

537
P15

P174268

М. И. РАДОВСКИЙ

ГАЛЬВАНИ
И
ВОЛЬТА



1 9 4 1



М. И. РАДОВСКИЙ

ГАЛЬВАНИИ и ВОЛЬТА

К 150-ЛЕТИЮ ОТКРЫТИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

С ПРЕДИСЛОВИЕМ
акад. В. Ф. МИТКЕВИЧА



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1941 ЛЕНИНГРАД

ЭЭ-10-5(4)-3
Учетный № 2

Редактор инж. *А. Д. Смирнов*

Издание первое	Объем автор. лист. 4,26.
Подписано к печати 30/V 1941 г.	Печ. лист. 5,75
Тираж 10 000 экз.	В печ. л. знаков 33 552.
Л115747 г.	Цена 2 р. 40 к.

13-я тип. ОГИЗ РСФСР треста «Полиграфкнига». Москва,
Денисовский, 30.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Конец XVIII века ознаменовался великим открытием в области электрических явлений, положившим начало учению об электрическом токе, возбуждившим длинный ряд дальнейших научных изысканий и приведшим в конце концов к современному развитию всевозможных практических применений электрической энергии, которые внесли глубочайшие изменения в материальную базу человеческого общества.

Имена Гальвани и Вольты почитаются всем культурным миром как имена ученых, своим долголетним и упорным трудом прошедших первый, самый трудный этап в истории электротехники. Роли этих двух ученых, строго говоря, не были равноценны. Гальвани сделал наблюдения, но не был в состоянии разобраться в них. Вольт, который повторил опыты Гальвани и, всячески разнообразив обстановку эксперимента, анализировал результаты его, ближе подошел к объяснению наблюдений своего предшественника, четко осознал явление электрического тока и, что особенно важно, изобрел химический генератор электрической энергии, обычно называемый теперь гальваническим элементом.

В высокой степени замечательно то обстоятельство, что по существу с явлением электрического тока сталкивались все исследователи, в течение долгого времени работавшие в области так называемой электростатики. Ведь всякое экспериментирование с электризацией тел

неизбежно было связано с изменением электрического состояния, т. е. с электрическим током, но никто из экспериментаторов этого практически не замечал или почти не замечал и, во всяком случае, никто до Вольты не осознавал, что физическое явление, связанное с перемещением электричества, качественно отличается от состояния наэлектризованности самого по себе. Еще в 40-х годах XVIII века Лемонье предпринимал исследования передачи заряда лейденской банки на сравнительно большие расстояния — до 2 км, т. е. фактически имел дело с электрическим током (правда, кратковременным) в длинном проводе. Примерно в это же время Вениамин Франклин в ряде своих опытов также имел дело с электрическим током и даже произвел первый в мире опыт передачи электрической энергии на некоторое расстояние, приводя в непрерывное вращение своеобразный электродвигатель (основанный на попеременном притяжении и отталкивании электрических зарядов). И Лемонье, и Франклин, и многие другие экспериментаторы, несомненно, имели перед собой явление электрического тока всякий раз, когда от примитивной электрической машины заряжали какое-либо тело или лейденскую банку. Однако необходимо было пройти этап исследований, связываемых с именами Гальвани и Вольты, для того, чтобы вполне созрело представление об электрическом токе и это физическое явление заняло, наконец, подобающее ему место в области учения об электрических явлениях вообще. Заслуга Гальвани заключается в том, что он, хотя и неправильно истолковал свое открытие, но упорно и настойчиво в течение многих лет изучал его и опубликовал большое сочинение о своих исследованиях. Оно-то и является отправным пунктом учения об электрическом токе. Именно это сочинение побудило Вольту заняться повторением опытов Гальвани. В результате своих изысканий Вольта создал стройную теорию вновь открытых явлений и завершил ее построе-

нием «вольтова столба» — первого генератора длительного и сравнительно сильного электрического тока.

Настоящая книга, автором которой является М. И. Радовский, советский специалист в области истории электротехники и учения об электрических и магнитных явлениях, посвящена научной деятельности Гальвани и Вольты. При написании книги были использованы первоисточники, и она своим обстоятельным изложением в достаточной мере подробно знакомит читателя со всеми главнейшими стадиями пройденного Гальвани и Вольтой пути, составившего эпоху в науке и закончившегося изобретением электрического генератора, который имеет большое практическое значение и в настоящее время.

В. Миткевич

Л. ГАЛЬВАНИ

О Гальвани сохранилось очень мало биографических данных. В литературе нет специальных монографий о его жизни и деятельности. Скучные сведения, дошедшие до нас, собраны, главным образом, ранним его биографом Ж. Л. Алибаром (1806 г.), перу которого принадлежит ряд биографических очерков.

По тем отрывочным данным, которыми мы располагаем, жизнь Гальвани в высокой мере поучительна. Она целиком была отдана служению науке. Талантливый педагог, Гальвани постоянно был окружен многочисленными слушателями, высоко ценившими его содержательные лекции. Одаренный экспериментатор, он в течение десятилетий не прекращал своих научных изысканий. Вместе с тем Гальвани оставался практикующим врачом, высоко почитаемым его согражданами. Этого редкого специалиста чаще всего можно было встретить не в барских хоромах, а в бедных кварталах, куда он охотно приходил лечить своих неимущих пациентов.

Живя в условиях буржуазного общества, Гальвани, как и многие другие выдающиеся деятели, кончил жизнь в полном одиночестве, терпя острую нужду. На 61-м году он умер от истощения.

Луиджи Гальвани родился 9 сентября 1737 г. в г. Болоньи, в старинной культурной семье. В числе его предков были теологи и юристы. В юности сам

Гальвани увлекался теологией. Он часто ходил в ближайший монастырь и даже собирался сделаться монахом. Но один монах открыл ему глаза на действительную, не показную жизнь черного духовенства и отговорил его от этого шага. По совету родителей Гальвани занялся медициной, поступив в университет родного города на медицинский факультет.

В университете Гальвани обратил на себя внимание профессоров. Особенно тепло относился к своему одаренному ученику проф. Галеацци. Он часто приглашал его к себе домой и долго беседовал с ним на научные темы. Впоследствии Гальвани женился на дочери Галеацци Лючии, с которой он в продолжение тридцати лет жил очень счастливо.

По окончании университета Гальвани был оставлен при нем. Вначале он получил место преподавателя, а после смерти Галеацци занял кафедру практической анатомии. Биограф отмечает высокие качества его лекций. Внешне безупречные, — Гальвани всегда говорил правильно и легко, — лекции Гальвани неизменно отличались глубоким внутренним содержанием и всегда привлекали множество слушателей.

Наряду с педагогической работой Гальвани непрерывно занимался и научными изысканиями, не оставляя при этом и медицинской практики. В родном своем городе он заслуженно пользовался славой искусного хирурга и акушера.

Двадцати пяти лет Гальвани защитил докторскую диссертацию. Темой ее было: «Кости, их природа и их образование». Дальнейшие его работы касались проблем сравнительной анатомии. Вслед за первой своей работой Гальвани написал еще две: «О почках и мочеточнике у птиц» и «Об ухе у птиц». Когда эти работы были уже закончены, он узнал, что другой итальянский естествоиспытатель Антонио Скарпа (1747—1832) занимался этими же вопросами и результаты его исследований уже опубликованы.

По имеющимся указаниям уже в 1774 г. Гальвани начал ряд опытов, назначение которых было — «определить воздействие электричества на нервную чувствительность и сокращаемость мускулов». Далее он изучал вопрос о воздействии электричества на раз-



Л. ГАЛЬВАНИ

личные жидкие вещества, имеющиеся в животном организме. Следовательно, Гальвани еще до начала опытов, приведших к открытию электрохимического источника тока, как и многие другие его современники — физиологи, занимался вопросами электричества применительно к интересам своей специальности.

Труд Гальвани, сыгравший необычайно важную роль в истории естествознания, является вместе с тем ярким свидетельством неуверенности автора, который так часто подходил к истине, но увидеть ее не мог. Находясь во власти определенных представлений, от которых он отрешиться не мог и не хотел, Гальвани продолжал упорствовать в своих ошибках даже тогда, когда замечательное его наблюдение было правильно истолковано авторитетным физиком Вольта (Гальвани называет своего соотечественника «знаменитейший Вольта»).

Опыты Гальвани описаны им в специальном произведении, изданном на латинском языке в 1791 г. под названием: «Трактат о силах электричества при мышечном движении». Сочинение это состоит из четырех частей. Первые три части отражают три этапа в его исследованиях; последняя — трактует о тех выводах, к которым пришел Гальвани.

Прежде всего необходимо остановиться на одном вопросе, который получил в литературе совершенно неправильное истолкование. Неоднократно высказывалось утверждение, что Гальвани пришел к своему открытию случайно.

Это опровергается дошедшими до нас документами. Физиолог Гальвани имел дело с лягушкой, производя свои опыты. Первое наблюдение, побудившее его так тщательно и упорно изучать это явление, было действительно сделано случайно, и на него Гальвани указал его помощник. Но основное, что сделал Гальвани, заключается не в этом наблюдении, а в тех результатах, которые были получены в последующих опытах. Они были предприняты преднамеренно и вполне сознательно. В предисловии к своему трактату Гальвани подчеркивает, что в его изысканиях равное значение имели и случайности и неустанный труд. «Я считал, — пишет он, — что сделаю нечто ценное, если кратко и точно изложу историю моих открытий

в таком порядке и расположении, в каком мне их доставили отчасти случай и счастливая судьба, отчасти трудолюбие и прилежание. Я сделаю это не только для того, чтобы мне не приписывалось больше, чем счастливому случаю или счастливому случаю больше, чем мне, но для того, чтобы дать как бы факел тем, которые пожелают пойти по тому же пути исследования, или, по крайней мере, чтобы удовлетворить благородное желание ученых, которые обычно находят удовольствие в познании начала и сути вещей, заключающих в себе нечто новое».

Как врач Гальвани считал, что сделанные им открытия прежде всего принесут пользу медицине и послужат тем фундаментом, на котором возникнет важнейшая область знаний. Это будет делом многих выдающихся ученых. «Желая, — подчеркивает Гальвани, — чтобы открытия, которые мне удалось сделать с немалым трудом после многих опытов в нервах и мышцах, принесли пользу и, чтобы стали известны, если это возможно, и их скрытые свойства, и мы вернее могли бы лечить их болезни, я не видел ничего более подходящего для исполнения подобного желания, чем опубликовать, наконец, эти открытия, каковы бы они ни были. Таким образом выдающиеся ученые будут в состоянии, читая нас, своими размышлениями и своими опытами не только сделать больше в этой области, но также достигнуть того, чего пытались достигнуть и мы, но к чему нам, быть может, весьма мало удалось приблизиться».

Дальше мы увидим, что Гальвани отделился от истины, которая сама давалась в руки. Он был прав, указывая в предисловии, что труд его не совершенный. «Я желал бы вынести на общее суждение труд, если не вполне совершенный и законченный, чего быть может я никогда не был в состоянии сделать. то по крайней мере такой, который не был сырым или даже едва начатым; но так как я полагал, что для его завершения у меня нет ни достаточно времени, ни досуга, ни способностей, то я, конечно, предпочел отказаться от моего справедливого желания, чем от пользы дела».

Опубликование трактата Гальвани имело огромное значение. Издание его произведения вызвало ту мощ-

ную волну научного творчества, которой обязано учение об электрическом токе своим возникновением. Последователи Гальвани полностью разделяли его взгляды, считая, вслед за ним, что он открыл так называемое «животное электричество». Однако разгоревшаяся вокруг этого вопроса дискуссия привела к установлению истины.

Что же сделал Гальвани?

Рассмотрим подробнее поставленные им опыты и сделанные им отсюда выводы.

В первой части трактата, названной «О силах искусственного электричества при мышечном движении», Гальвани о первом опыте рассказывает следующее: «Я разрезал и препарировал лягушку, как указано на фиг. 2, табл. 1, и имея в виду совершенно другое, поместил ее на стол, на котором находилась электрическая машина (фиг. 1) при полном разобщении от кондуктора последней и на довольно большом расстоянии от него. Когда один из моих помощников острием скальпеля случайно очень легко коснулся внутренних бедренных нервов этой лягушки, то немедленно все мышцы конечностей начали так сокращаться, что казались впавшими в сильнейшие тонические судороги. Другой помощник заметил, что это удается тогда, когда из кондуктора машины извлекается искра (фиг. 1, В). Удивленный новым явлением, он тотчас же обратил на него мое внимание, хотя я замышлял совсем другое и был поглощен своими мыслями».

Из этих слов видно, что, производя первый опыт, побудивший Гальвани предпринять его знаменитые изыскания, экспериментатор вовсе не имел в виду исследований в области электричества. Он сам признает, что «замышлял совсем другое и был поглощен своими мыслями». Вопросы физиологии и анатомии — вот чем был занят Гальвани, и электрическая машина, находившаяся поблизости, непосредственного отношения к произведенному с лягушкой опыту не имела. Однако наличие ее в лаборатории Гальвани отнюдь не случайно. Еще в 40-х годах XVIII в. исследователи обратили внимание на то, что изучение электрических явлений может иметь благотворное влияние на здоровье человека. Истоки электротерапии восходят

именно к этому времени. Уже в 1745 г. была издана работа Х. Г. Кратценштейна (1723—1793), в которой трактовались вопросы применения электричества для лечебных целей. Открытие лейденской банки дало мощный толчок изучению влияния электрических разрядов на поврежденные члены человеческого тела. Еще раньше действия электричества на живые тела изучались английским экспериментатором Стефаном Греем (20—30-е годы XVIII в.). Он первый решился наэлектризовать мальчика, пытаясь установить, является ли человеческое тело проводником электричества. Это был очень смелый шаг. Известный немецкий физик Георг Маттиас Бозе, сам много сделавший в области учения об электричестве, писал по поводу опыта Грея в своей поэме: «Электричество в его возникновении и развитии поэтическим пером описанное»:

«Безумный Грей, что знал ты, в самом деле,
О силе той, неведомой доселе?
Разрешено ль тебе, безумец, рисковать
И человека с электричеством связать?»

Необычайно важный шаг Грея побудил его последователя французского ученого Шарля Франсуа де Систернэ Дюфэ продолжать подобные опыты. Он наэлектризовал самого себя и описал испытанные им при этом ощущения.

Что загадочные электрические явления таят в себе какие-то могучие силы, ученые догадывались давно. Уже в XVII в. один из самых ранних исследователей этих явлений, знаменитый немецкий ученый Отто фон Герике, предвосхитивший крупнейшие открытия в области электростатики, пытался с помощью полученных им результатов разрешать космические проблемы. Но это были только робкие предположения. Дальнейшие же успехи учения об электричестве показали, что все естествознание в целом тесно связано с этим разделом физики. Такие выводы были сделаны и представителями физиологической науки. Медики-исследователи ставят опыт за опытом, стремясь наиболее полно выявить действие электричества на живые ткани. Во второй половине XVIII в. не было ни одного образованного медика, не понимавшего

великого значения, которое может иметь для медицины изучение электрических явлений. Уместно упомянуть, что знаменитый французский революционер Жан Поль Марат, по образованию врач, успешно работал над вопросами электричества и оставил большую работу в этой области.

Таким образом то, что врач Гальвани столь упорно занялся изучением электрических явлений, вполне понятно. Необходимо, однако, отметить, что первый опыт, который возбудил в Гальвани «невероятное усердие и страстное желание» изучить наблюдаемое им явление, ничем особенно не примечателен. Правильное толкование наблюдения Гальвани оказалось возможным много лет спустя, когда возникло учение об электромагнетизме. Но для того времени его вполне можно было объяснить известным в течение многих десятилетий явлением электрического влияния. Давно было известно, что наэлектризованное тело может привести в наэлектризованное состояние другое тело, не будучи с ним непосредственно соединенным. И Гальвани, следовательно, мог объяснить свое наблюдение тем, что разряд кондуктора электрической машины и вызвал сокращение мускулов. Что тело животных подвергается судорожным движениям при прохождении через него электрических разрядов, заметили уже первые исследователи, экспериментировавшие с лейденской банкой.

Такое именно объяснение этого явления дал Вольт в 1793 г.

Гальвани подобного вывода не сделал. Наблюдаемое им явление он считал в высшей степени загадочным и решил всесторонне его изучить. Я, — рассказывает Гальвани, — зажегся невероятным усердием и страстным желанием исследовать это явление и вынести на свет то, что было в нем скрытого». Он повторял опыт, и каждый раз, когда касался острием скальпеля бедренного нерва, а его помощник извлекал электрическую искру, мышцы лапок лягушки подвергались сильным сокращениям. Было ясно, что судороги эти находятся в тесной связи с электрическим разрядом, и это подтверждалось еще тем фактом, что когда Гальвани, исключив из опыта электрический разряд, касался нерва лягушки острием скальпеля, который,

как полагал исследователь, мог играть роль раздражителя, никаких движений лапок лягушки не наблюдалось. Наблюденное им явление имело место только тогда, когда из электрической машины извлекалась искра.

Во время опытов Гальвани заметил еще, что для получения эффекта необходимо было держать скальпель не за ручку, имевшую костяную оправу, а за металлическое лезвие или за железные гвоздики, которые закрепляли лезвие скальпеля. Причину этого было нетрудно понять: проводники и изоляторы были известны уже за много десятилетий до Гальвани. Чтобы устранить всякие сомнения, он произвел следующий опыт. Вместо скальпеля он применил стеклянную палочку (изолятор), и как он ни касался ею нерва лягушки, никакого эффекта не наблюдалось. «Стеклянной палочкой *H* (фиг. 2) мы не только касались, но даже слегка терли бедренные нервы в то время, как извлекалась искра. Однако все старания были напрасны, и феномен никогда не наступал, хотя из кондуктора машины извлекались бесчисленные и весьма сильные искры и при том на незначительном расстоянии от животного». Когда же Гальвани заменил стеклянную палочку железной, «феномен наступал очень легко» и даже в том случае, когда «искры были незначительны».

Этот же результат получился и тогда, когда Гальвани вместо того, чтобы касаться железной палочкой лягушки, применил проволоку *K—K*, как показано на фиг. 2.

Шаг за шагом Гальвани расширял и углублял свои опыты. Выяснив роль проводника, он задался целью узнать, «не получится ли феномен на препарированных животных и в месте, расположенном от машины очень далеко». Эффект получился и тогда, когда железная проволока длиной свыше 100 м одним концом была соединена с лягушкой, а другой конец ее находился недалеко от электрической машины. На фиг. 3 показан этот опыт Гальвани. При помощи шелковых нитей он подвесил железную проволоку, изолировав ее таким образом. Один ее конец был привязан шелковой же нитью к вбитому в стену гвоздю *B*, другой конец проволоки *C* был выведен на

расстояние, которое позволяла длина проволоки. К месту С он присоединил железную проволоку В, на которой была подвешена лягушка. Ради удобства лягушка было помещена в стеклянный сосуд, на дне которого находилось проводящее вещество — в данном случае это была вода или свинцовые дробинки. Как только из кондуктора электрической машины извлекалась искра, «лягушка начинала двигаться, несмотря на такое расстояние, и чуть не прыгала». Это же явление имело место и тогда, когда стеклянный сосуд был устранен из опыта, причем движения лягушки были интенсивными, когда лапки ее были соединены каким-нибудь проводником с землей.

