях. При взаимодействии сока с кровью в мышцах происходит возбуждение окружающих тканей.

Все подобные объяснения упирались в одну и ту же проблему: вскоре после изобретения микроскопа в XVII веке стало совершенно ясно, что нервы не могут быть полыми. И это означало, что за движение конечностей не мог отвечать ни животный дух, ни нервный сок. Но хотя первые микроскопы были достаточно мощными, чтобы вытеснить идею о нервных трубках, их разрешения все еще не хватало для более точного определения структуры нервов. И в результате главный вопрос оставался без ответа: как можно переносить что-то по телу без помощи трубок? Постепенно этот вакуум стал заполняться новыми теориями.

Отсутствие доказательств открыло дорогу самым разным идеям — от весьма правдоподобных до самых невероятных. Исаак Ньютон выдвинул гипотезу о том, что сигналы от мозга передаются по нервам с помощью вибраций, подобных вибрациям гитарной струны. На другом краю спектра находилась гипотеза врача из терм в Бате Дэвида Киннейра (в расцвет популярности лечения на водах в Англии при термах работали врачи, которые прописывали пациентам индивидуальный режим питья и купания — естественно, за солидную плату). В 1738 году он выпустил трактат, в котором предположил, что животный дух перемещается с кровью, а лечебная вода помогает разблокировать сосуды, которые ее переносят⁶.

Следует заметить, что до начала XIX столетия наука гораздо слабее разграничивалась дисциплинарными рамками. Тогда от людей, занимавшихся изучением природы, не требовалось соблюдения жестких границ конкретных дисциплин — в значительной степени по той причине, что этих дисциплин еще просто не существовало. Они появились позже. Вообще говоря, ученых еще даже не называли учеными. Люди, занимавшиеся изучением мира природы, называли свою деятельность натурфилософией или иногда экспериментальной философией. Типичным представителем такого архетипа был Александр фон Гумбольдт, который путешествовал по миру и занимался всем, что ему нра-

вилось. Такие люди, как он и Гальвани, могли изучать любой предмет, завладевший их интересом, и это могли быть (и были) столь разные предметы, как структура кости, сравнительная анатомия или электричество.

Наименее четко была определена граница между физикой и науками о жизни. Пересечение этой границы было нормой. Попробуйте классифицировать людей, занимавшихся биологией в XVIII веке, и вы обнаружите среди них абсолютно всех — от радикальных теологов до врачей. Но одно было ясно: врачи (которым отводилась роль предписания практических снадобий) не пользовались большим уважением, что объяснялось растущим осознанием пробела между их ученым видом и реальной способностью избавлять от болезней.

Новая надежда

В начале XIX века люди знали о своих телах ненамного больше, чем за тысячу лет до этого. Тем временем научная революция способствовала все более углубленному изучению электричества.

Подобно животному духу, на протяжении столетий электрические явления тоже подвергались изучению, но при этом оставались необъяснимыми. Например, древние греки обнаружили странные камни, которые с помощью какой-то невидимой силы притягивали к себе металлы. Они также знали, что молния способна убить человека при попадании. Было известно, что электрический угорь поражает добычу сильным ударом. А еще был обнаружен янтарь — смола, в которую попадались насекомые и которая тоже имела странное свойство притягивать пылинки и пух подобно тому, как камни притягивали металл. Если сильно потереть янтарь, можно услышать треск и увидеть искру. Однако до XVII столетия никаких общих теорий для объяснения этих наблюдений не существовало.

Слово “электричество” возникло задолго до того, как мы узнали о роли этого явления в перечисленных выше процессах. В 1600 году этот термин предложил Уильям Гилберт, которого (с учетом моего предыдущего замечания о разграничении дисциплин) можно назвать одновременно и врачом, и физиком, и натурфилософом. Слово “электричество” образовано от древнегреческого слова *elektron*, означающего “янтарь”, что связано с уникальной и таинственной способностью янтаря вызывать искру.

Научная революция в значительной степени способствовала усовершенствованию методов исследования электрических явлений. В 1672 году Отто фон Герике изобрел первое устройство, позволившее ученым самим производить электричество: этот “электростатический генератор” представлял собой стеклянный шар, который накапливал небольшой электрический заряд после того, как его натирали шелковой тканью. Если потом дотронуться до шара, вас ударит током (отсюда, вообще говоря, и происходит термин “статическое электричество”: шар удерживал электричество на поверхности, оно никуда не двигалось — оно находилось в “статическом” состоянии). Электростатические генераторы позволяли накапливать электричество и производить более сильные разряды, чем янтарь, и люди впервые смогли выбирать, как, когда и куда направить эти разряды. Следом появились другие инструменты, и некоторые из них позволяли заряжать генератор с помощью ручки, так что не нужно было утомлять руки, натирая шар шелком. Более крупные стеклянные трубки создавали более мощные разряды. Удар от такого разряда был несильным, но достаточным, чтобы положить начало столетию искусства новых игр — от “поцелуя Венеры”, когда наэлектризованная женщина при поцелуе была джентльмена по губам электрическим током, до развлечения маленьких мальчиков, которые, как по волшебству, притягивали к себе кусочки бумаги и другие мелкие предметы.

