

Олег Фейгин

ПРОСТО

Электричество



Олег Фейгин
Просто электричество

Предисловие

Пожалуй, разгадка тайн электромагнетизма дала нам столько, сколько мы не получали от покорения всего, что было накоплено людьми за всю их историю. Подумайте: миллионы лет и век – каких-то сто лет, в течение которых выросла и окрепла вся электротехническая промышленность Земли! Время, в течение которого люди создали себе «электрический мир». Невозможно думать об этом без восхищения. И вместе с тем еще далеко не всё мы в этой отрасли знаем...

А. Томилин. Заклятие Фавна

Человек за многие тысячелетия своей истории проделал гигантский путь познания природы, и не последнее место в окружающих его чудесах играла «янтарная субстанция» – электричество, названное так в честь янтаря – электрона по-древнегречески. Эта окаменевшая смола, привозимая из Прибалтики по Янтарному пути, по Днепру и Бугу, поражала эллинов своей способностью притягивать мелкие частички, будучи потерта тканью или шерстью. Но должны были пройти тысячелетия, прежде чем выяснилось, что мельчайшие, еле заметные искорки от натертого янтаря ничем не отличаются по своей природе от колоссальных молниевых разрядов.

Сегодня даже малообразованного суеверного человека не пугают грозные явления – электризация воздуха, молнии, раскаты грома, – ведь ему хотя бы понаслышке известна их природная причина. Однако и сейчас в природе электрических явлений встречаются загадочные, досконально не изученные процессы, такие как шаровая молния, молния красный призрак, молния голубая струя, призрачные спрайты,

суть которых мы еще не знаем и для которых только строятся полные научные модели.

Удивительна история использования солнечного вещества на Земле, а именно так можно понимать электрическую сварку и разрезание дугой из высокотемпературной плазмы электрического разряда, открытой еще в XVIII веке русским академиком Петровым. Поражает воображение спектр применения электросварочных технологий, их влияние на развитие современной науки и техники – здесь и открытие академика Корнеева, и космические технологии, и строительство подводных городов.

Столетие назад было открыто явление сверхпроводимости, указывающее прямой путь избегания потерь при передаче электроэнергии. Путь этот непрост, ведь чтобы проводник полностью потерял свое электрическое сопротивление, его необходимо охладить до очень низких температур, а это само по себе является серьезной технической задачей. Тем не менее уже десятки лет сверхпроводники удачно используют в научных приборах и медицине.

До недавнего времени высокая стоимость сверхпроводящих материалов и необходимость сверхглубокого охлаждения сильно препятствовали их массовому применению. Ситуация существенно изменилась после открытия в 1986 году высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП). Это позволило приступить к созданию сверхпроводящих линий электропередач на основе сверхпроводников, погруженных в сравнительно дешевый жидкий азот. Уже созданы многокилометровые опытные линии, а через десятилетие прогнозируется широкое промышленное применение ВТСП-кабелей на тысячи километров линий электропередачи и сотни гигаватт передаваемой мощности.

Автор выражает глубокую признательность своим учителям и коллегам – Льву Самойловичу Палатнику, Игорю Ивановичу Фалько и Дмитрию Ивановичу Корнееву

Глава 1. Стрелы небесных громовержцев

Атмосферное электричество – грозы и земной магнетизм – едва ли не первые неразрешимые загадки природы, о которые споткнулся разум. Они долго не поддавались разгадке. Каждое время, каждая эпоха толковали наблюдаемые феномены в соответствии с накопленными знаниями. Сначала на уровне мифов, пока знаний было совсем мало. Позже, когда фактов накопилось побольше, самовластие богов перестало удовлетворять мыслителей. Они стали пытаться объяснить природу исходя из нее самой, без помощи сверхъестественных сил. Возникли первые натурфилософские догадки. Сначала наивные, чисто спекулятивного характера. Но уже и они высоко поднимали разум человека, ставили его обладателя на одну ступень с богом.