Гальвани не переставал варьировать свои опыты, пытаясь всесторонне изучить наблюдаемое им явление. Один из его опытов имел целью установить: «будет ли действовать и распространяться подобного рода электрическая сила одинаково во всех направлениях и по окружности». Вокруг кондуктора электрической машины он разместил несколько лягушек, подвешенных на проводниках, находившихся на значительном расстоянии от машины; при извлечении искры лягушки приходили в движение в одно и то же время, «представляя весьма приятное зрелище».

Стремясь наиболее полно выявить, что представляет собой его наблюдение, Гальвани вместо электрической машины применил лейденскую банку (фиг. 4 и 5). Результат был тот же: «в опыте с банкой все шло так, как и в опыте с машиной».

Когда Гальвани производил свои опыты, электрофорная машина, изобретенная Вольта, была уже известна. Гальвани решил проверить свой опыт с электрофором, чтобы «не пропустить какого-либо рода электричества, дающего искру». И в этом случае наблюдалось вздрагивание лапок лягушек. Итак, им были тщательно испытаны все виды «искусственного» электричества, т. е. он экспериментировал с зарядами, возбужденными посредством трения и при помощи индукции. Все опыты Гальвани неизменно показывали, что электрический разряд всегда вызывает сокращения мышц препарированного животного.

Опыты с «искусственным» электричеством представляют собой начальный этап исследований Гальвани. Дальнейшим его шагом, который и привел к открытию электрохимического источника электрической энергии, были эксперименты с «естественным», как говорили в XVIII в., электричеством, т. е. с электричеством атмосферным. Описание этих экспериментов составляет вторую часть его трактата, названную Гальвани: «О силах атмосферного электричества при мышечном движении».

Почти за четыре десятилетия до опытов Гальвани трудами многих ученых, главным образом, изысканиями Вениамина Франклина, было доказано, что молния есть не что иное, как мощный электрический разряд. Начиная с 50-х годов XVIII в., атмосферное электричество не перестает быть предметом тщательного изучения. Все опыты, которые производились с «искусственным» электричеством, удавались и с электричеством «естественным» — атмосферным. Вот почему Гальвани решил обратиться к атмосферному электричеству.

Опыт Гальвани с атмосферным электричеством показан на фиг. 7. К самому высокому месту своего дома он прикрепил железную проволоку и при приближении грозы подвешивал на этот проводник препарированных лягушек или теплокровных животных. Лапки животных были соединены железной же проволокой, опущенной в колодезь. Как и следовало ожидать, каждый раз при вспышке молнии мышцы животных «впадали в сильнейшие и многократные сокращения». Гальвани обнаружил также, что для получения эффекта препарированное животное не обязательно помещать в закрытый сосуд, как это он делал вначале (фиг. 7), и что опыт удастся с более коротким проводником (фиг. 8).

Далее Гальвани заметил, что сокращения мышц имеют место не только при грозовых разрядах. «Они получались почти сами собой при грозовом небе, когда облака близко проходили от поставленных нервных проводников». Таким образом при помощи атмосферного электричества опыты точно так же удавались.

То обстоятельство, что эффект наблюдался и тог-

да, когда не было грозового разряда, а только близко проходили наэлектризованные облака, побудило Гальвани испытать «могущество дневного и спокойного электричества», т. е. исследовать, как влияют в обычную погоду электрические заряды, имеющиеся в атмосфере. Гальвани проделал следующий опыт. При помощи медных крючков, воткнутых в спинной мозг препарированной лягушки, он подвесил последнюю к железной решетке, окружавшей балкон его дома. К немалому удивлению Гальвани заметил, что лягушка впадала в обычные сокращения не только в грозу, но иногда даже и при спокойном ясном небе». Гальвани решил, что эти сокращения вызываются теми изменениями, которые имеют место в атмосферном электричестве, и решил старательно «исследовать действие этих изменений». Он поставил, как он пишет, самые разнообразные опыты. В различные часы дня он упорно следил за подвешенной лягушкой, но ничего обнаружить не мог. Однако экспериментатор не прекратил своих изысканий. Он решил испытать, нельзя ли каким-то внешним воздействием вызвать сокращения мышц лягушки. «Утомленный тщетным ожиданием, — рассказывает Гальвани, — я начал прижимать медные крючки, воткнутые в спинной мозг, к железной решетке, желая посмотреть, не возникнут ли благодаря этому приему мышечные движения и не обнаружат ли они в чем-либо отличия и изменения, смотря по различному состоянию атмосферы и электричества». В этом случае сокращения неоднократно наблюдались. Однако «ни одно не соответствовало перемене в состоянии атмосферы и электричества».

Описанный здесь опыт Гальвани, казалось, подсказывал путь, по которому исследователь должен был направить свои шаги, чтобы притти к уразумению роли двух разнородных металлов в наблюдаемом им эффекте. Но от этого пути Гальвани неизменно уклонялся и не сделал правильных выводов, которые, казалось, сами напрашивались.

По наблюдениям Гальвани в приведенном выше опыте мышечные сокращения не вызывались непосредственно атмосферным электричеством, но из осторожности («легко ошибиться в исследовании и

считать виденным и найденным то, что мы желали увидеть и найти») Гальвани, как он пишет, мог бы допустить, что «атмосферное электричество» вошло в животное, в нем накопилось и быстро из него выходило при соприкосновении крючков с железной решеткой. Чтобы окончательно убедиться в том, что атмосферное электричество не играет роли в обнаруженном эффекте, экспериментатор решил перенести опыт в закрытое помещение, где влияние атмосферного электричества, считал он, исключено. Он перенес лягушку в комнату, положил ее на железную пластинку и стал прижимать к ней проведенный через спинной мозг медный крючок. Эффект получился поразительный: происходили мышечные сокращения, как это наблюдалось в предыдущих опытах.

Каковы же причины, вызывавшие эти сокращения? Что здесь служило источником электричества? Ответ, казалось, напрашивался сам. Гальвани держал в руках гальваническую пару. Но увидеть ее он не был в состоянии. Это тем более удивительно, что исследователь тотчас же стал экспериментировать с различными металлами, проделал множество опытов и каждый раз наблюдал те же эффекты. Более того, он обнаружил, что «сокращения были различны — сообразно различию металлов, именно в случае одних — сильнее, в случае других — слабее и медленнее». Насколько близко Гальвани подошел к тому, чтобы сделать правильный вывод из его наблюдения, свидетельствует еще следующая формулировка в его записях: «Опыты над электричеством металлов». Иными словами, Гальвани держал в руках гальванические элементы, но понять этого он не мог. Эти опыты описаны в третьей части сочинения Гальвани, названной «О силах животного электричества при мышечных движениях». Третья часть его трактата — это повесть о непрерывной цепи ошибок, совершенных исследователем при теоретическом истолковании своих опытов.

Выявив эффект, производимый различными металлами, Гальвани тотчас же стал экспериментировать с непроводниками (употребляя при этом стекло, смолу, резину и т. п.). Разумеется, результат был отрицательный: эти тела гальванической пары не

составляют. Из этого, казалось, нетрудно было сделать правильный вывод, что все дело во взаимодействии двух различных проводников — металлов, разделенных определенной средой, в данном случае препарированной лягушкой. Но Гальвани сделал совершенно другой вывод. Он пришел к заключению, что источником электричества является сама лягушка, и решил, что открыл новый вид электричества, «свойственного самому животному», и назвал его «животным электричеством».

Опыты, приведшие к этому заключению, производились им в сентябре — октябре 1786 г.

«Животное электричество», которое, как полагал Гальвани, ему удалось открыть, представляет собой, — пишет он, — «тончайший нервный флюид»¹. В этом Гальвани убедил ряд опытов. Первый из них описан им так: «В то время как я держал одной рукой препарированную лягушку за крючок, воткнутый в спинной мозг, и при том так, чтобы лапками эна касалась серебряной шкатулки, а другой постукивал каким-либо металлическим предметом по крышке этой шкатулки, на которую опирались лапки лягушки, или по ее стенке, то вопреки ожиданию я увидел, что лягушка впадает в довольно сильные сокращения и при том столько раз, сколько я пользовался такого рода приемом». Из этого описания видно, что Гальвани имел дело с электрохимическим генератором и, замыкая цепь, каждый раз возбуждал электрический ток.

Что здесь проходит ток, Гальвани по своему понимал: он ведь говорит о течении флюида. Но источника его увидеть ему так и не удалось. Гальвани описывает много поразительных опытов, результаты которых, казалось, подводили непосредственно к самой истине. Однако каждый раз экспериментатор делает неправильные выводы. Приведенный выше опыт он видоизменил следующим образом: препарированную лягушку он передал другому лицу, а сам постукивал по шкатулке и «вопреки ожиданию, сокращения не появлялись». Гальвани догадался, что для получения

¹ С самого начала возникновения учения об электричестве, начиная с Гильберта (1540—1603), электрические явления приписывались действию особых жидкостей, флюидов, находящихся в порах «электрических тел».

эффекта необходимо создать «нечто вроде электрической цепи», взял за руку своего помощника, и опыт тотчас же удался».

Неизменно разнообразя свои опыты, Гальвани решил проверить, имеет ли действительно здесь место «электрическое течение?» Для этого он ввел в цепь проводники и изоляторы: экспериментаторы в одном случае держались за металлическую палочку, а в другом — за стеклянную. Как и следовало ожидать, при применении металлической палочки опыт удался, а со стеклянной никакого результата не получалось.

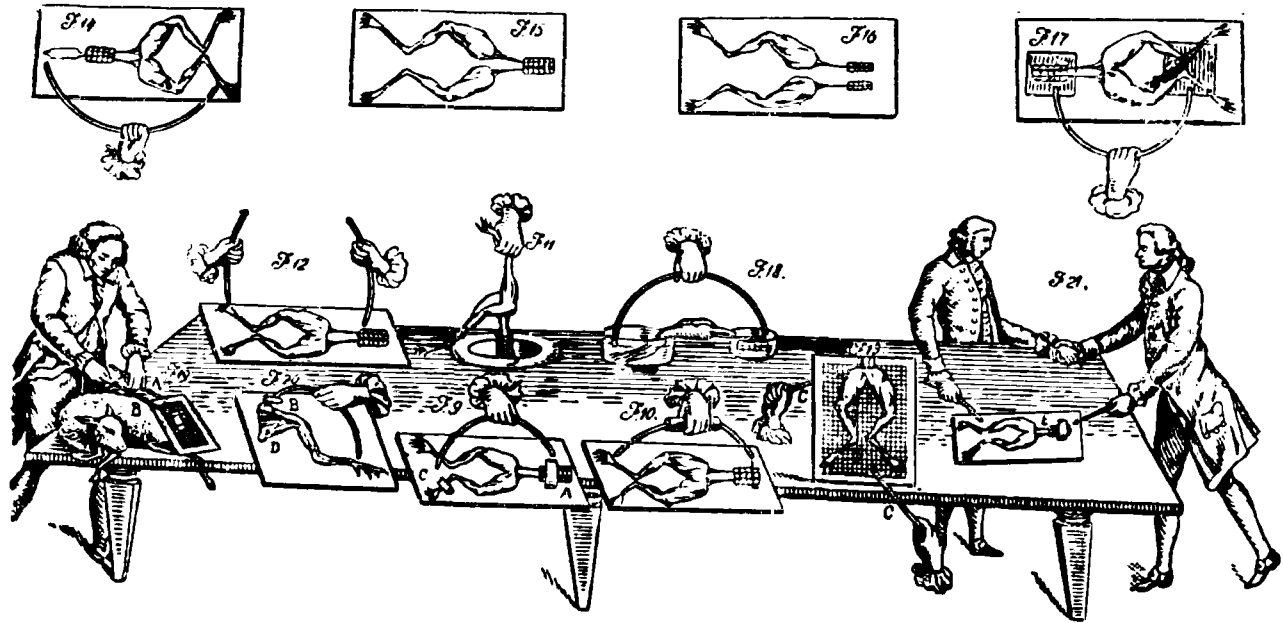
То же самое было при опытах, изображенных на фиг. 9 и 10 (табл. II). Лягушка помещена на пластинке изолятора — из смолы или из стекла, в ее позвоночник воткнут медный крючок. Когда исследователь касался одним концом металлической дуги бедренных мышц или лапок, а другим крючка (фиг. 9), тотчас же начинались сокращения. Когда же дуга прерывалась изолятором (фиг. 10), никаких сокращений не наблюдалось.

Фиг. 11 и 12 изображают другие эксперименты Гальвани, также показывающие, что непременным условием является наличие проводника и замыкание цепи. Фиг. 11 изображает следующий опыт. Гальвани держал между пальцами лягушку за одну лапку так, что крючок, проходивший через спинной мозг, касался серебряной пластинки. Как только другая лапка касалась этой пластинки, мышцы начинали немедленно сокращаться. На фиг. 12 показано, что вместо одной дуги экспериментатор употребил две — эффект получался лишь тогда, когда верхние концы дуг приводились во взаимное прикосновение.

Гальвани отмечает, что проводящая дуга была из железной проволоки, крючок же — из медной проволоки.

Из множества опытов он обнаружил, что различие вещества металла «играет весьма важную роль в смысле результата опыта». Он особенно выделяет серебро, которое в сочетании с железом давало наиболее эффективные результаты. Но вывод его из этих опытов все же тот, что источником электричества является животное; здесь имеет место «течение нервного флюида».

ТАБЛИЦА II



Особенность «нервного флюида» по Гальвани «заключается в том, что он состоит из двух противоположных электричеств, вызывающих эффекты, производимые лейденской банкой или «магическим квадратом» (так тогда называли плоский конденсатор, который был известен за три слишком десятилетия до опытов Гальвани). Именно благодаря наличию двух разнородных электричеств Гальвани считал, что «электрический флюид совершает некоторый круговорот». Нахождение двух разнородных электричеств в одном и том же металле он считал невозможным и «совершенно противным природе и противоречащим наблюдениям». Оставалось одно — «допустить, что они оба (разнородные электричества) находятся в животном».

Но если животное обладает одновременно обоими видами электричества, то в каких частях его тела находятся разнородные заряды? Этот вопрос задал себе Гальвани тотчас же, как только укрепился в своем заключении. Можно было допустить, что электричество с одним знаком находится в мускуле, а с другим — в нерве или же оба находятся вместе либо в первом, либо во втором.

Гальвани поставил многочисленные опыты, многие из которых отличались необычайным остроумием, однако твердых выводов так и не добился. Все же у него не возникало никаких сомнений в том, что он открыл новый вид электричества, присущего животным, и что последние содержат в себе два противоположных электричества. И Гальвани принялся изучать свойства открытого им нового вида электричества.

Первый вопрос, который естественно напрашивался, — это — подчиняется ли новый вид электричества «законам и свойствам обыкновенного электричества», т. е. можно ли производить с ним такие же опыты, как и с электрическими зарядами, возбужденными посредством трения, и получатся ли при этом те же результаты?

Прежде всего Гальвани занялся вопросом проводимости. Все, что было известно об опытах с «обыкновенным электричеством», было применено и к новому виду электричества. «Как одно, так и другое

электричество легче совершает свой путь через металлы, чем через дерево, а из металлов легче всего через золото и серебро, хуже — через свинец и железо, особенно проржавевшее. Таким образом, если дуга или пластинки сделаны из металла, особенно из серебра, или, что еще удобнее, покрыты сделанными из него тончайшими листиками, то явления сокращений возникают и гораздо легче и гораздо скорее, чем если бы они были сделаны либо из свинца, либо даже из железа».

От опытов с твердыми телами Гальвани перешел к жидкостям. В качестве проводника он употреблял воду: непроводником служило масло. Результаты были те же: «электричество весьма удачно совершает свой путь через воду, однако полностью задерживается и преграждается маслами». Гальвани проделал следующий опыт, изображенный на фиг. 14. Дуга, которую держит в руках экспериментатор, представляет собой стеклянную трубку. В оба отверстия трубки были введены металлические проволоки (неприкасающиеся друг к другу). И вот, когда в трубке находилась вода, опыт удавался; когда же в трубке было масло, никаких сокращений не наблюдалось.

Далее Гальвани заинтересовался тем, как различные части тела животных проводят электричество. Тщательные исследования показали, что получают положительные результаты. Он в этом убедился на опытах с мышечными волокнами, хрящами, нервами, костями, кожей, кровью, лимфой, сывороткой и мочой, которые он помещал в описанных выше трубках.

Гальвани пытался выявить, какой получится результат, если рассечь лягушку пополам (фиг. 15 и фиг. 16). Опыт показал, что вновь соединенные части производят тот же эффект, что и целая лягушка.

Все опыты, произведенные Гальвани, укрепляли его в убеждении, что он открыл новый источник электричества «животное электричество». Он подчеркивает, что им открыт способ, посредством которого «это электричество можно сделать почти видимым, вывести из животного и чуть ли не щупать руками». Однако Гальвани понимал, что для полного доказательства существования «животного электричества»

необходимо добиться возбуждения последнего без участия какого-либо другого тела, в данном случае металлов. «Нам казалось, отмечает он, что это явление было бы не вполне выяснено, разработано не во всех отношениях и недостаточно хорошо удавалось бы по желанию, если бы нельзя было также открыть способа вызывать явления сокращения без всякого соприкосновения нервов или мышц с каким-либо телом». В самом деле, Гальвани опасается того, не вызывается ли сокращение лягушки просто механическим раздражением со стороны дуги или других инструментов, участвовавших в опыте. Таким образом окончательно еще «не установлено существование тончайшей жидкости, имеющей электрический характер, вытекающей через нервы и вызывающей мышечные сокращения».

Чтобы устранить это сомнение, Гальвани «пришло на ум» поставить следующий опыт, в котором была исключена возможность такого раздражения. Он воспользовался электрическим конденсатором (фиг. 13 и 19), прикладывая к животному то одну, то другую его поверхность. «В самом деле, — пишет Гальвани, — благодаря опыту такого рода я легко мог бы понять, была ли пробегающая по нервам жидкость электрической, и вызывались ли сокращения переходом ее он нервов к мышцам, как если бы я прикладывал дугу непосредственно к самим мышцам или нервам, причем тогда не могло возникнуть подозрения о действии на них механического раздражения. И вот, поставив опыт, мы увидели не без некоторого удовольствия, что сокращения наступают даже и при том методе, когда снабженные обкладками, согласно физики, стеклянные или смоляные поверхности расположены на одной и той же стороне и при этом отделены друг от друга некоторым расстоянием так, чтобы нервы находились бы на одной из этих поверхностей, а мышцы — на другой, и чтобы между ними не было никакого сообщения посредством проводящего тела, фиг. 17».

Те же результаты были получены при опыте, изображенном на фиг. 18. В двух сосудах, наполненных водой, помещены различные концы препарированной лягушки; концы дуги касаются не мышц и

нервов, как в предыдущих опытах, а только поверхности воды.

Как врач Гальвани не перестает стремиться извлечь пользу из своих исследований для медицины. Если он открыл, как он полагал, «животное электричество», то, следовательно, по его мнению проблемы физиологии должны получить теперь новое освещение, но раньше необходимо было убедиться в том, что «животное электричество» «имеется и в живых телах». Поставленные им опыты (фиг. 19) с живыми животными дали такие же результаты, что и с препарированными лягушками.

Все многообразие опытов Гальвани неизменно убеждало его в том, что он открыл новый, до того еще неизвестный науке, вид электричества—«животное электричество». Как внимательный исследователь он не ограничивается одним утверждением нового факта, хотя бы исключительного значения. Он стремится осмыслить добытые им данные и делает попытку обобщения всего того огромного опытного материала, который им был получен на протяжении многих лет.