Но все подобные генераторы имели одно и то же ограничение: при прикосновении к ним запас накопленного статического электричества высвобождался полностью и одновременно (то же самое происходит, когда вы беретесь за ручку двери и испытываете резкую боль от электрического разряда). Возможности запастись электричеством для последующего использования еще не было.

Примерно через сто лет после изобретения первых электростатических генераторов несколько ученых независимым образом пришли к мысли о создании специальных емкостей, которые могли бы “откачивать” из генератора загадочное невидимое вещество и запастись его. Чтобы избежать решения щекотливого вопроса об авторстве открытия, новое изобретение назвали лейденской банкой, что негласным образом отдавало пальму первенства Питеру ван Мушенбруку, который проделал значительную часть работы в одноименном голландском городе. Ученые соревновались в том, кто сможет накопить в таких банках больше электричества, и из-за этого, как нетрудно догадаться, случались беды. Однажды, когда ван Мушенбрук заряжал лейденскую банку, та взорвалась в его руках, как перегруженный чемодан. Удар был настолько сильным, что частично парализованный физик провел в постели два дня.

По мере того как люди учились заряжать все более и более емкие сосуды, демонстрация лейденских банок становилась все более захватывающей. Например, толпу из двухсот монахов, соединенных между собой металлической проволокой, ударило током от одной лейденской банки. А еще появилась популярная шутка, в рамках которой специально изготовленный бокал для вина заряжали электричеством к большому удовольствию гостей на пикнике (и к меньшему удовольствию несчастной жертвы)⁷. Хотя представителям высшего общества эти эксперименты нравились, они считали электричество лишь новой игрой, и никто даже не предполагал, что эти фокусы могут принести пользу, пока в сере-

дине 1740-х годов шотландский циркач Доктор Спенсер не послал свой аппарат в филаделфийскую резиденцию молодого Бенджамина Франклина⁸.

В заслугу Франклину часто ставят то, что он единолично превратил электричество из забавы в науку. И хотя реальная история была несколько сложнее, знаменитый опыт Франклина с воздушным змеем действительно положил начало процессу унификации, доказавшему, что разные электрические предметы и явления, включая молнию, янтарь и электростатические генераторы, являются лишь разными проявлениями действия одной и той же невидимой субстанции.

Знаменитый эрудит и политик Франклин относился к числу первых исследователей, пытавшихся создать общую теорию электричества, которая связала бы “природное электричество” (молнию) с субстанцией, производимой генератором и запаасаемой в лейденской банке (“искусственное электричество”). Однажды во время грозы он привязал ключ к длинной бечевке, свисающей с воздушного змея. Если бы ему удалось зарядить лейденскую банку с помощью молнии, он бы доказал свою гипотезу. Это был чрезвычайно опасный эксперимент, но он сработал так гладко, что о нем все еще заставляют читать детей в школе. Вывод был однозначен: молния — это электричество.

Эксперимент Франклина имел последствия огромной важности и помог проложить путь новым знаниям, сформировавшим область науки, последователи которой стали называть себя электриками (тогда это слово имело гораздо более возвышенный оттенок, “электрики” XVIII века были сродни современным ракетостроителям). Кроме того, электричество стали воспринимать как невидимую жидкость, которую можно собрать в банку и которая может преодолевать большие расстояния и перемещаться по проводам — неважно, полым или нет.

Где еще было электричество? Люди начали задавать себе вопрос, не родственна ли эта “нематериальная жидкость” занимавшему умы общественности животному духу.

В 1776 году эта идея нашла первое подтверждение благодаря экспериментам Джона Уолша с электрическими угрями.

Уолш был классическим натурфилософом: полковник, член палаты общин, состоятельный во всех отношениях человек. Он вращался в тех же кругах, что и Франклин, который тоже начал интересоваться электрическими рыбами. Когда были описаны электрические органы рыб, Франклин счел, что удар, который наносят эти существа, является еще одним проявлением электричества, и поэтому убедил Уолша “направить свою научную энергию” (читай: выделить часть своего огромного состояния) на проведение экспериментов, доказывающих реальность “рыбьего электричества”⁹.

Для этого требовалось поместить электрическую рыбу в темную комнату и заставить произвести удар — в надежде, что при этом появится видимая вспышка. Это было бы прямым доказательством, “дымящимся пистолетом”. Невероятно, но, по-видимому, Уолшу это удалось. В нескольких исторических документах приводятся свидетельства людей, присутствовавших на демонстрации в 1776 году, которые подтверждают, что электрические угри и впрямь электрические. В газете *British Evening Post* писали о “ярких вспышках”.

Хотя данный эксперимент не является прямым доказательством связи между “рыбьим электричеством” и какими-либо процессами в человеческом организме, идея уже зародилась: возможно, нервы и мышцы тоже приводятся в действие какой-то формой электричества. Если угорь может производить искры, может быть, и мы создаем наши внутренние искры?

Именно так электричество настигло Луиджи Гальвани.