А. Томилин. Заклятие Фавна

Наводнения, землетрясения, извержения вулканов, пожары – эти стихийные бедствия сравнительно редки по сравнению с постоянными грозами. Именно поэтому с грозами связано больше всего мифов, легенд и поверий. В самом начале изустной истории человечества гроза воспринималась как ярость некоего фантастического существа, например, гигантской птицы, хлопающей громом крыльев и сверкающей молниями глаз. Затем пришла пора человекоподобных богов, и на небесах засверкали молниями Митра, Тор, Зевс, Юпитер с

множеством других сверхъестественных существ. Так, у славян богом грома и молнии был Перун, как оплодотворяющее и карающее божество, приносящее весеннее тепло, дождь и грозы, а после Крещения Руси роль небесного громовержца перешла к Илье-пророку.

Развитие науки привело к первым представлениям о сущности грозы. Греческие ученые Анаксимен и Анаксагор рассматривали явление грозы как результат сгущения воздуха в облаках. Сократ видел основную причину возникновения гроз в столкновении облаков, Демокрит – в их соединении. Эти представления были обобщены и развиты Аристотелем, считавшим, что молния и гром образуются благодаря воспламенению в облаках разнообразных горючих испарений и завихриванию их между облаками. В эпоху Средневековья представления о природе грозных процессов не получили существенного развития.

Сегодня мы называем грозой процесс развития в атмосфере мощных электрических разрядов – молний, обычно сопровождаемых громом и связанных в большинстве случаев с укрупнением облаков и ливнеобразным выпадением осадков. Прохождение грозы над местностью, как правило, сопровождается довольно значительными изменениями метеорологических параметров приземного слоя воздуха. Это хорошо знакомые всем нам явления: падение температуры, повышение влажности воздуха, резкое изменение атмосферного давления, а также силы и направления ветра.

Ученые-метеорологи доказали, что грозные процессы невозможны без разделения зарядов в облаке путем их переноса воздушными потоками – конвекции. Поле конвекции в облаках распадается на несколько своеобразных ячеек.

Каждая конвективная ячейка проходит стадию зарождения, зрелости и затухания. В стадии зарождения во всей конвективной ячейке преобладают восходящие течения. Зрелая конвективная ячейка характеризуется развитием восходящих и нисходящих потоков, электрической активностью, выраженной разрядами молний и выпадением осадков.

В последнее время исследования с помощью метеоспутников и прочих орбитальных космических аппаратов показали, что в облачной оболочке тропосферы действует своеобразный ледяной генератор. При этом подтвердилась гипотеза еще позапрошлого века о том, что

электрические заряды накапливаются при соударениях кристаллов льда в виде снежинок или градин с более крупными образованиями льда в грозовых облаках. При этом мельчайшие кристаллы льда устремляются с восходящими потоками воздуха в верхнюю часть облака и многократно соударяются с другими кристаллами. При этих столкновениях мелкие кристаллы льда теряют электроны и приобретают положительный заряд. В то же время более тяжелые частицы льда обретают отрицательный заряд и опускаются в нижнюю часть облака. Таким образом создается разделение зарядов с разностью потенциалов в миллионы вольт, которая и является причиной молний. При этом каждые десять тысяч тонн облачного льда приводят к молниеносному разряду атмосферного электричества.

Большинство молний приносит к Земле отрицательный заряд, но иногда встречаются разряды и противоположной полярности. В первом случае грозы значительно богаче молниями, чем во втором. При прохождении гроз через выступы скал и остроконечные детали сооружений на земной поверхности в воздух стекает преимущественно положительный заряд. Потеря земной поверхностью положительного заряда превышает потерю отрицательного в несколько раз. В высокогорных условиях вследствие разреженности воздуха разряд с острых оконечностей значительно интенсивнее, чем в равнинной местности.