Теоретические рассуждения Гальвани изложены в четвертой главе его трактата, озаглавленной «Некоторые предположения и заключения».

Первый вывод Гальвани — «животным присуще электричество» и находится оно «если не во всех, то во всяком случае в очень многих частях животного». Одно несомненно, что в мышцах и нервах электричество это особенно значительно проявляется.

Новый вид электричества обнаруживает особенное, ранее неизвестное, свойство, которое состоит в том, что неизменно находится в движении: «оно с силой стремится от мышц к нервам, либо скорее от последних к мышцам, и немедленно проходит, либо через дугу, либо через цепь людей, которые ведут кратчайшим и удобнейшим путем от нервов к мышцам, распространяясь по ним чрезвычайно быстро от одних к другим».

Это явление, считает Гальвани, имеет место потому, что «животное электричество» двойственно, т. е. в живых телах одновременно находятся оба рода электричества — как положительное, так и отрица-

тельное. Для подтверждения своей мысли Гальвани проводит аналогию с лейденской банкой. Он допускает, что именно мышца является местонахождением найденного им электричества, а нерв играет роль проводника. «После этого допущения, — пишет Гальвани, — быть может, не показалась бы нелепой и совсем не согласующейся с истиной та гипотеза и то предположение, которое сопоставило бы мышечное волокно как бы с некоторой маленькой лейденской банкой или с другим подобным электрическим телом (т. е. электрическим конденсатором другой формы — *M. P.*), снабженным двойственным и противоположным электричеством, нерв же сравнивала бы, некоторым образом, с кондуктором банки, а мышцу целиком поэтому сопоставляла бы с некоторой батареей лейденских банок».

В пользу того, что в одном и том же веществе могут быть одновременно оба противоположных заряда, говорят еще известные с середины XVIII в. опыты с турмалином. Ряд исследователей, в том числе и русский академик Эпинус, изучали необычайное свойство этого камня, заключающееся в том, что он содержит одновременно оба заряда. До того времени экспериментаторы знали, что в одних телах можно возбудить заряды с одним знаком, а в других — с другим. Поэтому все тела, в которых можно было возбуждать электрические заряды, разделились на два класса: стеклянные и смоляные, т. е. в одних телах возбуждались такие же заряды, как в стекле, а в других такие, как в смоле. Впоследствии, начиная с Франклина, термины стеклянные и смоляные электричества были заменены названиями положительные и отрицательные заряды (+ и —).

То обстоятельство, что в одном и том же теле были обнаружены оба разноименных электричества, сыграло немаловажную роль в упрочении унитарной теории электричества, выдвинутой Франклином и развитой Эпинусом и другими исследователями середины XVIII в. Гальвани был основательно знаком с современным ему учением об электричестве и знал об опытах с турмалином. Он пишет: «Если кто-нибудь остановит хотя бы наскоро свое внимание на камне турмалине, в котором, повидимому, судя по новей-

шим открытиям, можно обнаружить двойственное и противоположное электричество, то он усмотрит новое, выведенное по аналогии обоснование, которое делает подобную гипотезу не совсем бессодержательной».

Имея дело с новым видом электричества, Гальвани не переставал сравнивать его свойства с уже известными свойствами статического электричества. Однако новый вид электричества обнаружил до того неизвестные качества, а именно, то, что Гальвани назвал «круговорот электричества». В поисках аналогии он ссылается на электрических рыб, тогда уже известных. Новый вид электричества действительно обнаружил и те и другие свойства.

Рассмотрев свойства «животного электричества», Гальвани задался целью определить его источник. Источником его он считает мозг, от которого животное электричество берет свое начало.

Врач и физиолог, Гальвани пытается прежде всего извлечь практические выгоды для медицины. «Животное электричество» по его мнению бросает новый свет на причины многих болезней. Пагубное действие электрических разрядов на живые тела заставило Гальвани искать причины некоторых болезней в «животном электричестве», которое по его мнению вызывает разрушительные действия в организме, вследствие внешних причин, особенно же вследствие мощных и внезапных изменений атмосферного электричества.

Уподобляя электричество некоторой жидкости — флюиду, Гальвани допускает, что эта жидкость в силу некоторых обстоятельств может загрязниться и тем самым вызвать острые заболевания.

Однако Гальвани не думает, что им сказано новое слово в медицине. Он не перестает подчеркивать, что все высказанное им является только предположением, требующим основательного подтверждения дальнейшими исследованиями. Несомненно только одно: перед «ученейшими людьми» открывается новое и необычайно благодарное поле деятельности.

Исследованиями Гальвани начинается новая страница в истории физиологии, носящая название электрофизиологии. Но развитие этой науки относится к

более позднему времени. В этом отношении значительную роль сыграла знаменитая дискуссия между Гальвани и Вольты, нанеся непoprавимый удар идее «животного электричества». Правильное использование открытия Гальвани, а именно открытие электрохимического источника тока, делало, казалось, совершенно излишним разговор об электричестве, присущем животным. И только спустя десятилетия в науке восторжествовала идея «животного электричества», опиравшаяся на целый ряд новых исследований физиологов.

Но в начале 90-х годов XVIII в. историческая роль трудов Гальвани заключалась в том, что они послужили исходным пунктом в истории учения об электрическом токе. Сам Гальвани в этом новом мощном движении научной мысли участия не принимал. Наоборот, оставаясь на занятых им позициях, он решительно восставал против новых мнений, высказанных Вольты, упорно придерживаясь идеи «животного электричества». Загорелась острая полемика между обоими учеными, и каждый из них нашел немало приверженцев.

На этой исключительно важной странице из истории естествознания мы остановимся при рассмотрении опытов Вольты. Отметим только, что полная ясность в этом вопросе была внесена после изобретения нового генератора электрической энергии, так называемого «вольтова столба» (1800).

До этого открытия Гальвани не дожил, он умер за два года до него — 4 декабря 1798 г. — через семь лет после опубликования его трактата, вызвавшего еще при его жизни всеобщий интерес. Многочисленные последователи Гальвани, продолжавшие и развивавшие его исследования, как и оживленная дискуссия по этому поводу, сразу же привлекая внимание широких ученых кругов, свидетельствовали, казалось, о высоком положении Гальвани в науке, которое должно было принести ему материальное благополучие. Однако именно к последним годам его жизни относятся самые тяжелые времена, какие он когда-либо переживал.

Обычно указывается на то, что подавленность, которую он испытывал, была вызвана потерей горячо

любимой жены, Люции, сошедшей в могилу от долго мучившей ее болезни.

По сохранившимся данным, особенно по одному сонету, написанному Гальвани на смерть жены, действительно видно, как тяжело он переносил разлуку с ней—подругой своей жизни. Однако через год после смерти Люции (она умерла в 1790 г.) он нашел в себе достаточно сил, чтобы издать свой «Трактат». Более того, после опубликования этого сочинения, когда Вольта выступил против идеи «животного электричества», Гальвани весь отдался возникшей дискуссии и сделал ряд новых опытов (о них будет речь далее).

В личной трагедии Гальвани сыграли решающую роль события социального порядка. Сын своего века, он не понял тех исключительно важных событий, которые были вызваны буржуазной революцией во Франции, оказавшей непосредственное влияние на судьбы его родины. Созданную Наполеоном Цизальпинскую республику Гальвани не признавал и отказался ей присягнуть, что требовалось от профессуры университета. За отказ он был отстранен от занимаемой им кафедры. Лишенный заработка он терпел острую нужду. Нищета и чувство глубокого оскорбления за отстранение от любимого дела, которому он служил на протяжении десятилетий, окончательно надорвали его организм.

А. ВОЛЬТА

По-иному сложилась жизнь Александра Вольта. Выходец из другой среды, он рос в других условиях, нежели Гальвани. Будучи всего на восемь лет моложе Гальвани, Вольта совершенно иначе встретил новый порядок, введенный на его родине. Он не остался глухим к тем новым веяниям, которые шли в Италию из буржуазной Франции.

Как тип ученого Вольта резко отличался от Гальвани. Последнему невозможно было сойти с занятых им позиций и отказаться от сложившихся представлений. Больше того, он упорно их отстаивал, защищая, казалось, явно неверные выводы. Подобных примеров в истории науки немало. Поднять руку на укоренившиеся воззрения могли только наиболее смелые исследователи, не устранившиеся сказать новое слово, как бы оно ни шло вразрез с господствующими мнениями.

Именно таким новатором в науке и был Вольта. Только ученый, обладавший этим ценнейшим качеством, мог открыть перед наукой те широкие горизонты, которые характерны для эпохи, когда складывалось учение об электрическом токе. Вместе с открытием электрохимического источника электрической энергии учение об электричестве вырвалось из узких рамок электростатики и сделало тот гигантский шаг, который привел к созданию современной электродинамики. Только на этой базе могли осуществиться са-



А. ВОЛЬТА

мые смелые мечты о практическом применении электрической энергии.

Александр Вольта родился 18 февраля 1745 г. в небольшом городе Комо, близ Милана. Его родители, дон Филипп Вольта и Магдалина де Конти Инзаги, происходили из знатных дворянских фамилий. Филипп Вольта имел обеспеченное положение.

Воспитание Александра было поручено одной женщине по имени Елизавета Педралио ди Бруните, бывшей замужем за мастером физических приборов. Вероятно, в доме своей воспитательницы будущий знаменитый физик впервые познакомился с измерительными аппаратами.

Начальное образование Вольта получил в школе родного города, находившейся в ведении ордена иезуитов. Попечительство отцов иезуитов имело своей целью воспитать из молодых юношей верных служителей церкви. Однако в Вольта с ранних лет пробудились совершенно иные интересы. Все его внимание обращено в сторону естественных наук, и им он посвящает свой досуг. Его незаурядные способности проявились в первые же годы учения. Вместе с тем это был живой и жизнерадостный юноша.

Глубокий интерес Вольта к науке характеризуется следующим фактом. К 18 годам он основательно ознакомился с современным ему учением об электричестве, которое уже тогда являлось важнейшей проблемой естествознания. Его успехи в этой области были настолько велики, что он решился на самостоятельные широкие обобщения. Вольта пришло на ум, что ряд электрических явлений может быть объяснен законом Ньютона о притяжении, этой руководящей идеей всего естествознания того времени. О своей идее Вольта написал широко известному тогда ученому Жану Антуану Ноллэ, сочинения которого пользовались большой популярностью далеко за пределами Франции. Ноллэ тотчас же ответил и одобрил молодого исследователя. Легко себе представить, каким стимулом для начинающего ученого могло послужить поощрение со стороны маститого ученого. Напав на важную мысль, Вольта не переставал ее развивать. Она была его руководящей идеей в дальнейших исследованиях по электричеству.

Кроме той области знания, в которой Вольт прославил свое имя, а именно учения об электричестве, он много сделал и в области химии. Ею он также начал заниматься еще в свои ранние годы. В 1764 г., когда ему было 19 лет, Вольт сочинил большую поэму, написанную гекзаметром по-латыни. Здесь были изложены важнейшие открытия в области физики и химии.

Это сочинение свидетельствовало о широкой образованности автора.

Первая печатная работа Волта «О притягательной силе электрического огня и явлениях, отсюда вытекающих» относится к 1769 г. Ему тогда было 24 года. Предметом исследований является лейденская банка. Электрический конденсатор был изобретен за четверть века до этого. Загадочные явления, с которыми столкнулись исследователи, изучая так называемый «лейденский опыт», не переставали занимать внимание ученого мира. Электрический конденсатор, играющий столь важную роль в области практического применения электрической энергии, является, несомненно, самым выдающимся достижением учения об электричестве первой половины XVIII в. Именно изучение лейденской банки дало ключ к пониманию явлений атмосферного электричества. Правда, задолго до 1745 г., года изобретения лейденской банки, явление электрического разряда уже было известно. Это явление, сопровождаемое треском и проскакиванием искры, побудило наиболее смелых исследователей сравнивать его с громом и молнией. Эффекты лейденской банки укрепляли в этом мнении, поразительно напоминая грозные разряды. Отсюда — повышенный интерес к электрическому конденсатору. Надежды ученых вполне оправдались. Причина молнии была разгадана и, следовательно, можно было реально искать защиты от нее. Это удалось Вениамину Франклину (1706—1790) и ряду его современников, создавших целое учение об атмосферном электричестве. Необходимо отметить, что изыскания Франклина начались с изучения лейденской банки. Он первый дал правильное истолкование явления, показав роль обкладок конденсатора и находящегося между ними диэлектрика.

В свете тех достижений, которыми мировая наука располагала о лейденской банке, сочинения двадцати-четырёхлетнего Вольта не содержали ничего оригинального.

И во второй его работе, опубликованной в 1771 г., он сообщает немного нового. Работа эта, как и первая, была напечатана в Комо; она называется «Новый и простейший прибор для электрических опытов».

Все же первые печатные работы не прошли бесследно. Местные власти обратили внимание на молодого автора. В 1774 г. его назначили инспектором школ в Комо, а вскоре произвели в профессора физики. На своем новом месте со всей серьезностью Вольта принялся за работу. Он ставит перед собой широкие задачи в области образования. Он подает Ведомству просвещения специальную записку, в которой доказывает необходимость коренных реформ методов преподавания.

Однако не в области администрации протекала дальнейшая деятельность Вольта. Уже через год, в 1775 г., он выполнил одну работу, доставившую ему мировую известность: это был знаменитый электрофор Вольта. Этот аппарат построен на принципе электрической индукции, ставшей предметом внимательного изучения еще в 50-х годах XVIII в.

Исследование явлений электрической индукции имело большое значение в развитии учения об электричестве и оказалось необычайно плодотворным. Именно глубокое изучение этого явления указало Фарадею путь к разрешению выдвинутой современной ему наукой проблемы «превращения магнетизма в электричество», т. е. создания электромагнитного генератора электрической энергии, который знаменует собой эру практического применения электрического тока. Изыскания Фарадея в области электромагнитной индукции относятся к 20—30-м годам XIX в. Но уже ранние исследователи, изучавшие явление электрической индукции, отдавали себе отчет в том, с каким важным вопросом они имеют дело.

В самом деле, необычайно любопытным явлением представлялась способность наэлектризованного тела вызывать в другом теле электрические заряды.

Это загадочное явление вызывало особый интерес у тех исследователей, которые занимались вопросами теории электричества. Как раз к этому времени (50-е годы XVIII в.) эти вопросы усиленно начинают разрабатываться во многих странах. Франклин выдвигает свою унитарную теорию, которой противопоставлялась теория, известная под названием дуалистической. Открытие электрической индукции подкрепило, пожалуй, воззрения сторонников этой теории.

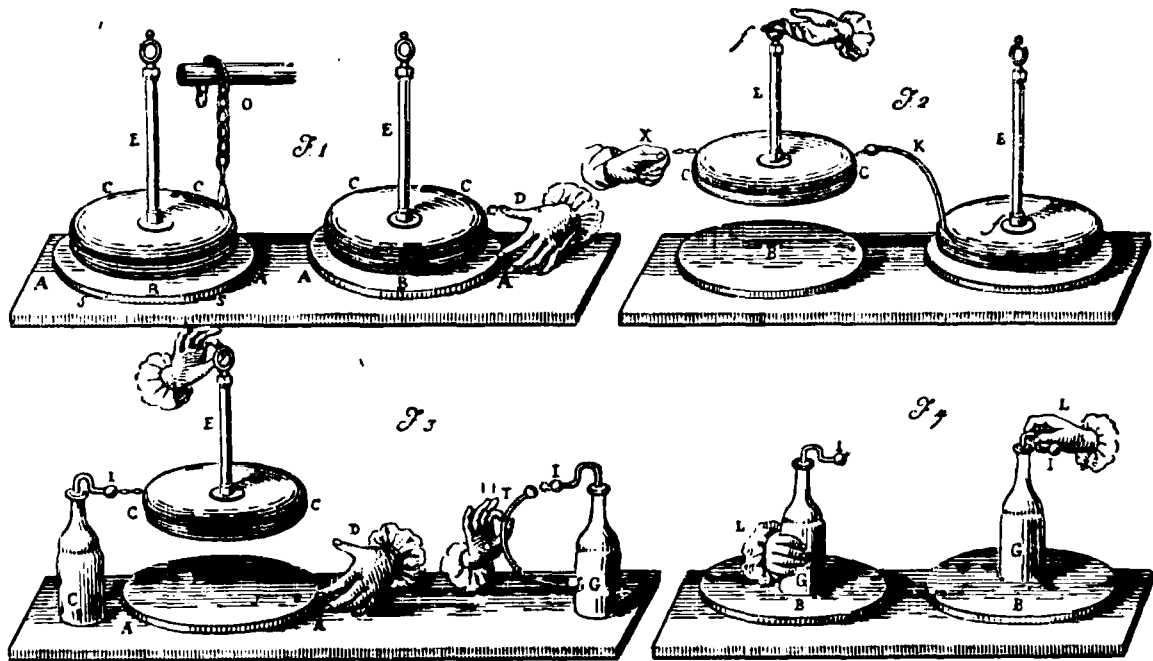
Вольта был одним из тех ученых, которые тщательно изучали электрическую индукцию, и его изыскания увенчались изобретением электрофора.

Конструкция аппарата Вольта изображена на таблице III. Основные его части состоят из двух дисков: смоляного и металлического. Первый диск наэлектризован (посредством трения или ударами меха) отрицательно. Медный диск отделен от смоляного тонким слоем воздуха. Посредством индукции в медном диске возбуждаются положительные заряды на стороне, обращенной к смоляному диску, а на противоположной стороне находится отрицательное электричество. Последнее можно легко отвести в землю. Таким образом диск будет заряжен положительно. Если снять медный диск со смолы, соответственно его изолировав, то этот положительный заряд можно перевести на другое тело, затем медный диск можно опять наложить на смоляной и произвести с ним ту же операцию, и так сколько угодно раз.

Таким образом Вольта нашел новый способ возбуждения электрических зарядов, используя явление электрической индукции. О своем открытии он сообщил 10 июня 1775 г. известному английскому ученому Дж. Пристлею, автору объемистого труда по истории учения об электричестве. В письме к Пристлею Вольта, излагая сущность своего аппарата, отмечает, что хотел бы назвать его «вечным электрофором». Слово электрофор в буквальном переводе значит «электроносец».

Электрофор Вольта тотчас же обратил на себя внимание всех тех, кто занимался экспериментами в области электричества. Изобретатели различных стран не замедлили заняться усовершенствованиями аппарата Вольта, и таким образом появился новый вид

ТАБЛИЦА III



электростатического генератора — электрофорная машина.

О своем открытии Вольта доложил (май 1776 г.) также начальству — министру и губернатору Ломбардии. В результате его назначили профессором экспериментальной физики в Комо.

В том же году Физическое общество в Цюрихе избрало его своим членом. Итак, имея немногим больше 30 лет от роду, Вольта уже завоевал прочное положение в науке, но это были только первые шаги. Расцвет его деятельности, знаменующий собой целую эпоху в истории учения об электричестве, был еще впереди.

Вольта занимался не только вопросами электричества, в его трудах мы находим немало изысканий по химии. Необходимо отметить, что в этом отношении он не представляет исключения. Можно указать на целый ряд выдающихся ученых, как, например, Джозеф Пристлей, Генри Кэвендиш, Гемфри Дэви, Михаил Фарадей и многие другие, которые прославили себя и в физике и в химии.

Работа в двух, казалось, различных областях неизменно оказывалась весьма плодотворной. Многие достижения учения об электричестве становятся понятными, если учесть, что ученые, с именами которых эти достижения связаны, работали в области химии.