Чаще всего молния представляет собой многократный разряд. Это обычное явление, молний может насчитываться до нескольких десятков. Паузы между отдельными «залпами» составляют несколько секунд. Средняя длительность полного разряда молнии измеряется десятими долями секунды, отклонения от среднего значения в обе стороны возможны на порядок величины. Обычно разряд развивается лавинообразно, сначала в виде ионизованного канала, получившего название лидера молнии, он ступенчато продвигается от облака к земле.

В зонах умеренного климата разряды молний направляются по преимуществу к земле, в тропиках же большинство разрядов происходит между облаками или внутри одного облака.

Разряды молний могут происходить между соседними наэлектризованными облаками или между наэлектризованным облаком и землей. Разряду предшествует возникновение значительной разности

электрических потенциалов между соседними облаками или между облаком и землей вследствие разделения и накопления атмосферного электричества в результате таких природных процессов, как дождь, снегопад. Возникшая таким образом разность потенциалов может достигать миллиарда вольт, а последующий разряд накопленной электрической энергии через атмосферу создает кратковременные токи от 3 до 200 кА. Для объяснения электризации грозных облаков был разработан ряд теорий, например модель дробления дождевых капель потоками воздуха. В результате дробления падающие более крупные капли заряжаются положительно, а остающиеся в верхней части облака более мелкие – отрицательно.

Существует также конкурирующая индукционная теория. Она строится на предположении о том, что электрические заряды разделяются электрическим полем Земли, имеющим отрицательный знак. В основе этого механизма лежит явление электростатической индукции, заключающееся в появлении противоположного заряда вблизи заряженной поверхности. Воздушные массы, насыщенные атмосферным электричеством, в целом электронейтральны, но нижняя кромка тучи получает положительный заряд, а верхняя – отрицательный. Горизонтальные молнии происходят между противоположными зарядами самого облака, а вертикальные – между его нижней частью и земной поверхностью.

В теории свободной ионизации предполагается, что электризация возникает как результат избирательного накопления ионов находящимися в атмосфере капельками разных размеров. Возможно, электризация грозных облаков осуществляется совместным действием всех этих механизмов, а основным из них является падение достаточно крупных частиц, электризуемых трением об атмосферный воздух.

При разряде молнии на всем протяжении ее извилистого пути происходит очень быстрое нагревание столба воздуха до нескольких десятков тысяч градусов. И основной канал молнии, и все его многочисленные разветвления становятся источниками ударных волн. Резкий фронт ударной волны по мере удаления от места разряда все более сглаживается, и на некотором расстоянии от источника ударная волна превращается в акустическую (звуковую) волну небольшой амплитуды. В ходе этого превращения происходит постепенное

уменьшение скорости распространения ударной волны вплоть до скорости звука в конечном итоге. Разветвленность разряда молнии между облаками обусловлена ступенчатым характером движения лидера, направление каждого шага которого определяется локальными условиями ионизации и потому носит в значительной мере случайный характер.

Средняя длина молнии обычно составляет несколько километров, но изредка между облаками могут проскакивать молнии в десятки раз длиннее. При этом разность потенциалов между грозовым облаком и Землей в верхнем пределе иногда достигает миллиарда вольт. Канал молнии определяется электрическим полем на конце движущегося лидера и локальной ионизацией. Вблизи земли его движение определяется коронным разрядом, возникающим над заостренными проводящими предметами, выступающими над поверхностью земли. Молния с большой вероятностью повторно ударяет в ту же самую точку, если только объект не разрушен предыдущим ударом.

Звуки, следующие после главного удара грома, создают впечатление удаляющегося от места наблюдения и постепенно затухающего рокочущего шума, это – раскаты грома. Они наблюдаются в местности с любым рельефом и образуются ветвящимся и удаляющимся от места наблюдения разрядом молнии. Длительность раскатов грома определяется особенностями развития молнии. В среднем раскаты длятся половину минуты, а крайние отклонения от среднего значения составляют около 50 %. Характер звучания грома является существенной особенностью уже начавшейся грозы. Народные приметы говорят, что длительные раскаты грома являются признаком приближения протяженного массива грозовых облаков. Глухой, продолжительный и умножающийся со временем гром с медленными раскатами характерен для длительной грозы, в то время как короткие и резкие удары с возрастающими по времени промежутками между ними характеризуют кратковременную.



В грозу нельзя прятаться под деревом. Следует отойти на расстояние, в два раза превышающее его высоту. Попадая в землю, молния «растекается», и ее импульсный ток создает разность потенциалов на поверхности, так называемое шаговое напряжение. Напряжение тем меньше, чем дальше от места удара. А воздействие на человека тем меньше, чем уже стоят его ноги.

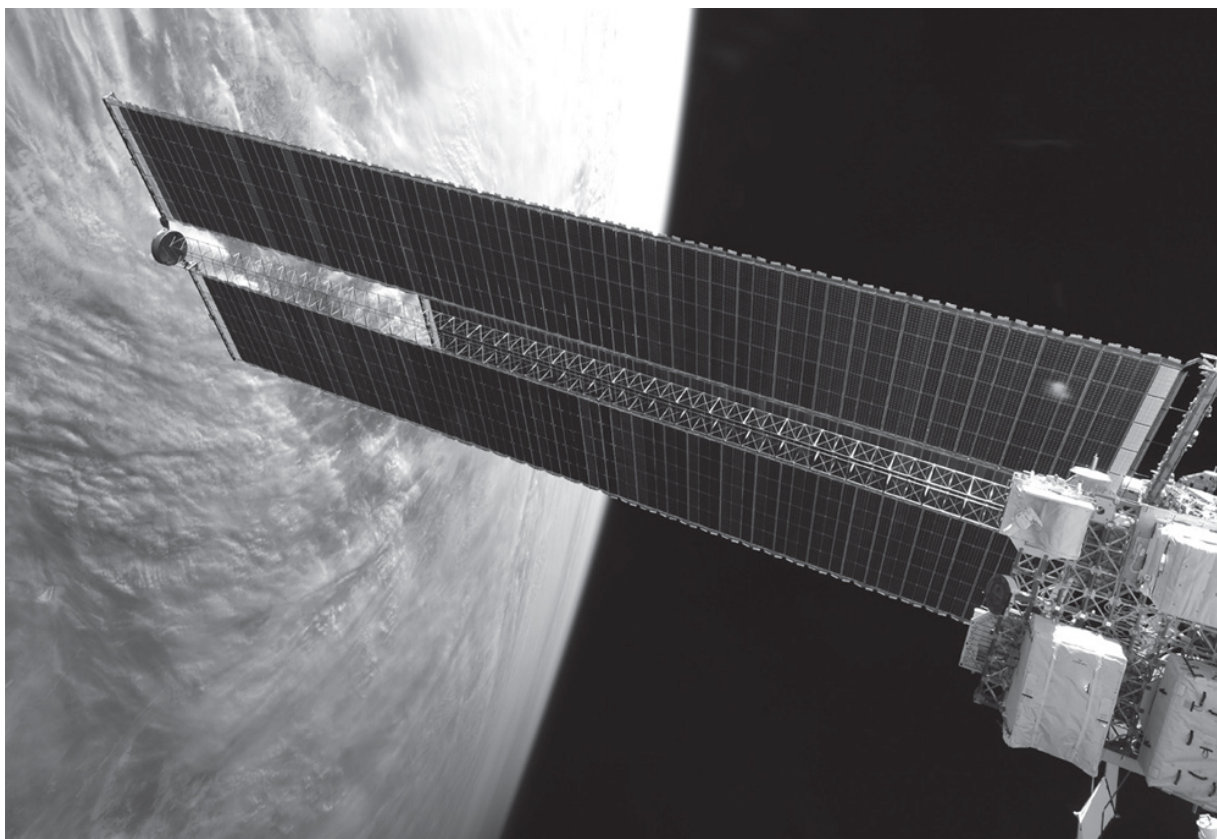
Средняя дальность слышимости грома для летних гроз на континенте составляет полтора десятка километров. Разница во времени между вспышками молнии и восприятием грома может достигать полутора минут. Гром от близкого разряда производит такое же действие на слух, как выстрел зенитного орудия в нескольких метрах от наблюдателя.