Исследования Вольта по химии начались в 1776 г. Первые его изыскания относятся к горючим газам. Следующий случай побудил его заняться этим вопросом. Как-то Вольта пробирался в лодке среди тростниковых зарослей вдоль берегов Лаго Маджиоре (озеро в северной Италии). Болтая палкой по грязному дну, он увидел весьма любопытное явление. Вначале на поверхности воды вскакивал пузырь, а затем множество газовых пузырьков уносилось в воздух. Это наблюдение сильно заинтересовало Вольта, и он стал внимательно его изучать. В результате он доказал, что природный горючий газ содержится не только в угольных копях, и вообще в минеральном царстве, как это думали многие химики, а что разложение животных и растительности неизменно приводит к образованию горючего газа, который всегда находится на дне стоячих вод и в болотах. Отсюда и название болотного газа.

Исследования горючих газов, произведенные Вольта, положили начало многим другим работам. Первая из них завершилась изобретением электрического пистолета, названного им «электрофлого-пневматическим» (огненно-воздушным). В дальнейшем пистолет просто назывался именем Вольта. Это изобретение представляло собой не больше как игрушку. Как говорит его биограф знаменитый французский ученый Араго, «оно из рук физики перешло в руки фокусников, забавляющих на площадях праздных зевак». Но работа над пистолетом привела Вольта к весьма интересной мысли, лежащей в основе электрической телеграфии с двумя проводами. В письме к Карлу Барлетти, профессору в г. Павии, Вольта отмечает следующее: «Железная проволока, укрепленная на деревянных столбах, идет от одного места к другому, например, из Комо в Милан. К главной линии в Комо присоединяется лейденская банка; к главной линии в Милане — пистолет. Разряд в первой вызывает выстрел».

Письмо к Барлетти относится к 1777 г. Передача электрической энергии на такие значительные расстояния с целью заставить ее совершить определенную работу была осуществлена больше чем через полвека, когда был изобретен электромагнитный телеграф. Но в XVIII в. такая идея, да еще на базе электростатики, была необычайно смелой. В этом отношении Вольта уже на раннем этапе своего научного творчества проявляет те ценные качества новаторов в науке, которым дано значительно опережать свой век.

Опыты с горючими газами привели еще к двум другим изобретениям. Первое из них — водородная лампа, или, как ее называли, «постоянная лампа Вольта», а второе — эвдиометр, прибор, употребляемый при газовом анализе. Эвдиометр Вольта дал в руки экспериментаторов аппарат, незаменимый при изучении свойств воздуха, и как таковой он вошел в широкий научный обиход. Такие выдающиеся естествоиспытатели, как Гумбольдт и Гей-Люссак, тщательно испытали изобретение Вольта и пришли к твердому и непреложному выводу, что способ, предложенный Вольта, является наилучшим.

Нарушая хронологическую канву в изложении биографии Вольта, отметим еще другие его работы, относящиеся также к области газов. В 1793 г. он занялся вопросом о расширении воздуха. Поставленные опыты позволили Вольта вывести следующее заключение: «Упругость определенного объема атмосферного воздуха пропорциональна его теплу». Последующие изыскания Гей-Люссака и Дальтона показали справедливость этих выводов.

Работая в области химии, Вольта не прекращал своих исследований по электричеству. Вслед за открытием электрофора он занялся интересовавшим электриков вопросом о степени наэлектризованности тела в зависимости от его величины, формы и массы. До Вольта было уже известно, что сплошное и полое тело принимают одно и то же количество электричества, если поверхность этих тел одинакова. Далее, французский ученый Лемонье обнаружил, что большую роль играет здесь и форма тела. Два тела принимают одно и то же количество электричества, если они имеют равную поверхность и одинаковую форму. Вольта занялся этим вопросом, и после многих опытов обобщил все те отдельные замечания, которые были высказаны до него. Он показал, что выгоднее наэлектризовать ряд тонких проволок, нежели одну толстую. Из 16 наэлектризованных тонких посеребренных проволок, каждая длиной в 1 000 футов, он построил «громоносную машину». Разряд, полученный от такой машины, был достаточен для того, чтобы убить и крупное животное.

Из других работ Вольта в области электростатики наиболее значительны те, которые привели его в дальнейшем к весьма важным изобретениям в области экспериментальной техники. Это были предложенные им конструкции конденсатора и электрометр.

Вопрос об измерении электрических зарядов, т. е. количественный подход к изучаемым электрическим явлениям, встал почти одновременно с возникновением учения об электричестве. Уже Вильям Гильберт, основатель этой отрасли естествознания (1540—1603), соорудил нечто вроде измерительного прибора. Однако лет около полутора десятилетия экспериментаторы занимались почти одним качественным изучением электри-

ческих явлений, и только с середине XVIII в. исследователи поняли, что строго научное изучение физических явлений возможно только тогда, когда экспериментальная техника будет вооружена измерительными приборами.

В 50-е годы XVIII в. в ряде стран появляются первые конструкции электрометра. Самый замечательный из них был сделан русским академиком Г. В. Рихманом (1711—1753). Основное его сочинение в области электричества так и называется: «Электрический указатель и его использование при определении электрических явлений». Но в ученом мире обратили внимание не столько на научный трактат Рихмана, сколько на его трагическую гибель во время опытов с атмосферным электричеством.

В течение ряда лет единственным измерительным прибором был электроскоп с бумажными шариками. И вот в 1781 г. за усовершенствование этого прибора принялся Вольт.

То, что он внес в электроизмерительный прибор, на первый взгляд кажется совершенно незначительным. Он заменил бумажные шарики сухими соломинками. Но эффект получился поразительный. Электрометр Вольты, снабженный шкалой, оказался необычайно чувствительным и реагировал на весьма малые заряды. Пользуясь своим электрометром, Вольт провел много опытов с атмосферным электричеством. Прибор был настолько надежен, что Вольт по нему мог обнаружить наличие в любой момент электрических зарядов в воздухе.

Открытия и исследования Вольты становились широко известными благодаря тому, что он не откладывал их опубликования. Еще до выхода в свет своих работ он обычно писал о новом открытии или изобретении крупнейшим научным авторитетам. Много значило и то обстоятельство, что Вольт находился в постоянном общении с виднейшими учеными за пределами своей страны. В 1777 г. после изобретения электрофора Вольт получает от Министерства просвещения заграничную командировку. Побыв в ряде стран, он установил личный контакт со многими учеными. С некоторыми из них, как, например, с знаменитым швейцарским ученым Соссюром (1740—1799)

он производил совместные опыты. За границу Вольта вообще ездил весьма часто. Он побывал почти во всех странах Европы, но чаще всего ездил во Францию, где завел близкое знакомство с Бюффеном, Лапласом, Лавуазье и др. Во Франции же Вольта встретился с Франклином (1782) и неоднократно бывал у него. Франклин в это время был уже на склоне лет и творческими изысканиями не занимался, но он охотно вел с Вольта беседы на тему о проблемах учения об электричестве.

Заграничные поездки Вольта использует и для выступлений в научных корпорациях, где докладывает о результатах предпринятых им исследований, демонстрируя при этом свои изобретения.

Видное положение, которое занял Вольта в науке, побудило многие научные организации Италии, Швейцарии, Франции и Англии избрать его своим членом. Парижская Академия наук избрала Вольта в 1782 г. членом-корреспондентом, а Лондонское королевское общество — действительным членом в 1791 г.

Таким образом к моменту выхода в свет трактата Гальвани Вольта был уже вполне сложившимся ученым, занимавшим видное положение в научном мире.

Вольта ознакомился с сочинением Гальвани вскоре после его опубликования. Уже в марте 1792 г. Вольта принялся за повторение опытов, описанных Гальвани. Эти опыты укрепили Вольта в справедливости выводов его соотечественника, и он долго их разделял. В письме к доктору Баронио, датированном 3 апреля 1792 г. — оно было опубликовано в итальянском «Физико-медицинском журнале» — Вольта излагает результаты проделанных опытов и вполне соглашается с заключениями Гальвани. Он подчеркивает, что возбужденное в лягушке электричество свойственно животному от природы и не появляется откуда-нибудь извне. Это — «врожденное животное электричество». Он также уподобляет препарированную лягушку лейденской банке и расходится с Гальвани только в том, что по его мнению нерв и внутренняя часть мышц обладают отрицательным зарядом, а наружная часть мышцы — положительным. Гальвани же принимал, что нерв заряжен положительно.

Таких же взглядов Вольта придерживался и в первом своем публичном выступлении по поводу открытий Гальвани, когда 5 мая 1792 г. в актовом зале Павийского университета он произнес речь на эту тему. Она была напечатана в «Физико-медицинском журнале» под названием «Статья первая о животном электричестве». Статья состоит из двух частей: первая «Открытие синьора Гальвани и сопоставление его со сведениями, имевшимися до сих пор относительно животного электричества»; вторая «Новые опыты, предпринятые нами над животным электричеством».

Вводную часть своего выступления Вольта посвящает тому исключительному значению, которое имеет для естествознания изданный труд Гальвани, открывающий заманчивые перспективы научным исследованиям.

Переходя к сущности опыта Гальвани, Вольта подчеркивает, что главную роль в наблюдаемом явлении следует приписать отнюдь не проводящей дуге, соединяющей мышцу и нерв. Проводящую дугу он рассматривает как разрядник конденсатора, назначение которого, говоря словами Вольта, «собирать уже имеющееся электричество и привести в равновесие электрический флюид, перенося оттуда, где он преобладает по количеству или по напряжению, туда, где его нехватает, почему и называется проводящей дугой, или разрядником».

Таким образом, утверждает Вольта, первопричину необходимо искать в самом органе животного, которое обладает определенным электрическим зарядом, причем «электрический флюид в соответствующих частях неуравновешен». Мышечные движения вызываются именно тем, что «проводящая дуга» приводит тело животного в смысле его электрического заряда в состояние равновесия.

Итак, по словам Вольта, Гальвани принадлежит великое и оригинальное открытие, а именно открытие «животного электричества». Ни о чем подобном до этих пор естествознание не знало, если не считать, что незадолго до этого ученые познакомились с так называемыми электрическими рыбами. Но этим свойством обладают только некоторые виды рыб, имеющих для этого специальные органы. Гальвани

же открыл, как считал он сам и вместе с ним и Вольта, новый вид электричества, присущего всем животным.

Необходимо, однако, отметить, что еще до Гальвани в научном мире была уже речь о «животном электричестве». Высказывались предположения, что ряд функций живых организмов вызывается какими-то «электрическими причинами». Вольта подчеркивает, что заслуга Гальвани этим отнюдь не умаляется, так как никто до него экспериментально этого факта не доказал. Вольта указывает на открытие электрической природы молнии Франклином. Известно, что до опытов американского исследователя были уже высказаны утверждения о тождестве электричества и молнии. Однако первым экспериментально это доказал Франклин и именно ему принадлежит честь этого открытия.

Вольта приводит еще один аналогичный пример. Французский ученый Лемонье открыл, что в атмосфере имеются электрические заряды не только во время грозы, но и в ясную погоду. Как говорит Вольта, Лемонье открыл в атмосфере «спокойное и тихое электричество». В животном мире «грозовое электричество» наблюдается у электрических рыб, оглушающих и убивающих своими электрическими разрядами». «Спокойное и тихое электричество» — это то, которое открыл Гальвани. В смысле практической пользы большое значение имело открытие «грозового электричества», изучение его дало возможность уберечься от губительного действия молнии. Что же касается «животного электричества», то именно открытие Гальвани таит в себе широкие возможности в смысле использования могучей силы природы — электричества.

Заманчивые перспективы, которые открывали исследования Гальвани, побудили Вольта всецело отдаться исследованию этого вопроса и заняться новыми опытами. Вольта признает, что свои изыскания он начал не без некоторого предубеждения, сомневаясь в успехе: «Настолько поразительными казались мне описанные явления, которые, если и не противоречили, то слишком превосходили все то, что до сих пор было известно об электричестве, такими чудесными они мне показались».

Поборов в себе робость, Вольта после повторения опытов Гальвани, став сам, как он пишет, очевидцем и творцом всех этих чудес, окончательно превозмог недоверие, которое превратилось в «фанатизм». И уже через месяц он мог утверждать, что, принявшись за повторение опытов Гальвани, расширял и разнообразил их «не без того, чтобы не сорвать с них кое-какой плод новых знаний».

Физик Вольта прежде всего обращает внимание на количественную сторону. Он приступает к измерению «силы электричества». «Ведь никогда, — подчеркивает он, — нельзя сделать ничего ценного, если не сводить явлений к градусам и измерениям, особенно в физике. Как можно было бы учитывать причины, если не определять не только качество, но и количество и силу эффектов».

Таким образом открытие физиолога Гальвани сразу же становится предметом исследования физика Вольты и этим, несомненно, объясняется тот успех, которым завершилось изучение нового достижения естествознания.

Как же измерять «силу животного электричества»? К этому времени экспериментаторы обладали уже определенной электроизмерительной техникой. Уже отмечалось, что сам Вольта в этой области сделал немало, предложив свой электромметр, а затем снабдив его конденсатором. Теперь он решил определить, какое количество «искусственного электричества» необходимо для того, чтобы вызвать мышечные сокращения в препарированном животном. Пользуясь самыми чувствительными измерительными приборами, он обнаружил, что для этого «достаточно совершенно невероятного по своей слабости электричества». Следовательно, в случае «животного электричества» экспериментаторы имеют дело с ничтожно малыми по своей величине зарядами, и препарированное животное является по выражению Вольты «животным электромметром» (электроскопом), несравненно более чувствительным, чем все известные тогда и считавшиеся совершенными приборы. «Животный электромметр», указывает Вольта, дает заметные признаки электричества даже при таком заряде лейденской банки, которого нехватает, чтобы привести в движе-

ние самые тонкие золотые листочки электроскопа. «Животным электрометром» в опытах Вольта служили не только лягушки, но и соответственным образом препарированные небольшие животные, как, например, ящерицы, саламандры, мыши. Все они оказывалось обладают теми же свойствами.

Пока Вольта повторял опыты Гальвани, он во всем соглашался с ним, но стоило ему только предпринять самостоятельные изыскания, как сразу же начались расхождения. Уже в первом своем публичном выступлении Вольта отмечает, что уподобление «животного электричества» лейденской банке не согласуется с тщательно поставленными опытами. Воздавая должное трудам Гальвани, преклоняясь перед его заслугами, Вольта, однако, не скрывает возникших разногласий и когда их накопилось столько, что Вольта вынужден был пересмотреть всю концепцию Гальвани, то он решительно от нее отказался.

Но путь к новой точке зрения был далеко не гладким. Опыты, заронившие сомнение в справедливости утверждений Гальвани, необходимо было тщательно проверять и внимательно углублять. И такой ученый, как Вольта, не сразу мог отказаться от того, что само собой, казалось, вело исследование по инстинктому пути.

В первой его статье мы, например, находим, описание следующего опыта: «Я привязываю или прикрепляю двумя или тремя большими булавками лягушку к какой-нибудь дощечке или к столу, стараясь не повредить ее, или же предлагаю одному из сотрудников держать ее за лапки. Затем я покрываю какую-нибудь часть ее туловища (лучше всего спину или поясничную часть) кусочком тонкой свинцовой или оловянной пластинки (лучшими являются такие листочки в книжечках, которые потребляются позолотчиками для ложного серебрения), а к другой части, к лапкам, например, или к бедрам, либо выше, либо ниже, я прикладываю ключ, серебряную монету, ручку ложки или какую-нибудь пластину, но только из совершенно другого металла, а не из олова или свинца. Наконец, я соединяю между собой эти две обкладки, либо непосредственно, приближая ту, которая под-

вижна, к краю другой, лежащей поблизости, до взаимного прикосновения, либо соединяю их при помощи третьего металла, например, латунной проволоки, играющей роль проводящей дуги. Тогда моя лягушка охватывается судорогами почти во всех членах, где больше, где меньше, а мышцы лапок начинают особенным образом дрожать, брыкаться и подскакивать».

Этот опыт Вольта сам подсказывал ему, в какую сторону необходимо направить изыскания. Выяснилось, что непременным условием опыта является применение двух различных металлов. Экспериментатор должен был задуматься над ролью, которую в наблюдаемом им эффекте играют металлы. Но Вольта вначале этого не замечал.

Однако надо было как-то объяснить опыты с металлами или, как Вольта их называет, обкладками и показать, какую именно роль они играют.

Вольта дает следующие объяснения. Дуга (как проводник) является непременным ингредиентом; без участия такого проводника опыт не удастся. Роль его заключается в том, чтобы «ускорять и значительно усиливать приток и распространение электрического флюида с одной части на другую в живом теле». В «естественном состоянии» «электрический флюид», стремясь переходить с одной части тела на другую, не может, однако, совершить свой круговорот так, как в случае применения хорошего проводника в виде металлической дуги, ибо на своем пути «электрический флюид» встречает гораздо худшие проводники, как, например, мышцы, нервы, жидкости.

Иными словами, роль металлических пластинок сводится Вольта только к роли пассивных проводников. Сами они не принимают непосредственного участия в «токе электрического флюида». Внешне такое объяснение казалось стройным и логическим. Главное оно не только не нарушало взглядов на «животное электричество», а вполне их подтверждало.

Но все же такое толкование не объясняло и не могло, разумеется, объяснить, почему же, если металлы служат только проводниками, то для опыта необходимо брать именно разнородные. Ответа на этот вопрос Вольта не дает. Он просто его обходит.

И лишь много времени спустя, когда экспериментальные данные все настойчивее выдвигали именно его, Вольт повел свои изыскания в совершенно ином направлении, приведшем его к выводу, что им открыт новый вид электричества — «электричество от соприкосновения». Это открытие привело к изобретению нового источника электрического тока.

Но к этим выводам Вольт пришел после ряда исследований, постепенно заставивших его признать, что положение Гальвани не является непреложной истиной.

В «Статье второй о животном электричестве», напечатанной в 1792 г. в т. 3 «Физико-медицинского журнала» уже намечается отход Вольты от позиций Гальвани, хотя основные воззрения последнего Вольт еще разделяет.

Прежде всего Вольт удалось дать правильное объяснение явлений, описанных в первых двух частях трактата Гальвани. Рядом опытов он показал, что сокращение мышц лягушки вызывается тем, что последняя находится «на пути электрического разряда». Эффект, который Гальвани наблюдал при разрядке кондуктора электростатической машины, Вольт получил при помощи «весьма малого разряда лейденской банки, недостаточного даже для появления искры, и иногда также для движения чувствительного электрометра». Судорога в мышцах лягушки, заключил Вольт, вызывается «током электрического флюида». Последний имеет место и при самом малом разряде, при котором искры и не наблюдаются. Важно только, чтобы «такие разряды либо непосредственно, либо при помощи других проводников направлялись в тело лягушки».

Вольт удалось получить этот эффект и другим путем. Он произвел разряд кондуктора электрической машины настолько сильный, что человек, извлекивший искру, испытывал «сотрясение до самых ног». Лягушка помещалась на большом относительно расстоянии. Она лежала на столе «по соседству с каким-нибудь другим хорошим ненаэлектризованным проводником», находясь, таким образом, в стороне от пути электрического разряда, и все-таки эффект был тот же.

Чем же это объясняется, как это могло про-

изойти? — спрашивает Вольта. Ответ он находит в явлении электрической индукции, которым объясняется «наибольшая часть феноменов», как, например, свойство острия, действия электрофора, конденсатора и мн. др. «Итак, — отмечает Вольта, — ничего поразительного нет во всех тех опытах, которые описаны в 1 и 2 частях сочинения синьора Гальвани».