Площадь земной поверхности, на которой проявляются связанные с отдельной грозой электрические явления, простирается на десятки квадратных километров. Благодаря проводимости воздуха к земной поверхности на этой площади от облака поступает ток силой около ампера.

Учитывая, что на Земле ежесекундно наблюдается в среднем около 100 разрядов линейной молнии, можно подсчитать среднюю мощность, которая затрачивается в масштабе всей Земли на образование гроз; она равняется 10^{18} эрг/с. В связи с этим следует отметить, что энергия конденсации, выделяющаяся в грозовом облаке средних размеров с площадью основания около 30 км^2 при дожде средней интенсивности, составляет около 10^{21} эрг. Таким образом, энергия, выделяющаяся при выпадении осадков из грозового облака, значительно превышает его электрическую энергию.

С давних времен в процессе познания грозы человек стремился подчинить ее своей власти. Об этом говорит, например, легенда о Прометее. Овладение грозами было предметом мечтаний ученых и философов Средневековья. В последние годы были сделаны попытки засева грозовых облаков кристаллами йодистого серебра, йодистого свинца и твердой уголекислоты. Предполагается, что каждое из этих веществ может способствовать затуханию и даже полному прекращению грозового процесса за счет резкого усиления конденсации водяного пара. Опыты в этом направлении уже позволили

накопить обширный экспериментальный материал, позволяющий сделать ряд практических выводов. На их основе были разработаны методики, позволяющие эффективно бороться с локальными очагами непогоды при главных праздничных, спортивных, музыкальных и политических мероприятиях на открытом воздухе.



Солнечные панели космической станции содержат в общей сложности 262 400 солнечных батарей и занимают площадь около 2 500 м² – более половины площади футбольного поля.

Другой вариант основан на вычислении точной структуры и силы подогрева атмосферы, необходимого для снижения интенсивности урагана и изменения его курса. Несомненно, практическая реализация такого проекта потребует огромного количества энергии, но ее можно получить с помощью орбитальных солнечных электростанций.

Вырабатывающие энергию спутники следует оснастить гигантскими зеркалами, фокусирующими солнечное излучение на элементах солнечной батареи. Собранную энергию затем можно будет

переправить на земные микроволновые приемники. Современные конструкции космических солнечных станций способны распространять микроволны, не нагревающие атмосферу и поэтому не теряющие энергию. Для управления погодой важно направить из космоса микроволны тех частот, при которых они лучше поглощаются водяным паром. Различные слои атмосферы можно нагреть согласно заранее продуманному плану, а области внутри урагана и ниже дождевых облаков будут защищены от нагрева, так как дождевые капли хорошо поглощают СВЧ-излучение.

Есть замечательный роман Даниила Гранина «Иду на грозу». В нем рассказывается о самоотверженных исследованиях молодых ученых, проводящих опасную авиаразведку бушующих гроз с борта плохо приспособленного транспортного самолета с целью найти критические параметры для управления погодой. В романе подобные попытки заканчиваются трагически, но сама идея воздействия на грозовые процессы непосредственно с борта летательного аппарата, находящегося в центре (глазе урагана), была очень популярна во второй половине прошлого века. К сожалению, практического воплощения «генератор» погодных условий не получил и до сих пор еще не построен.

Кроме проблемы управления погодными условиями существует не менее увлекательная задача получения энергии грозового электричества. В тридцатых годах прошлого века на одной из горных вершин Швейцарских Альп была установлена металлическая решетка. Во время гроз эта решетка собирала достаточный заряд для возникновения многометровых электрических разрядов, что соответствовало силе тока в несколько десятков тысяч ампер и миллионновольтной разности потенциалов.

Вначале предполагалось получаемое на этой установке напряжение использовать для ускорения заряженных частиц в ускорителях. Однако от этой мысли пришлось отказаться ввиду сильной изменчивости электрического состояния грозовых облаков и невозможности его достаточной стабилизации. Попытки использовать протекающий во время гроз в поднятых высоко над земной поверхностью антеннах электрический ток для питания ламп накаливания также пока не дали экономически выгодного эффекта.

Каждую минуту на Земле происходит около 6000 ударов молний между облаками и земной поверхностью, естественно, что это совершенно фантастическое количество электроэнергии, расходуемое «впустую» планетными грозами, давно не дает покоя поколениям изобретателей. В научно-популярных изданиях можно найти самые разнообразные проекты различных вертикальных электролиний – громоотводов, прикрепленных к аккумуляторам и поддерживаемых дирижаблями, гелиостатами (воздушными шарами, нагреваемыми солнцем) и даже геостационарными (висящими над определенной точкой земной поверхности) спутниками. Вполне вероятно, что приближающийся глобальный топливно-энергетический кризис заставит научный мир пересмотреть отношение к подобным идеям, перейдя к детальному анализу наиболее перспективных из них.

Между прочим, один из удивительных феноменов проявления атмосферного электричества уже многие столетия служит мореходству, получив название Маяк Маракайбо.

Глава 2. Молниевый шторм в Кататумбо

С незапамятных времен грозные и таинственные явления природы волновали людей, интересовали их и требовали объяснения. Почему, к примеру, время от времени небо затягивают черные тучи, блещут молнии и гремит гром? Почему огненные стрелы поражают некоторых людей, даже если они спрятались под высокими деревьями, и не трогают других в чистом поле? Нет ли в этом какого-нибудь тайного смысла, не участвуют ли в этом выборе неведомые силы?

А. Томили. Заклятие Фавна

Как-то раз знаменитый британский пират «на службе короны», то есть имевший патент на официальный грабеж испанских колоний, Френсис Дрейк, задумал взять штурмом город Кататумбо. Этот некогда богатый испанский форпост расположен на северо-западе Венесуэлы, там, где река Кататумбо впадает в озеро Маракайбо. Весной 1595 года под покровом темноты отряды Дрейка подошли к стенам Кататумбо, и тут череда мощных беззвучных молний озарила все окрестности. Испанцы тут же подняли тревогу, и их пушки быстро обратили пиратов в бегство.

Это знаковое событие, предвосхитившее закат карибской пиратской вольницы, нашло свое отражение в эпической поэме Лопе де Вега «Песнь о драконе», написанной в 1597 году. В ней великий испанский драматург, поэт и писатель красочно изобразил гибель ненавистного адмирала-флибустьера.

Так весь мир узнал о прекрасном в своей загадочности природном явлении, которое получило название «молнии Кататумбо».

Феномен Кататумбо исследовал знаменитый прусский естествоиспытатель Александр фон Гумбольдт, пришедший к выводу, что молниевые штормы в небесах вызывают своеобразные «электрические взрывы». Наблюдения Гумбольдта дополнил известный итальянский географ Агустин Кодацци, много писавший об «удивительной череде молний высоко в небесах, которые возникают без грозовой канонады над болотами Зулия» (Зулия – это штат Венесуэлы, где располагается озеро Маракайбо и река Кататумбо).

Сегодня мы знаем, что непрекращающийся шторм Кататумбо выражается в возникновении множества последовательных молниевых вспышек. Порывы этого небесного шторма возникают в основном ночью и сильно зависят от времени года, достигая пика интенсивности в мае и октябре. Интенсивность ударов молний здесь одна из самых высоких на Земном шаре и достигает 250 разрядов на квадратный километр в год. При этом количество грозовых дней в году меняется от семидесяти до двухсот. В суточном пике активности, который приходится на время от семи часов вечера до четырех утра, можно увидеть до трех десятков вспышек в минуту. В час молнии вспыхивают до трех сотен раз.