В самом деле эти явления, побудившие Гальвани продолжать и углублять свои опыты, не представлялись для физики столь загадочными. Историческое значение работ Гальвани заключается в опытах, описанных в третьей части «Трактата о силах электричества при мышечном движении».

Но она и содержит основную ошибку. Когда Вольта писал свою «Вторую статью», он ошибки этой еще не нашел, он все еще разделял взгляды Гальвани и, касаясь опытов последнего, писал: «Я нисколько не хочу умалить заслугу уважаемого автора и вовсе не хочу сказать, что указанные опыты малоценны или не имеют никакого значения. Они прекрасны в своем роде и, что важнее, привели его к великому и изумительному открытию животного электричества, врожденного и свойственного органам, что было превосходно показано им в 3 части того же сочинения и чему я постарался воздать должную похвалу, сделав это с величайшей охотой в предшествующей речи. Ценность этой третьей части сочинения Гальвани, содержащей указанное замечательное открытие, навсегда останется полною и неоспоримою, если бы даже были выброшены другие части как бесполезные, хотя они на самом деле не таковы и имеют все же свою ценность».

Вольта, следовательно, вначале своих исследований полностью разделяет теоретические воззрения Гальвани, хотя сами опыты подсказывали иные выводы.

В «Статье первой», как уже было отмечено, говорится об опыте, подтверждающем тот факт, что в руках Вольта был гальванический элемент, но он этого не заметил. В следующих работах Вольта имеются описания поразительных опытов, которые наконец-то заставили его пересмотреть вопрос о «животном электричестве» и привели его к правильным выводам.

В «Статье второй» Вольта рассказывает о том, что,

желая установить, мышечные ли волокна или нервы подвергаются возбуждению при прохождении «тока электрического флюида», он проделал следующий эксперимент: «Я употребляю следующий прием: к кончику языка прикладывается оловянная или свинцовая пластинка чистая и блестящая, а на середину самого языка кладется золотая или серебряная монета, серебряный шпатель или ложка, затем оловянная или свинцовая пластинка, в которую упирается кончик нашего языка, приводится в соприкосновение с ручкой этой ложки или шпателя, или же с монетой. При таком только методе вы почувствуете такой же кисловатый вкус на языке, который чувствуется на нем, когда вы располагаете его против небольшой кисти или ветерка из искусственного наэлектризованного проводника на таком расстоянии, чтобы не проскакивали искры. И здесь прохождение электрического флюида от одной части языка к другой, вследствие простого приложения двух металлов и установления между ними сообщения, вызывает точь в точь такое же самое ощущение, тот же кислый вкус, но уже не слабый, а напротив, довольно сильный, причем не происходит никакого сокращения, никакого движения в языке, таком подвижном и раздражительном».

В этом случае Вольта опять рассматривал металлы лишь как «некоторую проводящую дугу». Поразительнее же всего то, что как Вольта сам говорит об этом опыте, он «доказывает, что переход электрического флюида с одного места на другое совершается постоянно и непрерывно».

Иными словами, он ясно говорит об электрическом токе. Это было действительно новым словом в науке, приведшем к созданию учения об электродинамике. Однако Вольта сам еще не отдавал себе отчета в значении своих опытов. Лишь через два года, в 1794 г., он совершенно ясно понял роль металлов в своих опытах. Работы, опубликованные до этого года, свидетельствуют о том, как часто он приближался к истине и как неизменно он от нее отклонялся. Отметим, например, что уже в 1792 г. Вольта, касаясь применения металлов в своих опытах, говорит о группах различных металлов. Перед нами, следовательно, зарождение идеи, приведшей к «ряду Вольта», о котором

речь будет впереди, в связи с изобретением «вольтова столба». Однако свою мысль Вольта высказал только в примечании, оговорившись, что эти его изыскания не имеют особенно большого значения и что он их откладывает до «более удобного времени».

Это время наступило через восемь лет, когда он построил свой знаменитый «вольтов столб».

Созданию электрохимического генератора предшествовала многолетняя экспериментальная работа, которая могла быть осуществлена только после того, как Вольта признал ошибочными основные положения Гальвани в третьей части «Трактата о силах электричества».

Полный отход Вольта от позиций Гальвани относится к 1794 г. Этим годом датировано начало его работы, озаглавленной «Новая статья о животном электричестве». В ней Вольта выступает уже как противник воззрений Гальвани.

Раньше чем рассмотреть этот труд Вольта, необходимо отметить, что уже к концу 1792 г. он пришел к мысли о том, что здание, воздвигнутое Гальвани, только кажется стройным, и что оно собственно построено на непрочном основании. Что Гальвани в первых двух частях своей работы неправильно объясняет результаты опытов, у Вольта давно сомнений уже не было. Поставленное им огромное количество разнообразных опытов и сделанные при этом наблюдения неуклонно подрывали убеждение в справедливости выводов Гальвани вообще. В этом отношении характерно письмо Вольта к Джованни Альдини, племяннику Гальвани, одному из самых ярых защитников воззрений автора «Трактата о силах электричества при мышечном движении». Письмо это датировано 24 ноября 1792 г. и опубликовано в «Физико-медицинском журнале» в 1793 г. под названием «Статья третья о животном электричестве».

В этом произведении Вольта, ссылаясь на свои опыты и наблюдения, пишет: «Теория и объяснения Гальвани, которые вы стараетесь подтвердить, в большей своей части отпадают, и все здание угрожает обрушиться. Тем не менее, остается материал в виде прекраснейших новых фактов в его оригинальных опытах и вызванные ими новые открытия, таким об-

разом, этот ценнейший материал остается для другого здания, если не более прекрасного, то по крайней мере более прочного, которое можно будет возвести».

Возведение этого здания выпало на долю Вольта, и надежный фундамент был заложен им тогда, когда он разгадал роль металлов в своих опытах.

Труднее было объяснить то обстоятельство, что опыт удавался и при применении одного и того же металла. Факт этот сделался самым веским аргументом в доводах гальванианцев, как называли сторонников «животного электричества». Вольта по этому поводу замечает, что необходимо еще тщательно исследовать, так ли это. В приведенном выше письме к Альдини он подчеркивает: «Если и бывают весьма редкие случаи, в которых оказывают действие также металлы или обкладки, кажущиеся нам одинаковыми, то, однако, они одинаковы быть может не полностью».

Во всяком случае этот вопрос подлежал самому внимательному изучению, и именно сюда Вольта направил свои изыскания, приведшие его к новым выводам, изложенным в сочинении под названием: «Новая статья о животном электричестве».

Это произведение, напечатанное также в «Физико-медицинском журнале», представляет собой три письма Вольта к итальянскому профессору А. М. Вассали. Первое датировано 19 февраля 1794 г. Оно содержит развернутое изложение новых взглядов Вольта, резко расходящихся с установившимися уже в научных кругах воззрениями Гальвани.

Вольта утверждает, что для объяснения опытов Гальвани, описанных им в третьей части «Трактата», вовсе не надо предполагать, что существует особый род электричества — «животное электричество». Дело вовсе не в животном, в данном случае, не в лягушке. Эффект вызван тем, что Гальвани, сам того не подозревая, привел во взаимодействие два разнородных металла; лягушка очутилась между ними и только выполнила вспомогательную роль, которую может заменять всякое другое «влажное тело». Подергивания лягушки объясняются тем, что через нее пропущен ток, возбуждаемый «вследствие прикосновения металлов».

Вот что пишет Вольта Вассали: «Что вы думаете

о так называемом животном электричестве? Что касается меня, то я давно убедился, что все действие возникает первоначально вследствие прикосновения металлов к какому-нибудь влажному телу или к самой воде. В силу такого соприкосновения электрический флюид гонится в это влажное тело или в воду от самих металлов, от одного больше, от другого меньше (больше всего от цинка, меньше всего от серебра). При установлении непрерывного сообщения между соответствующими проводниками этот флюид совершает постоянный круговорот. И вот, если в состав этого проводящего круга или в какую-нибудь его часть входят в качестве соединительного звена бедренные нервы лягушки, рассеченной таким образом, что только по одним этим нервам должен пройти весь или почти весь электрический ток, или, если таким звеном является какой-либо другой нерв, служивший для движения того или иного члена тела какого-либо другого животного, пока и поскольку такие нервы еще сохраняют остаток жизнеспособности, то тогда управляемые такими нервами мышцы и члены тела начинают сокращаться, как только замыкается цепь проводников и появляется электрический ток; и они начинают сокращаться каждый раз, когда после некоторого перерыва эта цепь снова замыкается».

В этих нескольких строках Вольта, как видим, полностью разрушил воздвигнутое Гальвани здание, на котором покоились представления о «животном электричестве», и сжато изложил свою идею о новом, до того науке неведомом, виде электричества. Вольта определенно говорит о «постоянном круговороте» электрического флюида, т. е. об электрическом токе. Спорадически этот термин употреблялся исследователями до Вольта. И Гальвани, например, говорит: «Течение электрического флюида», «электрический флюид совершает некоторый круговорот» и т. п. Однако никто до Вольта не вкладывал в этот термин того содержания, которое и поныне с ним связывается.

Явление электрического тока в собственном смысле слова было впервые открыто именно Вольта, поскольку он об этом первый сознательно говорит. Исследователи, которые наблюдали это явление до Вольта, или вовсе его не замечали или в нем не разби-

рались. В этой связи упоминались уже имена Лемонье и Франклина. В истории науки известен, например, и такой поразительный факт: швейцарский ученый Жан-Жорж Зульцер за четверть века до Вольта проделал тот же опыт, прикладывая металлы к языку, и испытывал те же ощущения. Зульцер, впрочем, меньше, чем другие, был подготовлен к тому, чтобы дать правильное истолкование этому опыту.

Об опыте Зульцера Вольта узнал после того, как опубликовал свой опыт. Вольта внимательно прочитал сочинение Зульцера и убедился в том, что изыскания последнего нельзя считать началом учения об «электричестве металлов». В самом деле, в произведении Зульцера содержится следующее: «Если два куска металла, один оловянный, другой серебряный, соединить таким образом, чтобы оба края их были на одной плоскости, и если приложить их к языку, то в последнем будет ощущаться некоторый вкус, довольно похожий на вкус железного купороса, в то же время каждый кусок металла в отдельности не дает и следа этого вкуса. Невероятно, чтобы при соединении этих двух металлов происходило некоторое растворение одного или другого и чтобы растворенные частички проникли на язык. Следует заключить, что соединение этих металлов производит в одном или другом из них или в обоих вместе колебание в их частичках и что это колебание, которое непременно должно действовать на нервы языка, и вызывает в нем упомянутый вкус». †

Эти строки Вольта привел в своем письме к Альдини специально для того, чтобы показать, как мало Зульцер может считаться его предшественником.

Свое открытие Вольта сделал совершенно самостоятельно, ставя все новые опыты и неизменно разнообразя их. Наконец, он пришел к истине.

В письме к Вассали содержится ряд опытов, произведенных Вольта, из которых Вольта выделяет следующий как особенно «поразительный и характерный». Вольта изолировал четырех человек, образовавших цепь. Руки двух крайних участников опыта были мокрые. В одной руке они держали разнородные металлы: первый — цинковую пластинку, второй — серебряную. Первый, стоявший с краю, прикасался паль-

цем свободной руки — также мокрой — языка соседа, а этот касался пальцем глазного яблока своего соседа, т. е. третьего стоявшего в ряду. Этот последний и крайний в ряду держали мокрыми пальцами свежепрепарированную лягушку один за лапку, а другой за спину. И вот, когда цепь замыкалась — посредством соприкосновения металлических пластинок, — то получилось следующее. На языке, к которому прикасался пальцем человек, державший в другой руке цинк, ощущался кислый вкус, а в глазу другого человека появилось ощущение света, а лапки лягушки начали сильно сокращаться.

Этот опыт, как и многие другие, подчеркивает Вольта, убедительно доказывает, что должно говорить не о «животном электричестве», а об «электричестве металлическом». Активную роль выполняют металлы: именно они являются «настоящими двигателями электричества», а не «простыми проводниками, или передатчиками».

Большинство физиков как в Италии, так и за границей согласились с утверждениями Вольта. Однако новая точка зрения вызвала отпор со стороны тех, кто оставался на позициях Гальвани. Сам Гальвани в 1794 г. издал анонимное сочинение «Об употреблении и о значении проводящей дуги при мышечных движениях», в котором он резко критиковал мысль о «металлическом электричестве» и упорно отстаивал свои взгляды на «животное электричество».

В защиту этой теории выступали немалочисленные, как говорит Вольта, «гальванианцы». Особенно активное участие принимал в разгоревшейся дискуссии племянник Гальвани, Альдини, опубликовавший в 1794 г. специальное сочинение по вопросу «о животном электричестве». Основным доводом противников Вольта было то, что опыт удастся и с одним только металлом. На это Вольта еще в 1792 г. в письме к Альдини возражал, что металл по своим качествам может быть весьма различен и одинаковость его только кажущаяся. Противники Вольта добились того, что эффект получался без применения металлических пластинок; они употребляли вместо них уголь. Но Вольта никогда не утверждал, что для опыта необходимы только металлы. Нужно лишь, чтобы это были

проводники определенного «класса». В таблице, составленной Вольта и характеризующей различные проводники с точки зрения их «способности возбуждать электрический флюид», фигурирует и древесный уголь, который занимает, правда, последнее место.

Эта таблица помещена в письме к Вассоли, приведем ее полностью.

Таблица

проводников первого класса, обладающих различной способностью возбуждать электрический флюид и прогонять его во влажные проводники, т. е. проводники второго класса

Цинк

.....

Некоторые из тех оловянных листочков, которые неправильно называются серебряной бумагой.

.....

} Различные оловянные листочки

Свинец

Некоторые сорта олова в пластинках, или палочках

Сурьма

Другие сорта олова

Некоторые сорта железа

Висмут

Другие сорта железа

Различные бронзы

Латунь

Медь

Кобальт

Некристаллический железный колчедан

Свинцовый блеск кубический, или же свинцовый колчедан

Платина

.....

Ртуть

Железный колчедан кубический

Мышьяковый колчедан кристаллический

Золото

Серебро

Серая лучистая марганцовая руда

Медный колчедан

Графит

Некоторые куски древесного угля

Пунктирные линии, вставленные между некоторыми телами, обозначают столько-то ступеней расстояния или же различия в ряду той способности, о которой идет речь.

Таким образом исследования Вольта не оставляли никаких сомнений относительно источника электрического тока. Большинство ученых действительно стало на точку зрения Вольта. Однако, как это часто бывало в истории науки, поборники укоренившихся, но явно устарелых представлений не только не были склонны отказаться от ошибочных взглядов, но упорно их отстаивали. Гальвани и его сторонники вступили в полемику с Вольта. Во время этой дискуссии Гальвани умер. Но его последователи еще долго не сдавали своих позиций. Самый тяжелый удар этому течению был нанесен изобретением Вольта.

Это был «вольтов столб», возвестивший новую эру в учении об электричестве. Исходя из представлений о «металлическом электричестве», Вольта создал новый — электрохимический — генератор, неслыханно мощный для того времени источник электричества.

Электрохимический генератор в наши дни не играет основной роли в производстве электрической энергии. Почти всю электрическую энергию для нужд производства и быта, исчисляемую миллиардами киловатт-часов, получают теперь при помощи электромагнитных генераторов, оказавшихся самыми удобными источниками электроэнергии. Иными словами, изобретение Фарадея, а не Вольта лежит в основе современной электрификации народного хозяйства, являющейся могучим фактором развития производительных сил за последнее полувековье. Именно «динамомашинам» (они же служат и двигателями) электрический ток обязан своим повсеместным проникновением.

И все же нельзя переоценить значения «вольтова столба» в истории науки и в истории техники. Прежде всего изобретение Вольта вызвало учение об электрическом токе. Всего через четверть века Ампер уже создал электродинамику, а Ом формулировал свой закон; «магнитное электричество» было открыто много лет спустя.

Вместе с тем изобретение электрохимического генератора вызвало первую волну того мощного технического творчества, которое создало современную электротехнику. Ранние изобретатели-электрики, работавшие над проблемами электрического телеграфа и электродвигателя, имели дело исключительно с «воль-

товым столбом». Последний в модифицированном виде был единственным технически применимым генератором на протяжении более полувека, вплоть до изобретения динамомашин.

Кроме того, и в наши дни электрохимический генератор не вытеснен окончательно. Гальванические элементы и поныне находят себе применение, а в ряде случаев, когда по каким-либо соображениям необходимо получать энергию не с центральной установки, они являются незаменимыми.

Правда, Вольта и его современникам трудно было представить, что несложный и примитивный прибор сыграет такую важную историческую роль. Но им было ясно, что изучение нового вида электричества таит в себе необычайные «возможности» и открывает необъятные перспективы в деле познания «природы».

Что же представляет собой прибор Вольта?

Изобретение Вольта описано им в произведении, опубликованном в 1800 г. в «Philosophical transactions», печатном органе Лондонского Королевского Общества (английская Академия наук) и озаглавлено «Об электричестве, возбуждаемом простым соприкосновением различных проводящих веществ». Сочинение это представляет собой письмо Вольта к Джозефу Бэнксу, президенту Королевского Общества. Оно датировано 20 марта 1800 г. и было доложено Королевскому Обществу 26 июня того же года.

Идея «вольтова столба» состоит в следующем.

Он представляет собой ряд слоев, образованных из двух разнородных металлов (медь или серебро и свинец или цинк) и прокладки между каждой парой; из жидких проводников Вольта применял соленую воду и щелочи. Прокладками служили куски картона, пропитанного этими жидкостями. Столб составлялся из нескольких десятков таких пар, перемежавшихся в той же последовательности.

После исследований, осуществленных Вольта в 1794—1795 гг., этот шаг представлялся совершенно естественным. В самой общей форме идея нового генератора назрела уже тогда. Необходимо было только воплотить ее в техническую форму. Однако для создания некоей законченной конструкции потребовалось немало новых опытов и нужна была недюжинная изо-

бретательская смекалка для создания даже примитивного на наш взгляд аппарата Вольта.

Обращает на себя внимание то, что Вольта с самого начала строил свой прибор не отдельными гальваническими элементами, а соединяя их в батарею. Не имея представления об электродвижущей силе, о силе тока — эти понятия были введены много лет спустя — Вольта эмпирическим путем установил, что мощность его прибора прямо пропорциональна числу гальванических пар (этого понятия во времена Вольта также не было).

В письме к Бэнксу Вольта приводит описание двух видов изобретенного им прибора. Первый — это то, что впоследствии было названо «вольтовым столбом», второй — прототип гальванических батарей.

О том, как был построен «вольтов столб», Вольта рассказывает следующее. Он заготовил несколько дюжин дисков, диаметром в один дюйм, из меди (или серебра) и такое же количество цинковых (или оловянных) равной величины и большое количество кружков из губчатого материала, пропитанного соленой водой. Чтобы жидкость не стекала, губчатые диски по размерам были несколько меньше. Они располагались в следующем порядке: серебряный диск, на нем цинковый, а затем неметаллический. В этой последовательности диски накладывались друг на друга до такой высоты, при которой столб мог держаться, не обрушиваясь.

Столб из 20 «подобных этажей» обладал значительным зарядом. При прикосновении пальцами к верхушке и основанию столба ощущался удар, напоминавший сотрясение, испытываемое при прикосновении к слабо заряженной лейденской банке. Но в отличие от лейденской банки удары от столба повторялись и поразительно напоминали толчки электрического оката, отличительное свойство которого заключается в «без конца повторяющихся ударах».