Молнии видны с расстояния до 400 км, не только в дни штормов, но и в обычные. Из-за такой постоянной грозовой активности молниевый шторм называют Маяком Маракайбо, ведь на протяжении столетий яркие сполохи помогали судам ориентироваться в болотистой дельте Кататумбо.

Грозовые тучи над Кататумбо порождают более миллиона молний в год, мощность каждой из которых составляет порядка 400000 А. Непрерывно сменяя друг друга, небо пересекают колоссальные электрические разряды до десяти и более километров длиной. Самое интересное, что при такой интенсивности молний практически не слышно грозовых раскатов.

Считается, что молнии Кататумбо являются крупнейшим одиночным генератором озона на Земле. Впадающая в озеро Маракайбо река Кататумбо проходит через очень большие болота, вымывая органические материалы, которые, разлагаясь, выделяют огромные облака ионизированного метана. Потом они поднимаются на большие высоты, где разносятся сильными ветрами, прибывающими из Анд. Метан, ослабляя изоляционные свойства воздуха в облаке, вызывает частое появление молний.

Существуют и другие версии возникновения молниевых штормов над Маракайбо, но в январе 2010 года метановая гипотеза получила существенное подтверждение. После многомесячной засухи многие болота пересохла, и выбросы метана резко снизились. Вскоре Маяк Маракайбо погас. Небесные сполохи исчезли на долгие три месяца, так что экологи, метеорологи и туристы забили тревогу задаваясь вопросом, почему прекратился удивительный феномен. К счастью, после обильного сезона дождей, восстановившего водный баланс болот, генератор молний заработал вновь и с небольшими перерывами продолжает сверкать до сих пор.

Обычно молнии «включаются» примерно через час после заката. К этому моменту небольшие кораблики с туристами уже качаются на волнах озера. Берег чуть виден, и его огни не мешают наслаждаться удивительной и завораживающей картиной бесконечной пляски желто-оранжевых всполохов. При этом старожилы не рекомендуют искать встречи с молниями в период с января по март.

Недавно НАСА представило серию снимков молниевых штормов, сделанных с высоты нескольких сотен километров метеоспутником GOES-16. Этот геостационарный спутник наблюдения за окружающей средой был запущен на орбиту высотой в 35,8 тысячи км и с тех пор висит над Западным полушарием, анализируя погоду и передавая данные на Землю.

Этому новейшему американскому погодному спутнику и удалось запечатлеть поразительный мощный электрический шторм, который разразился над северо-западом Венесуэлы. Кроме всего прочего, GOES-16 зафиксировал редкую особенность молниевых штормов, когда разряды бьют исключительно из тучи в тучу параллельно земной поверхности.

На гербе и флаге штата Зулия в честь феномена Кататумбо изображен стилизованный Маяк Маракайбо. При этом власти штата при поддержке центрального правительства на протяжении многих лет ставят вопрос о включении этого удивительного природного явления в перечень памятников всемирного наследия ЮНЕСКО. Если молнии Кататумбо когда-нибудь попадут в этот список, это, несомненно, будет беспрецедентным решением мирового сообщества.

Глава 3. Молниеносные призраки

Издавна считалось, что в Древнем Лесу, помимо обитателей фауны, живут таинственные призрачные эльфы. Они являлись защитниками леса от посторонних, которые нарушали покой и порядок, пытались посягнуть на святое – на их дом. А те, кто все же решил вторгнуться в лес, не смели задерживаться там дольше, чем до заката солнца, ибо, когда на землю опускался мрак ночи, начиналась охота на неожиданных гостей. Мало кому удавалось выбраться из леса живым, сквозь тьму, засады и ловушки, поставленные невидимыми, как призраки, существами. А те немногие счастливики, которым удалось спастись, говорили, что эти воины ловки, а их удары сильны, как разряды молний, и точны, как время, а тьма – их стихия.