Удар от столба получался при смоченных водой пальцах; в противном случае кожа не была бы таким хорошим проводником. Для надежности опыта Вольта догадался сделать следующее: нижнюю пластинку столба он соединил проводником с чашкой, в которую была налита вода, и в воду погружал руку. В дру-

гой же руке, совершенно мокрой, он держал металлическую пластинку, которой касался различных частей столба. Оказалось, что сила удара тем больше, чем ближе к вершине та часть столба, к которой он прикасался.

Итак, мощность прибора Вольта зависела от количества пар металлов, его составлявших. Однако большое количество пластинок делало столб неудобным для пользования. Необходимо было приладить особые приспособления, которые охраняли бы его от падения.

Вольта придумал большое количество вариантов. На фиг. 2, 3, 4 таблицы IV изображены приборы, которые являются дальнейшим усовершенствованием первоначальной конструкции. Фиг. 2 изображает прибор, снабженный четырьмя прутьями (непроводниками), поднимающимися от основания столба и составляющими как бы клетку, предохраняющую столб от обрушивания. Все же, если столб состоял из очень большого количества пар пластинок, то он представлял собой довольно громоздкий аппарат. И Вольта, для того чтобы сделать свой прибор удобным и портативным, стал делить его на две и более части, как это показано на рисунке, которые можно рассматривать «как изогнутый столб». Самым лучшим вариантом был тот, который Вольта назвал «прибором с цепью из чашек». Изображение его видно на фиг. 1. Ряд стаканов (в некоторых опытах число их достигало нескольких десятков), наполненных жидкостью (Вольта применял обыкновенную питьевую и соленую воду, а также щелок), соединены цепью металлических дуг. Последние состоят из двух частей — в данном случае из посеребренной меди и цинка. Оба металла спаяны в любом месте выше места погружения в жидкость. Один конец дуги *A* помещен в одну чашку, а другой *Z* — в другую. Таким образом Вольта дошел до мысли, лежащей в основе гальванических батарей.

Испытания нового прибора дали те же результаты, что и испытания со столбом. Опустив одну руку в один стакан, а другую — в другой, экспериментатор испытывал удар, причем сотрясение было тем сильнее, чем дальше стаканы отстояли друг от друга, т. е. чем больше стаканов было между руками.

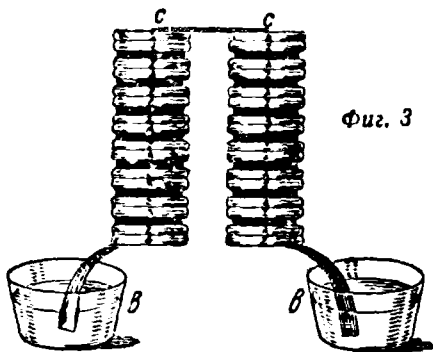
Фиг. 1



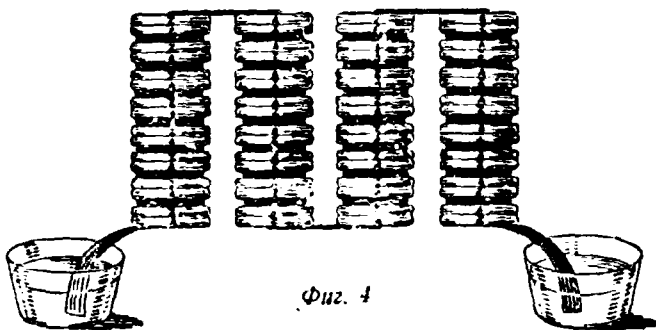
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Какие бы формы Вольта ни придавал своему прибору, в его руках был новый источник электричества, коренным образом отличавшийся от ранее известных. От электростатического генератора он резко отличался тем, что никакой механической энергии на него не затрачивалось: электрические заряды возбуждались не трением, а превращением химической энергии в электрическую (последнего Вольта не уяснял себе; об этом будет идти речь в связи с рассмотрением его так называемой «контактной теории»).

Вольта отметил, что его прибор схож по производимым им эффектам с лейденской банкой: он вызывает такое же сотрясение в руках и т. д. В то же время прибор резко отличался от лейденской банки тем, что состоял из неэлектриков (так назывались тогда проводники). Последние, считалось, не обладали электрической природой. Кстати сказать, изобретение «вольтова столба» окончательно разрушило это неправильное представление.

Новый источник электричества показался его изобретателю сходным по существу с естественным электрическим органом электрических рыб. Поэтому он и решил назвать его «искусственным электрическим органом». «В самом деле, спрашивает Вольта, разве он не состоит также только из проводников? Разве он, кроме того, не активен сам по себе без предварительного заряжения, без всякого электричества, возбуждаемого каким-либо из известных методов, и не действует беспрестанно и безостановочно, вызывая в любой момент более или менее сильные сотрясения, возобновляющиеся при каждом прикосновении, которые при частом повторении создают то же оцепенение органов, как и прикосновение к скату?».

Столб даже по форме напоминал ската. Электрический орган ската, отмечает Вольта, состоит из большого числа проводников, которые, по его мнению, «сильно разнятся друг от друга, благодаря чему они могут быть также двигателями электрического флюида в их взаимных соприкосновениях». Именно этим объясняется явление электрического тока у таких рыб.

Во время опытов Вольта заметил, что его прибор, названный им еще «электродвигательным прибором», производит эффекты, которые ощущаются органами

вкуса, зрения, слуха и осязания. Вольта замкнул цепь следующим образом. Он погрузил руку в чашку с водой, причем чашка имела хорошее сообщение с одним из концов «электродвигательного прибора». К другому концу была присоединена металлическая проволока; к ней он прикладывал лоб, веко, кончик носа. В момент замыкания цепи он чувствовал в месте касания кожи и несколько далее удар и укол. Сохраняя это положение, Вольта испытывал резкую боль (без сотрясения), точно ограниченную местом соприкосновения, причем жжение все возрастало и через несколько времени становилось совершенно невыносимым. Все это прекращалось с размыканием цепи.

Этот опыт убедил Вольта в «постоянстве электрического тока» (в замкнутой цепи), поэтому он говорит о «бесконечной циркуляции электрического флюида».

Необычайные свойства изобретенного им прибора должны были побудить Вольта заняться исканиями в области практического применения электрической энергии. Уже одно название, данное им своему изобретению — «электродвигательный прибор», казалось, предопределяло дальнейшие изыскания, особенно если вспомнить, что деятельность Вольта протекала в эпоху величайших технических сдвигов, в эпоху промышленного переворота. Как образованный физик Вольта, конечно, знал о многочисленных попытках электриков найти практическое применение изучаемой ими силы природы. В этом отношении особенно характерна фигура Вениамина Франклина, который уделял этим вопросам очень много внимания, занимаясь в то же время больше, чем другие его современники, чисто теоретическими проблемами. Необходимо подчеркнуть, что предшественники Вольта имели дело только с электростатическими зарядами и ничего не знали о генераторе, отличающемся «непрерывным действием», т. е. не знали именно того, что является непрерывным условием в деле практического использования электрической энергии.

Вольта не разгадал сущности своего открытия. Единственная практическая польза, о которой он говорит, сводится к применению нового вида электричества в области медицины. В этом отношении он остался до конца последователем Гальвани. Физик

Вольта не пошел дальше медицины. Вот почему он так тщательно исследовал действие своего прибора на различные органы чувств. Вкусовые ощущения он испытывал еще задолго до изобретения столба, когда он прикладывал металлы к языку. Повторные опыты со столбом дали те же результаты с той только разницей, что когда столб состоял из большого количества пар пластинок, язык ощущал не только вкус, но и удар в момент замыкания цепи. Испытав действие тока на осязание и вкус, Вольта перешел к другим органам чувств. Наиболее яркими были зрительные эффекты. Оказалось, что орган зрения также поражается «слабым током электрического флюида». Опыт Вольта заключался в следующем.

Одна пластинка гальванической пары была приложена к главному яблоку или к мокрому веку, другую прикладывали к другому глазу, клали в рот или же брали в мокрую руку. В момент соприкосновения обеих пластинок «получалось прекрасное сверкание».

Значительно труднее были опыты, имевшие целью проверить действие «электрического флюида» на слух. Вот что рассказывает Вольта: «Мне удалось возбудить это чувство после бесплодных попыток возбуждения его только двумя металлическими пластинками (хотя и самыми активными среди двигателей электричества — серебро или золото с одной стороны и цинк с другой) — при помощи моего нового прибора, состоящего из 30 или 40 пар этих металлов. Я ввел довольно глубоко в оба уха нечто вроде металлических зондов с округленными концами и соединил их непосредственно с обоими концами прибора. В тот момент, когда замкнулся круг, моя голова сотрясалась и через несколько мгновений (сообщение не прерывалось) я услышал звук или вернее трудноопределимый шум в ушах. Это было нечто вроде треска или лопания, как если бы кипело какое-то масло или вязкое вещество. Этот шум продолжался, не увеличиваясь, все время, пока круг был сомкнут. Ощущение было очень неприятное, и я опасался его вредных действий на мозг, а потому больше не повторял его».

Оставался еще орган обоняния. Но сколько опытов Вольта ни ставил, никаких результатов получить не удалось — ощущений запаха не было.

Вольта считал, что собранный материал проливает новый свет на проблемы медицины, перед которой отныне открывается «широкое поле для размышлений и перспектив». «Есть над чем подумать, — пишет он, — и анатому, и физиологу, и врачу-практику».

Таковы перспективы, которые рисовались Вольта в связи с его открытием. Следовательно, он, хотя и физик, к тому же не чуждый и химических исследований, был далеко от того, чтобы полностью разобраться в своем великом достижении. Но уже первые исследователи, занявшиеся изучением открытия Вольта, отдали себе полный отчет в том, что изобретение последнего открывает новую эпоху в истории науки, что учение об электричестве поднято на новую, необычайно высокую, ступень, что перед творческой мыслью открываются необъятные горизонты. И действительно, самые смелые надежды осуществились в такие сроки, которых не могла допустить и наиболее пылкая фантазия. В странах Европы и в далекой Америке изучение электрического тока становится в центре всего естествознания. Открытия следуют за открытиями. Начинается тот интенсивный период в истории учения об электричестве, когда создается учение о гальванизме (термин в первые введен Вольта). Уже через три года после опубликования изобретения Вольта в России академик В. В. Петров издал свой трактат «Известия о гальвано-вольтовых опытах», где мы находим описание целого ряда замечательных открытий. Как теперь установлено, Петров открыл вольтову дугу и произвел с ней многочисленные опыты, которые следует считать началом применения электричества для освещения (основанного на дуговых лампах) и электрометаллургии. Также Петров еще за четверть века до Ома предвосхитил в общей форме закон, носящий имя немецкого физика.

Опытные исследования Вольта ставят его в ряд с первоклассными экспериментаторами в истории науки. Он был менее силен в области теории. Выдвинутая им теория, объяснявшая причины, которые вызывают ток в вольтовом столбе, хотя и нашла немало сторонников, но не выдержала критики электрохимиков, нанесших ей сокрушительный удар.

Теория Вольта, известная под названием «контакт-

ной теории», утверждала, что электрический ток возбуждается от прикосновения металлов; отсюда в русской литературе часто встречается название: «теория прикосновения». От одного только прикосновения зарождается «электродвигательная сила», которая «разделяет соединенные электричества и гонит их в виде токов по противоположным направлениям».

Против этого мнения выступали многие ученые. Они считали, что в «вольтовом столбе» электрический ток возбуждается химическими процессами. Дискуссия длилась свыше трех десятилетий. Полная ясность в этот вопрос была внесена Фарадеем. В 1834 г. после его знаменитых исследований в области электрохимии он представил Королевскому Обществу доклад «Об электричестве вольтового столба», где он наглядно показал несостоятельность контактной теории. Химический источник электрического тока в вольтовом столбе был ясно установлен. Фарадей окончательно разрушил «контактную теорию», допускающую образование электрической энергии (по терминологии Фарадея «электрической силы») из ничего, раз она возникает от простого прикосновения металлов. После электрохимических изысканий Фарадея нетрудно было экспериментально доказать, что «вольтов столб» есть не что иное, как электрохимический генератор, что электрическая энергия получается за счет превращения химической. Между прочим Фарадей, исследуя «вольтов столб», шел к тем мыслям, которые в истории науки рассматриваются как предвосхищение закона сохранения и превращения энергии, сформулированного много лет спустя.

Но исследования Фарадея были предприняты через семь лет после смерти Вольта. При его жизни «контактная теория» господствовала почти безраздельно, хотя противники ее неоднократно выступали с серьезными и вескими возражениями. Первым, кто возражал Вольта, был итальянский ученый Фаброни, утверждавший, что источником электричества в «вольтовом столбе» являются химические процессы. В защиту этой точки зрения выступали такие ученые, как Волластон, Дэви, Берцелиус и др. Однако потребовался ряд десятилетий, пока «контактная теория» стала достоянием истории.

Вольта прославился не теоретическими изысканиями. Те из современников, которые разделяли его точку зрения, ценили, главным образом, его экспериментальные исследования, увенчавшиеся открытием нового источника электричества. Слава Вольта действительно распространилась во всем мире. Всюду он был признан и почитаем как ученый, одержавший исключительно важную победу в деле познания природы. Перед естествознанием поистине открывались грандиозные перспективы. Началась новая эра в истории науки — эра учения об электрическом токе.

В мощном движении научной мысли, вызванном открытием «вольтова столба», сам Вольта непосредственного участия не принимал. Исследовательской работой он больше почти не занимался. Говорили, что он будто бы опасался, что последующие труды не смогут быть такими же выдающимися, как те, которые привели к изобретению «вольтова столба». Но факты из его биографии опровергают такое мнение. Через много лет (1817 г.) он опубликовал две работы, относящиеся к вопросам метеорологии, повидимому, нисколько не боясь работать над проблемами, которые даже не были основными в его научных изысканиях. Это были произведения о граде и периодичности гроз и о сопровождающем их холоде.

Около десяти лет упорных и напряженных исследований над «животным», а затем над «металлическим» электричеством истощили, видимо, запас творческой энергии итальянского ученого. Вольта было всего пятьдесят пять лет, когда было опубликовано его сочинение «Об электричестве, возбуждаемом простым соприкосновением различных веществ». Но позади было уже три десятилетия непрерывной и плодотворной научной деятельности. Работы первых двух десятилетий выдвинули его в ряд видных ученых не только Италии, но и далеко за ее пределами. Однако несравненно большее значение имели те исследования, которые начались с повторения опытов Гальвани. Они составляют эпоху в истории учения об электричестве.

То, что Вольта дал за это время науке, было огромно. Но большего он дать уже не мог, хотя силы его еще не были истощены; в дальнейшем их хватило на многолетнюю научно-педагогическую деятельность.

В том же 1800 г. Вольта получил кафедру экспериментальной физики в университете г. Павии и заведывание физическим кабинетом. К педагогическому труду он относился с любовью и неизменно тщательно готовился к каждой лекции. Биографы Вольта отмечают исключительную насыщенность большим содержанием каждого его выступления. Каждая его лекция собирала полную аудиторию. Редкий студент пропустил занятия знаменитого исследователя.

Университетским занятиям Вольта отдавался целиком. Он оставлял университет только для заграничных путешествий, предпринимавшихся для научных целей.

Приезд Вольта в Париж в 1800 г. после изобретения «вольтова столба» был настоящим триумфом. В Парижской Академии наук была создана специальная комиссия по изучению гальванизма. В нее входили виднейшие академики, как Фуркруа, Лаплас, Монж и др. В ученом мире дискутировался тогда вопрос, можно ли считать, что эффекты, производимые «вольтовым столбом», являются именно электрическими. Одна Академия даже объявила премию за сочинение на тему: «Можно ли эффект, производимый «вольтовым столбом», объяснить новыми законами электричества, или же необходимо допустить наличие особого электричества; каковы его проявления, какая польза?».

По пути во Францию, в Женевском обществе естествоиспытателей Вольта выступал с сообщениями о своем открытии и доказывал «тождество гальванизма и электричества».

Необходимо отметить, что полную ясность в этот вопрос внес также Фарадей, представивший Королевскому Обществу специальный доклад, в котором на основе огромного экспериментального материала было доказано тождество всех видов известных электричеств: «обыкновенного», т. е. электричества, возбуждаемого трением, «гальванического», т. е. получаемого от «вольтова столба», «термоэлектричества» и «магнитного», как называл Фарадей электричество, полученное от электромагнитного генератора. Исследование Фарадея в этой области относится к 1833 г.

В комиссию Парижской Академии наук был включен и Вольта. Он выступил с рядом докладов; один из них был посвящен вопросу о тождестве электричества

и гальванизма. Доклады Вольта привлекали внимание всего ученого Парижа. Они часто сопровождались демонстрацией новых опытов, поставленных последователями Вольта. На выступлениях Вольта неоднократно присутствовал Наполеон, тогда еще первый консул республики. Взаимоотношения этих двух замечательных людей весьма любопытны. В литературе особенно подчеркиваются те многочисленные награды, которыми Наполеон осыпал Вольта. Их было действительно немало: и денежные награждения и высокие чины и звания. Что Наполеон мог ценить и ценил науку — это бесспорно. Он прекрасно понимал великое ее значение в практической жизни и потому объявлял баснословные премии за решения естественно-научных и технических задач. Увидя однажды в библиотеке Национального института окруженную лавровым венком надпись: «Великому Вольтеру», Наполеон приказал выскоблить последние три буквы и получилось: «великому Вольта» (au grand Volta).

Вольта стоял вдалеке от политической борьбы и не выступал против нового строя, как, например, Гальвани, отказавшийся присягнуть Цизальпинской республике, созданной Наполеоном.

Несмотря на все почести и награды, он спешил к себе на родину, в близкий ему Павийский университет. От самых лестных предложений он неизменно отказывался (его приглашали и в Россию, в Академию наук).

В университете он пробыл до 1817 г., когда вышел в отставку и удалился в родной Комо, где и провел последние десять лет жизни.

Вольта умер 5 марта 1827 г.

**
*

Минуло полтора века с тех пор, как начались исследования электрического тока. За это время наука обогатилась огромным количеством открытий и изобретений. Учение об электричестве разрослось в грандиозную отрасль естествознания. В результате электрификации народного хозяйства осуществилось все, что только могли представить наиболее дальновидные умы,

Исключительна роль применения электрической энергии в деле построения социалистического общества в нашей стране. Вопросы электрификации народного хозяйства были поставлены в центр социалистической реконструкции. Таким образом электротехнике принадлежит ведущая роль в истории материальной культуры и потому изучение ее является особенно важным.

Ни Вольта, ни тем более Гальвани даже в малой степени не представляли себе последствий, вытекавших из их опытов, хотя они и послужили в дальнейшем исходным моментом для могучего потока научного и технического творчества. В истории естествознания это обычно. Первоначальную основу ее громадных впоследствии областей составляют незначительные на первый взгляд опыты. В самом деле, можно ли было допустить, что опыты Гальвани с лягушками, как бы любопытны они ни были, приведут к открытию электрохимического источника электрической энергии? Разве можно было предположить, что изобретение «вольтова столба», каким бы удивительным оно ни казалось, станет фундаментом важнейшей области знания — электродинамики? Да и первые опыты практического применения электрического тока, как поразительны ни были добытые результаты, представляются ничтожными в свете современных достижений электротехники. И тем не менее опыты Гальвани и Вольта являются основанием, на котором воздвигнуто грандиозное здание учения об электрическом токе.

ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ, ВОЗБУЖДАЕМОМ
ПРОСТЫМ СОПРИКОСНОВЕНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ
ПРОВОДЯЩИХ ВЕЩЕСТВ

Письмо от А. Вольта, профессора естественной философии в Павийском университете, к сэру И. Банксу. Прочитано 26 июня 1800 г. „Philosophical Transactions“ 1800, том ХС, стр. 403—431.

Комо, 20 марта 1800 года.

После долгого молчания, в чем я не стану оправдываться, я хочу сообщить Вам, а через Вас Королевскому Обществу, о некоторых поразительных результатах, к коим я пришел во время моих опытов с электричеством, возбуждаемым простым взаимным соприкосновением двух разных металлов, и даже иных проводников также различной природы, жидких или содержащих некоторую влагу, которой они как раз и обязаны своею проводимостью.

Самым основным и включающим почти все остальные результаты является постройка прибора, сходного по эффектам, т. е. по сотрясению, вызываемому в руках и т. д., с лейденскими банками или с такими электрическими слабо заряженными, но непрерывно действующими батареями, где бы заряд после каждого взрыва восстанавливался сам собой; одним словом, этот прибор обладает бесконечным зарядом, постоянным импульсом или действием электрического флюида. Но он в то же время значительно отличает-

ся от них и непрерывным, ему свойственным, действием и тем, что он состоит исключительно из нескольких неэлектриков, выбранных среди самых лучших проводников, а потому совсем не обладающих, как считалось до сих пор, электрической природой. Лейденские же банки и электрические батареи, как известно, состоят из одной или более изолированных пластинок, из тонких слоев вещества, обычно считаемых электрическими, и снабжены проводниками или так называемыми неэлектрическими телами. Действительно, мой прибор, который несомненно удивит Вас, представляет собой собрание некоторого количества хороших проводников разного рода, расположенных в известном порядке. Его образуют 30, 40, 60 и более кусков меди (или лучше серебра), наложенных каждый на кусок свинца (или лучше цинка), и такого же количества слоев воды или другого лучшего жидкого проводника, как, например, соленая вода, щелок и т. п., или кусков картона, кожи и тому подобное, пропитанных этими жидкостями. Мой новый прибор состоит, таким образом, из указанных слоев, помещенных между каждой парой, или комбинацией из двух различных металлов, из такой перемежающейся последовательности и всегда в одном порядке, этих трех проводников. Он по своим действиям подражает лейденским банкам или электрическим батареям, вызывая такие же сотрясения, как и они. Он, правда, значительно отстает от этих батарей, даже сильно заряженный, в отношении силы взрыва, искры, расстояния, на котором происходит разряд, и т. п. и действует как очень слабо заряженная батарея, в то же время обладающая огромной емкостью. С другой стороны, он бесконечно превосходит силу и возможности этих же батарей, ибо не требует предварительной зарядки посторонним электричеством и вызывает сотрясение всякий раз, когда к нему прикасаются надлежащим образом, сколько бы раз это ни происходило.

Этот прибор, более сходный по существу, как я покажу дальше, с естественным электрическим органом электрического ската или электрического угря и т. п., чем с лейденской банкой и известными электрическими батареями, я назову и с к у с

ственным электрическим органом. На самом деле, разве он не состоит также только из проводников. Разве он, кроме того, не активен сам по себе без предварительного заряжения, без всякого электричества, возбуждаемого каким-либо из известных методов, но действует беспрестанно и безостановочно, вызывая в любой момент более или менее сильные сотрясения, возобновляющиеся при каждом прикосновении, которые при частом повторении создают то же оцепенение органов, как и при прикосновениях к скату.

Я опишу подробнее этот и аналогичные приборы, а также самые замечательные из относящихся сюда опытов.

Я изготовил несколько дюжин небольших круглых пластинок или дисков из меди, латуни или лучше всего серебра, с диаметром примерно в 1 дюйм, и такое же количество оловянных пластинок (или еще лучше цинковых) примерно той же формы и величины. Я говорю примерно, потому что точность здесь не имеет значения и вообще величина и форма металлических частей произвольна. Самое важное, чтобы их можно было удобно поместить одну над другой в виде столба. Кроме того, я приготовил большое число кружков из картона, кожи или любого губчатого материала, впитывающего и задерживающего много воды или другой жидкости, которою они должны быть сильно смочены для успешного опыта. Эти кружки, которые я буду называть мокрыми дисками, делаются несколько меньше, чем металлические, чтобы, находясь между последними, они не выходили за их края.

Когда все это у меня находится под рукой и в надлежащем порядке, т. е. металлические диски в сухом и чистом виде, а неметаллические — хорошо пропитаны простой водой (или еще лучше соленой) и слегка отжаты, чтобы жидкость не стекала, я их складываю в должной последовательности.

Я кладу на стол или на какую-нибудь опору одну из металлических пластинок, например, серебряную, а на нее цинковую и затем мокрый диск и т. д. в том же порядке. Всегда цинк должен следовать за серебром, или наоборот, в зависимости от расположения их

в первой паре, и каждая пара перекладывается мокрым диском. Таким образом, я складываю из этих этажей столб такой высоты, который может держаться, не обрушиваясь.

Если он содержит около 20 подобных этажей, то он не только показывает на электрометре Кавалло, снабженном конденсатором, свыше 10 или 15°, не только заряжает этот конденсатор простым прикосновением, так что получается искра и т. п., но и ударяет в пальцы, если касаться ими его двух концов (верхушка и основание столба), двумя или несколькими слабыми и более или менее частыми толчками в зависимости от частоты этого соприкосновения. Эти удары вполне сходны с легким сотрясением, испытываемым при касании к лейденской банке, слабо заряженной, или к ослабевшему скату, который больше походит на мой прибор своими без конца повторяющимися ударами.

Чтобы получались эти слабые сотрясения, описанные мною, необходимо, чтобы пальцы, которыми одновременно касаются двух концов, были смочены водою, ибо в противном случае кожа является недостаточно хорошим проводником. Чтобы результаты были еще надежней и сотрясения сильнее, необходимо соединить основание столба, т. е. диск дна, при помощи достаточно широкой пластинки или толстой металлической проволоки с водою довольно большого таза или чашки, куда опускают один, два, три пальца, или всю руку, касаясь одновременно верхнего края (последнего или одной из последних дисков столба) концом металлической же пластинки, находящейся в другой сильно смоченной руке, причем рука должна охватывать большую ее часть и сильно ее сжимать. Уже ощущается легкое покалывание или сотрясение в одном или двух суставах пальца, погруженного в воду таза, если касаться пластинкой в другой руке четвертой и даже третьей пары дисков. Если прикасаться к 5-й, затем 6-й паре их, переходить постепенно все выше и выше к вершине столба, то ясно можно наблюдать, как постепенно увеличивается сила сотрясений. Сила, полученная от колонны, состоящей из 20 пар дисков (не более), такова, что происходят сотрясения, ощущаемые во всем пальце, притом доволь-

но болезненные, если он один был погружен в воду таза; они распространяются до запястья (но без всякой боли) и даже до локтя, если вся рука целиком или частично была опущена в таз и даже чувствуются в запястьи другой руки.

Я предполагаю, что были приняты все меры для надлежащей конструкции такого столба, что каждая пара металлов, состоящая из серебряного и цинкового дисков, сообщается со следующей парой таких же дисков при помощи достаточного слоя влаги, например, чистой воды и, еще лучше, соленой, или же при помощи диска из картона, кожи или чего-либо подобного, хорошо пропитанного этой соленой водой. Этот диск не должен быть слишком маленьким, и поверхности его должны плотно прилипать к поверхностям металлических пластинок, которые он разделяет. Это чрезвычайно важное условие. Что касается металлических пластинок каждой пары, то они могут касаться друг друга лишь в нескольких точках.

Мимоходом замечу, что если для свободного прохождения электрического тока средней силы достаточно соприкосновения металлов (прекрасных проводников) всего лишь в нескольких точках, то жидкости или тела, пропитанные влагой, являющиеся худшими проводниками, требуют широкой площади касания с металлическими проводниками, а еще более между собою, чтобы электрический ток легко проходил и не задерживался на своем пути особенно, если он движется с незначительной силой, как в нашем случае.

В общем действие (испытываемые сотрясения) моего прибора возрастает по мере увеличения температуры окружающего воздуха, или воды, или смоченных дисков, входящих в состав столба, или даже воды таза, так как тепло улучшает проводимость воды. Еще лучше она становится от всех солей и, в частности, от поваренной соли. Вот одна из причин, вернее даже единственная, почему лучше применять соленую воду в тазах и в промежутках между металлическими дисками, а также для пропитки картонных и т. п. дисков, как я уже указывал выше.

Но все эти меры приводят все-таки к слишком незначительным результатам и слабым сотрясениям,

если столб состоит всего лишь из 20 дисков, хотя бы они были из самых лучших металлов для данного опыта, как серебро и цинк, будь они из серебра и свинца или олова, или из меди и олова, то эффект был бы в два раза меньше, если не возместить их меньшую силу большим числом дисков. Таким образом, электрическая сила этого прибора увеличивается и доводится до силы ската, электрического угря или даже превышает при помощи большего числа дисков, расположенных так, как я указывал. Если к этим 20 парам прибавить еще 20 или 30 других, расположенных в том же порядке, то сотрясения, вызванные таким длинным столбом (я укажу потом, как его поддерживать, чтобы он не обрушился, или, еще лучше, разделить его на два или более столбов) отличаются значительно большей силой и пройдут по двум рукам до плеча, особенно в руке, погруженной в воду. Эта рука с предплечьем немеет, если повторить сотрясения несколько раз и быстро друг за другом, и это происходит в том случае, если погружена в воду таза вся рука; если же опустить туда один лишь палец, весь или часть его, то сотрясения, сконцентрированные на нем одном, будут так болезненны и жгучи, что вынести их невозможно.

Нужно думать, что этот столб, образуемый из 40 или 50 пар металлов и вызывающий довольно сильные сотрясения в руках одного лица, заставит почувствовать их, хотя и в более слабой степени, у ряда лиц, держащихся за руки (мокрые) и образующих непрерывную цепь.

Возвращаясь к описанию механической конструкции моего прибора, имеющего ряд вариантов, я опишу здесь не все те, которые я придумал и выполнил или в большом или в малом масштабе, но лишь некоторые из них самые любопытные или полезные, обладающие каким-либо действительным преимуществом, как, например, более легким или быстрым выполнением, более надежной работой и лучшей сохранностью.

Начнем с одного из них, объединяющего, может быть, все эти преимущества и в то же время отличающегося внешним видом от прибора со столбом, описанного выше. Недостаток его состоит в том, что он слишком объемист. Изображение этого прибора,

который я назову прибор с цепью из чашек, дается в табл. IV, фиг. 1 (стр. 62).

Несколько стаканов из любого материала, кроме металлов, например, из дерева, глины, черепахи и еще лучше хрусталя (особенно удобны маленькие кубки или стаканчики) наполняются наполовину чистой или соленой водой или щелоком. Они сообщаются друг с другом, так что образуется род цепи, при помощи металлических дуг, из которых одно плечо Aa или только конец A , погруженный в стаканчик, сделан из красной или желтой меди или лучше из посеребренной меди, а другой Z , опущенный в следующий стаканчик, из олова или лучше из цинка. Замечу, что щелок и другие щелочные жидкости следует предпочесть, когда один из погружаемых металлов олово. Лучше применять соленую воду при цинке. Оба металла дуги спаяны в любом месте выше части, погруженной в жидкость; последняя должна обладать довольно большой поверхностью. Поэтому она должна иметь вид пластинки в 1 кв. дюйм или около этого, остальная часть дуги может быть совсем тонкой, даже состоять из простой металлической проволоки. Она может быть совсем из другого металла, чем части, погруженные в жидкость стаканчиков, ибо действие электрического флюида всех контактов нескольких чередующихся металлов, сила, с какою этот ток проталкивается до конца, почти или совсем равна получаемой при непосредственном контакте первого металла с последним без посредствующего контакта, как я удостоверился на опытах, о чем я еще буду говорить.

Таким образом, ряд из 30, 40, 60 таких стаканчиков, связанных, как указано, друг с другом и расставленных или по прямой линии или по кривой или по изогнутой любым образом, образует новый прибор. Он по существу и по материалу есть тот же столб, что описан выше. Основное здесь в непосредственном сообщении между различными материалами, составляющими пару и посредственном между одной парой и другой при посредстве влажного проводника, что имеет место как в первом, так и во втором приборе.

Что касается испытания и пользования для опытов

прибором со стаканчиками, то здесь не приходится говорить об этом, если вспомнить все, что я говорил относительно прибора со столбами. Легко понять, что для получения сотрясения достаточно опустить руку в один из этих стаканчиков, а палец другой руки в другой, достаточно удаленный от первого. Сотрясение будет тем сильнее, чем больше удалены друг от друга эти два стаканчика, т. е. чем больше их будет между руками. Самое же сильное получается при касании первого и последнего в цепи. Понятно также, почему более удачными будут опыты, если крепко сжимать смоченной рукой довольно широкую пластинку (для того, чтобы сообщение было полным и совершалось через большое число точек) и касаться этой пластинкой воды стаканчика или даже металлической дуги в то время, как другая рука погружена в другой дальний стаканчик или касается дуги пластинкой, точно так же сжатой в руке, как и другая. Можно представить себе легко ряд различных выполняемых с этим прибором с цепью стаканов опытов, более наглядных и очевидных, чем с прибором со столбом. Я не стану описывать все эти легко представляемые опыты, я расскажу лишь о некоторых, столь же поучительных, как и занятных.

Поставим 60 таких чашек или стаканчиков и свяжем их друг с другом металлическими дугами, но так, чтобы у первых двадцати плечо из серебра было обращено налево, а из цинка направо; у вторых двадцати, наоборот, серебряное направо, цинковое налево и, наконец, у последних двадцати снова, как у первых. Опустите палец в воду первого стаканчика с пластинкой, зажатой в другой руке, коснитесь первой металлической дуги (соединяющей первый стаканчик со вторым), затем второй, третьей и т. д. до конца. Если вода достаточно солонa и тепла, а кожа руки хорошо смочена, то вы почувствуете легкий удар в пальце, касаясь 4-й или 5-й дуги (я иногда его ощущал уже довольно ясно, касаясь 3-й дуги). При переходе от 6-й к 7-й и т. д. удары все будут сильнее до 20-й, т. е. до последней из обращенных в том же направлении. Переходя далее к 21-й, 22-й, или 1-й, 2-й из вторых двадцати, где дуги повернуты в обратную сторону, мы почувствуем все более и более слабые

удары, так что на 36-й или на 37-й они станут почти неощутимыми и будут отсутствовать на 40-й, после чего (тут начинаются третьи 20 дуг, расположенных противоположно вторым) сотрясения сначала будут еще незаметны до 44-й или 45-й дуги. Далее они уже начинают чувствоваться и постепенно увеличиваться по мере приближения к 50-й, где сила их будет равна силе у 20-й дуги.

Следовательно, если бы 20 средних дуг были повернуты в том же направлении, как 20 предшествующих и последующих, если бы все 60 способствовали продвижения электрического флюида, в том же направлении, то можно себе представить, как велик был бы в конце и эффект и сотрясение; понятно также, насколько он ослабляется во всех случаях, когда большее или меньшее число этих сил мешают друг другу вследствие обратного расположения металлов.

Если цепь где-нибудь прерывается или из-за отсутствия воды в одной из чашек или из-за изъятия или разделения на две части металлической дуги, то сотрясения не получается при погружении пальца и в первую и последнюю чашку. Но оно тотчас же появляется слабое или сильное в зависимости от обстоятельства (пальцы остаются погруженными) в момент, когда восстанавливается нарушенное сообщение, т. е. когда другое лицо опустит в обе чашки, где не хватает дуги, по пальцу (которые также ощутят легкое сотрясение), или лучше погрузить в них недостающую дугу, или в случае разделения дуги на две части у нее снова восстанавливается взаимный контакт (в последнем случае сотрясение будет всего сильнее). Наконец, в случае пустой чашки, сотрясение вновь появляется, когда в нее наливается вода и доходит до обоих металлических плечей, погруженных в эту чашку.

Если цепь или круг из стаканов достаточно длинна и дает сильное сотрясение, оно ощутится, хотя и в более слабой степени, даже в том случае, когда два пальца или две руки погружены в один довольно большой таз с водою, в котором оканчиваются первая и последняя металлические дуги, причем одна или другая из этих рук или лучше даже обе соприкасаются с этими дугами или близко от них находятся.

Сотрясение почувствуется в ту минуту (цепь где-то прервана), когда восстановится сообщение, и круг завершен одним из указанных способов. Можно удивляться, что в этом кругу электрический ток, имея свободный проход сквозь непрерывную массу воды, наполняющей таз, покидает этот хороший проводник, чтобы держать свой путь через тело человека, руки которого погружены в эту воду, и совершает таким образом более длинный обход. Но удивляться нечему, если вспомнить, что животные вещества, живые и теплые, и особенно все жидкости тела, являются лучшими проводниками, чем вода. Итак, тело лица, погружающего руки в воду, предоставляет более легкий путь электрическому потоку, чем вода, последний предпочтет его, хотя он и длиннее. В общем электрический флюид, проходя в большом количестве по проводникам, не вполне совершенным, и именно по жидким, предпочитает распространиться по более обширному каналу или разделиться на несколько ветвей, даже отклониться в сторону, если при этом встретится меньше сопротивления, чем проходить по одному каналу, хотя и более короткому. В нашем случае только часть электрического тока, отклоняясь из воды, избирает новый путь через человека и проходит в нем из одной руки в другую; другая большая или меньшая часть идет через воду чашки. Вот почему испытываемое сотрясение гораздо слабее, чем в том случае, когда электрический ток не разделяется, когда только человек служит сообщением между двумя дугами и т. д.

Судя по этим опытам, можно думать, что когда скат вызывает сотрясение в руках человека или у животных, прикасающихся к нему или приближающихся к нему под водою (где удар гораздо слабее, чем на воздухе), то ему надо только приблизить некоторые части своего электрического органа туда, где отсутствует вследствие перерыва сообщение, надо только восстановить существующий перерыв между одним и другим столбами, из которых образован его указанный орган, или между мембранами в виде тонких дисков, лежащих один на другом. Ему только следует, как я говорил, уничтожить эти перерывы в одном или нескольких местах и создать в них достаточ-

ное соприкосновение, или сжав эти столбы или заставля притечь под приподнятые мембраны какую-либо жидкость и т. п. Вот в чем заключается, как я предполагаю, вся работа ската при ударах, ибо все остальное возбуждение и движение, сообщаемое электрическому флюиду, есть лишь необходимый результат действия его замечательного органа, состоящего, как мы видели, из большого числа проводников. Они, как я считаю, сильно разнятся друг от друга, благодаря чему они могут быть также двигателями электрического флюида в их взаимных соприкосновениях, кроме того, я предполагаю, что они расположены так, что могут продвигать эти истечения с достаточной силой сверху вниз или снизу вверх и создать ток, вызывающий сотрясение и т. д. тотчас и каждый раз, когда налицо все соприкосновения и сообщения.

Но оставим ската и его естественный электрический орган и вернемся к искусственному электрическому органу моего изобретения, в частности к тому, который подражает первому даже в форме (ибо прибор со стаканчиками в этом отношении отстает от него), к первому прибору со столбом. Мне бы следовало еще кое-что сказать о конструкции приборов со стаканчиками или цепью из чашек, например, что первая и последняя чашки должны быть довольно большими для погружения в случае надобности всей руки и т. п. Но эти детали требуют слишком много времени.

Что касается прибора со столбом, то я искал способа удлинить его путем увеличения числа металлических дисков с устранением опасности обрушивания, сделать его удобным и портативным и в особенности долговечным. И я создал между прочими приборы, изображенные на приложенных фигурах (табл. IV, фиг. 2, 3, 4).

На фиг. 2 изображены пруты, от 3 и более, которые поднимаются от основания столба и окружают, как клеткой, диски, положенные один на другой в любом количестве и на любую высоту, и не позволяют им падать. Пруты могут быть из стекла, дерева или металла. В последнем случае они не должны непосредственно касаться дисков, что можно сделать, надев на каждый прут стеклянную трубку или про-

ложить между ними и столбом полоски клеенки промасленной и даже простой бумаги или любого материала, но только или изолятора или дурного проводника. В нашем случае вполне удовлетворяют дерево и бумага, лишь бы они не были слишком сырыми или мокрыми.

Лучше всего при постройке прибора с очень большим числом дисков, например, свыше 60, 80 и 100, разделить столб на два или более, как указано на фиг. 3 и 4, где отдельные части расположены соответственно тому, как они располагались бы в одном столбе. В самом деле, фигуру 3 и 4 следует рассматривать, как изогнутый столб.

Во всех этих фигурах различные металлические пластинки обозначены через *A* и *Z* (начальные буквы *Argentum* и *Zincum*), а мокрые диски из картона, кожи и т. п., проложенные между парами этих металлов, окрашены в черный цвет. Сплошные линии указывают место соединения одного металла с другим в каждой паре, их взаимный контакт в нескольких точках, число которых не имеет значения, или спайку, очень удобную со многих точек зрения. *C—C* обозначает металлические пластинки, через которые сообщаются между собою столбы или их отрезки; *v—v* — чашки с водою, сообщающиеся с основаниями или оконечностями столбов.

Таким образом, монтированный прибор наиболее удобен, не слишком объемист и его можно было сделать еще более портативным с помощью каких-либо футляров или трубок, куда заключался бы каждый столб для хранения. К сожалению, прибор долго не может оставаться в хорошем состоянии: мокрые диски высыхают через день — два и требуют нового смачивания. Это делается без разбора столбов, достаточно их погрузить целиком в воду, немного поддержать в ней и, вытащив, вытереть снаружи, как можно лучше тряпкой.

Для возможного увеличения срока службы этих столбов следовало бы удерживать воду, включенную между каждой парой металлических пластинок, и укрепить их на месте, покрыв воском или смолою весь столб. Но выполнение этого довольно затруднительно и требует большого терпения. Мне удалось

сделать два таких цилиндра из 20-ти металлических пар, они мне служат хорошо уже несколько недель и, надо думать, послужат еще несколько месяцев.

Удобство этих цилиндров заключается в том, что их можно употреблять при опытах в стоячем, наклонном, лежачем положениях и даже погруженными в воду с верхушкой над ней. Они вызывают сотрясение даже при полном погружении, если содержат большое количество дисков или несколько цилиндров соединяются вместе, и если имеется какой-либо перерыв, устраняемый по желанию, то тогда эти цилиндры будут иметь полное сходство с электрическим угрем. Чтобы вполне их уподобить последним даже во внешнем виде, их можно соединить вместе металлической гибкой проволокой или спиральной пружиной, покрыть по всей длине кожей и закончить хорошо сделанными головой и хвостом и т. д.

Эффекты, ощущаемые нашими органами, под действием прибора из 40 или 50 пар пластинок (и даже из меньшего числа, если одним из металлов является серебро или медь, а другим цинк), не сводятся к одним сотрясениям: ток электрического флюида, возбуждаемый и проталкиваемый таким числом различных проводников — серебро, цинк и вода, расположенных, как указывалось выше — вызывает не только сокращение и спазмы в мускулах, более или менее сильные конвульсии в членах, по которым он проходит, но также раздражает органы вкуса, зрения, слуха и осязания и в каждом вызывает соответствующие ощущения.

Если при помощи широкого прикосновения руки (хорошо смоченной) с металлической пластинкой или еще лучше при помощи глубокого погружения руки в воду чашки установить хорошее сообщение с одним из концов моего электродвигательного прибора (надо давать новые имена приборам, новым не только по форме, но также и по эффектам или по принципу, на котором они основаны) и приложить лоб, веко, кончик носа (также смоченные) или какую-либо другую часть тела с снежной кожей, довольно сильно прижимая их к острию металлической проволоки, присоединенной к другому концу прибора, то в момент замыкания проводящего круга чувствует-

ся в месте касания кожи и несколько далее удар и укол, быстро проходящие и повторяющиеся всякий раз при восстановлении нарушенного круга. Таким образом, если эти прерывания и восстановления повторяются часто; то ощущается сотрясение и неприятное покалывание. Но если сообщение продолжается без перерывов и размыкания круга, то несколько моментов ничего не чувствуется, после чего в месте, приложенном к металлической проволоке, ощущается резкая боль (без сотрясений), точно ограниченная местом соприкосновения, жжение все возрастает, через несколько времени становится совершенно невыносимым и прекращается лишь при размыкании круга.

Нужны ли еще более очевидные доказательства постоянства электрического тока в то время, когда имеет место сообщение между проводниками круга, а также того, что лишь при размыкании его прерывается ток. Это бесконечная циркуляция электрических истечений (это вечное движение) может показаться парадоксальной, необъяснимой, тем не менее она реальна, и мы касаемся, если можно так выразиться, руками. Другим наглядным доказательством служит также то обстоятельство, что часто в этих опытах мы чувствуем в момент прерывания круга укол, удар, сотрясение в зависимости от обстоятельств так же, как в момент его замыкания, но с тем отличием, что создаваемые как бы отливом электрического флюида или сотрясением вследствие внезапного прекращения тока они более слабы. Но мне не требуется и здесь неуместно приводить доказательства подобной бесконечной циркуляции электрических флюидов в кругу проводников, которые вследствие своей разной природы выполняют благодаря взаимному соприкосновению роль возбудителей или двигателей. Предложение, выдвинутое мною с первых моих изысканий и открытий в области гальванизма и подтверждаемое все новыми фактами и опытами, я думаю, никем не будет оспариваться.

Возвращаясь к ощущению боли, испытываемому при вышеописанных опытах, я должен добавить, что если эта боль довольно сильна и остра в частях тела, покрытых кожей, то она еще резче в местах, где кожа удалена, например, в язвах или свежих ранах.

Если у меня был случайно небольшой надрез или царапина на пальце, погружаемом в воду, сообщающейся с одним из концов электродвигательного прибора, то я ощущал такую резкую и жгучую боль при замыкании круга другой рукой, что мне приходилось скоро отказываться от дальнейшего продолжения опыта, т. е. я должен был вынимать палец или каким-нибудь иным способом прервать круг. Скажу даже, что я не мог терпеть больше нескольких секунд даже в том случае, когда часть вводимого в круг прибора или весь он состоял всего лишь из 20 или около этого металлических пар.

Замечу еще, что все эти ощущения, покалывание и боли сильнее и острее в том случае, когда, при прочих одинаковых условиях, часть тела, подвергаемая этим ощущениям, находится со стороны отрицательного электричества, т. е. так помещена в проводящем кругу, что электрический флюид, проходя по этому кругу, не направляется к ней и не входит извне во внутрь, но напротив, изнутри наружу, одним словом, выходит из нее. В связи с этим надо знать, какой из двух металлов, составляющих пары прибора, передает другому. Я сделал такое определение для всех металлов в других опытах, опубликованных уже давно вслед за моими первыми сообщениями по поводу гальванизма. Здесь я укажу только, что все подтвердилось полностью и такими же и даже еще более доказательными и блестящими опытами, которыми я занимаюсь в настоящий момент.

Что касается вкусовых ощущений, то тут у меня уже имеются открытия, их я опубликовал в первых сообщениях, где я принужден был оспаривать так называемое животное электричество Гальвани и считать его внешним электричеством, возбуждаемым взаимным соприкосновением металлов разного рода. Я открыл на основании приписываемой мною металлам способности, что два куса различных металлов, и в частности серебра и цинка, приложенные надлежащим образом друг к другу, возбуждают на конце языка очень определенное вкусовое ощущение; вкус определенно был кислый, если кончик языка был направлен к цинку; если же ток выходил из языка, т. е. положение металлов было обратным, то чувствовался

другой вкус, менее сильный, но более неприятный, острый и отдававший щелочью. Эти ощущения длились и даже возрастали в течение нескольких секунд, если взаимное соприкосновение обоих металлов поддерживалось и проводящий круг нигде не прерывался. Я прибавлю еще, что те же явления происходят регулярно, когда испытывается вместо одной пары металлических кусочков ряд их, расположенных надлежащим образом; что указанные вкусовые ощущения кислоты или щелочи возрастают, но незначительно, с числом этих пар. Мне остается еще сказать, что если прибор, применяемый в этих опытах с языком, состоит из довольно большого числа металлических пар, например, из 30, 40 и более, то язык ощущает не только вкус, но, кроме того, удар, поражающий его в момент замыкания круга; он причиняет ему более или менее болезненный, но мгновенный укол, после чего следует длительное ощущение вкуса. Этот удар вызывает далее конвульсию и вздрагивание части или всего языка, когда прибор отличается большей активностью благодаря большому числу пар указанных металлов. и когда возбуждаемый в нем ток проходит совсем свободно повсюду благодаря хорошо проводящим сообщениям.

Я часто возвращаюсь и настаиваю на последнем условии, ибо оно существенно для всех опытов, где идет вопрос о получении сильных эффектов в нашем теле, будь то сотрясение членов или ощущение в органах чувств. Необходимо, чтобы неметаллические проводники, входящие в круг, обладали возможно лучшей проводимостью, хорошо были пропитаны водою (не будучи сами жидкостями), или какой-либо другой влагой, лучшим проводником, чем чистая вода. Кроме того обязательно, чтобы очень влажные поверхности, которыми они сообщаются с металлическими проводниками и особенно друг с другом, отличались значительной величиной. Сообщение сокращается, если доводится до небольшого количества точек соприкосновения там, где желательно сосредоточить электрическое действие на какой-нибудь очень чувствительной части тела, на чувствительном нерве и т. п., как я уже указывал в связи с опытами осязания, т. е. опытами возбуждения острой боли в разных

частях тела. Так я открыл наилучший способ вызывать в языке все описанные ощущения прикладыванием кончика его к заостренному (не слишком) концу металлического прута, надлежащим образом сообщаемого, как и в других опытах, с одной из оконечностей моего прибора, установив хорошее сообщение руки или даже лучше двух рук с другим его концом. Это прикладывание кончика языка к концу металлического прута или может уже иметь место, когда устанавливается другое сообщение для замыкания круга (при погружении руки в воду чашки) или произойти после того, как рука опущена уже в воду. В последнем случае я чувствую укол и сотрясение в языке несколько раньше действительного контакта. В самом деле, у меня такое впечатление, особенно, если я мало помалу приближаю язык, что на очень небольшом расстоянии от металла электрическое истечение (я чуть не сказал искра), перескакивая через этот промежуток, поражает язык.

Что касается органа зрения, который так же, как я открыл, поражается слабым током электрического флюида, получаемого от взаимного соприкосновения двух различных металлов вообще и в частности куска серебра в цинке, то следовало бы ожидать, что ощущение света, возбуждаемое моим новым прибором, будет усиливаться по мере увеличения числа металлических пар: каждая пара их, надлежащим образом расположенная, увеличивает несколько степень силы электрического тока, как это доказывают другие опыты, особенно с электрометром, соединенным с конденсатором; они описываются ниже. Но я был удивлен, когда оказалось, что сверкание, получаемое с 10, 20, 30 и более парами, не превосходит ни длиной, ни шириной, ни яркостью сверкания от одной пары.

Однако, оказывается, что это ощущение слабого и переходящего света легче возбуждается таким прибором и возбуждается несколькими способами. В самом деле, для успешного опыта с одной парой имеются примерно такие возможности: одна из металлических пластинок прикладывается к главному яблоку или к веку, хорошо смоченному; если коснуться ею другой пластинки, приложенной к другому глазу или положенной в рот, то получается прекрасное сверка-

ние. Или же вторую пластинку берут смоченной рукой и подносят для контакта к первой. Наконец, обе пластинки прикладываются к известным частям рта, и они там соприкасаются. Но с прибором в 20, 30 и более пар получают такую же искру, касаясь конца металлической пластинки или прута, сообщающегося с одним из концов прибора, а другой рукой соответственно касаются другого его конца. Прикладывать эту пластинку можно не только к глазу или к любой части рта, но и ко лбу, носу, щекам, губам, подбородку и даже шее, одним словом, ко всем частям лица, хорошо смоченным прежде, чем производится соприкосновение с металлической пластинкой. Впрочем, форма и сила этого мимолетного света немного изменяется в зависимости от места лица, на которое действует электрический ток: если это, например, лоб, то свет не очень ярок и имеет вид светящегося круга. В этой форме он наблюдается и при некоторых других опытах.

Любопытней всего опыт, когда пластинка зажата между губами и находится в соединении с кончиком языка; когда замыкается надлежащим образом круг, то, если прибор достаточно велик, в порядке, и электрический ток достаточно силен и хорошо течет, сразу возбуждается световое ощущение в глазах, конвульсия в губах и даже языке, болезненный укол в кончике его, сопровождаемый вкусовым ощущением.

Мне остается сказать несколько слов о слухе. Мне удалось возбудить это чувство, после бесплодных попыток возбуждения его только двумя металлическими пластинками, хотя и самыми активными среди двигателей электричества — серебра или золота с одной стороны и цинка с другой — при помощи моего нового прибора, состоявшего из 30 или 40 пар этих металлов. Я ввел довольно глубоко в оба уха нечто вроде металлических зондов с округленными концами и соединил их непосредственно с обоими концами прибора. В тот момент, когда замкнулся круг, моя голова сотряслась, и через несколько мгновений (собщение не прерывалось) я услышал звук или верней трудноопределимый шум в ушах; это было нечто вроде треска или лопанья, как если бы кипело какое-то тесто или вязкое вещество. Этот шум продолжался

все время не увеличиваясь, пока круг был сомкнут. Ощущение было очень неприятное, и я опасался его вредного действия на мозг, а потому его больше не повторял.

Остается орган обоняния, который я напрасно старался возбудить до сего времени моим прибором. Электрический флюид, введенный в замкнутый круг проводников, вызывает в членах и частях живого тела, включенных в этот круг, эффекты, соответствующие их возбудимости; оно в частности возбуждает органы или нервы осязания, вкуса, зрения и слуха и вызывает некоторые ощущения, свойственные этим органам; внутри же носа оно производит лишь более или менее болезненное щекотание и более или менее распространенные сотрясения в зависимости от силы тока. Почему оно не вызывает никаких ощущений запаха, хотя, повидимому, оно возбуждает обонятельные нервы. Нельзя сказать, что электрическое истечение само по себе не может возбудить обонятельных ощущений. Известно, что когда оно распространяется в воздухе в виде султанов и т. п. при опытах с обыкновенными электрическими машинами, то оно дает очень заметный запах как бы фосфора. Поэтому надо думать, что по аналогии с другими пахучими веществами оно должно для возбуждения распространиться в воздухе: оно требует, как и другие испарения, воздуха в качестве носителя для такого раздражения этого органа, чтобы появились ощущения обоняния. В настоящих же опытах с электрическим током, заключенным в кругу непрерывных проводников, это не может иметь места.

Все описанные мною здесь факты, касающиеся действия электрического флюида, возбуждаемого и продвигаемого моим прибором на различные части нашего тела, пронизываемые этим током, притом действия не мгновенного, но длительного и продолжающегося в течение всего времени, пока сообщение между проводниками не прерывается, действия, результаты которого изменяются в зависимости от возбудимости частей тела, все эти уже сейчас довольно многочисленные факты и еще число которых умножится в будущем при увеличении и варьировании опытов подобного рода, открывают широкое поле для раз-

мышлений и перспектив, не просто любопытных, но интересных, особенно для медицины. Есть над чем подумать и анатому, и физиологу, и врачу практику.

Известно из анатомии, что электрический орган ската и электрического угря состоит из нескольких перепончатых столбов, наполненных от начала до конца большим количеством пластинок или пленок в виде очень тонких дисков, положенных один на другой с очень малыми промежутками между ними, где протекает, повидимому, какая-то жидкость. Никак нельзя предположить, что какая-нибудь из этих пластинок обладает изолирующими свойствами, как стекло, смолы, шелк и т. п., и еще менее, что они или электризуются трением или располагаются и заряжаются на подобие маленьких франклиновских досок или небольших электрофоров; невероятно также, чтобы они были довольно плохими проводниками и в то же время хорошим и прочным конденсатором, как предположил г-н Никольсон. Гипотеза этого ученого и трудолюбивого физика, по которой он считает каждую пару этих пленок, сравниваемых им с листками талька, электрофорами или конденсаторами, очень остроумна; это, возможно, самое удачное, что придумано для объяснения электрических явлений у ската, если придерживаться известных до сего времени оснований и законов электричества. Но механизм соответственного разделения пластинок всех или большей части этих электрофоров или конденсаторов для каждого наносимого животным удара, — происходят ли эти разделения одновременно и установится с одной стороны взаимное сообщение между всеми пластинками, наэлектризованными плюс, а с другой стороны сообщение между всеми наэлектризованными минус, как того хочет г-н Никольсон, — необычайно труден по своей сложности и мало естественен. Кроме того, предположение об электрическом заряде, сообщенном изначально и навсегда этим пленкам, служащим электрофорами, не имеет никакого основания. Эта гипотеза совершенно отпадает, ибо эти пленки органа ската не являются и не могут быть изоляторами или способными к восприятию настоящего электрического заряда и еще менее к его удержанию. Всякое животное вещество в свежем

виде, окруженное влагой и само достаточно пропитанное влагой, служит хорошим проводником. Скажу более: далеко не столь изолирующее, как смолы или тальк, с листками которого г-н Никольсон пытается сравнить данные пленки, любое живое или свежее животное вещество, за исключением одного жира и некоторых маслянистых жидкостей, является лучшим проводником, чем вода. Но ни эти жидкости, ни жир, особенно полужидкий или вполне жидкий, каким он находится в живом теле, не может воспринять электрический заряд на подобие изолирующих пластинок и удержать его. Помимо того, пленки и жидкости органа ската не маслянисты и не жирны. Таким образом, этот орган, состоящий исключительно из проводящих веществ, нельзя сравнить ни с электрофором или конденсатором, ни с лейденской банкой, ни с любой машиной, возбуждаемой либо трением, либо другим способом электризации изолирующих тел, которые до моих открытий одни только считались электрическими.

С каким электричеством, с каким прибором следует сравнивать этот орган ската или электрического угря и т. п? С тем, который я построил согласно новому началу электричества, открытому мною несколько лет назад и подтвердившемуся последующими опытами, особенно занимающими меня в настоящее время, а именно: проводники в некоторых случаях являются также двигателями электричества, когда имеется взаимное соприкосновение двух проводников разной природы и т. д.; с прибором, который я назвал искусственным электрическим органом, по существу не отличающимся от природного органа ската, сходным с ним даже формой, как я уже указывал.