Дж. Толкиен. Властелин колец

Кто не помнит из детства описание таинственного Древнего Леса из романа Толкиена! И вот, в конце двадцатого века, кажется, прямо со страниц романа сошли сказочные персонажи, чтобы обогатить науку об атмосферном электричестве удивительными образами молний-призраков. Призрачные короткоживущие молнии – спрайты, эльфы, джеты и струи – быстро стали одним из интенсивно исследуемых явлений в атмосферной физике.

Характеристики спрайтов были зарегистрированы исследователями из различных частей света, но, несмотря на внимание, которое было обращено на новый вид молний, до сих пор не существует приемлемой

теории, которая удовлетворительно объясняла бы их инициирование и развитие.

Удивительна история открытия молний-эльфов. Впервые они наблюдались с борта космического аппарата, поскольку являются наиболее вероятной формой разгрузки молниевых разрядов на больших высотах (30–95 км), их существование многие исследователи связывают с квазиэлектростатическими областями, насыщенными электричеством в нижней кромке грозового облака. Среди них преобладает окраска пурпурного цвета, время их жизни составляет несколько миллисекунд. Из-за низкой поверхностной яркости они были зафиксированы только ночью (прежде всего очень чувствительными монохроматическими камерами). Однако если глаза наблюдателя достаточно привыкли к темноте, то спрайты можно обнаружить без каких-либо оптических инструментов.

Голубыми или синими спрайтами называют оптические вспышки, пляшущие над грозовыми тучами на высоте от 30 до 90 км. По своей природе они родственны высотным молниевым разрядам, но возникают на самом краю атмосферы, и были открыты в ходе орбитальных наблюдений поверхности верхнего облачного покрова гроз. Вспышки голубых спрайтов и родственных им синих джетов обычно длятся от нескольких сотых до нескольких десятых долей секунды и имеют характерные формы, которые исследователи описывают как «колонны», «пальцы», «деревья» и «морковь».



Поскольку спрайты возникают на большой высоте, они могут влиять на химический состав озонового слоя Земли.

Далеко не сразу к ученым пришло понимание, что эти оптические явления связаны с положительным облачным покровом основания туч, так как они сопровождают удары молнии в значительном удалении от электрически активных ядер гроз. На сегодняшний момент еще не найдено отрицательных спрайтов.

Эльфы – это разбросанные области яркости, которые возникают намного выше энергетических уплотнений разрядов молний положительной или отрицательной полярности. Скорее всего, эльфы исчезают после того, как энергетический электромагнитный импульс разряжается в ионосферу. Хотя обычные молнии и могут сопровождаться эльфами, считается, что их причинный механизм имеет полностью различную природу.

Кстати, свое необычное название эльфы получили как английский акроним слов: эмиссия света и возмущений. Красные эльфы и синие джеты – это верхние атмосферные оптические явления, связанные с грозами, которые были зарегистрированы с использованием телевизионных технологий ночного видения. Первые изображения эльфы были случайно получены в 1989 году и начиная с 1990 года двадцать изображений зафиксированы с шаттла «Колумбия».

С тех пор зарегистрировано более тысячи видеонаблюдений эльфов и джетов. Они включают как наземные измерения, так и авиационно-космические. После красных призраков в результате высотной аэрокинофотосъемки были обнаружены многочисленные изображения новой формы оптической активности, получившие название синих джетов. Синие джеты появляются непосредственно у вершин облаков и выстреливают вверх узкими конусами через стратосферу. Их восходящая скорость оказалась фантастически велика: приблизительно 100 км/с.

Высокоскоростные фотометрические измерения показывают, что продолжительность эволюции эльфов связана с молниевыми разрядами в распадающихся частях гроз и зависит от интенсивности ударов положительных молний по направлению центр-основание. Оптическая интенсивность средней группы из пучков эльфов, оцененная по сравнительной сводной таблице звездных интенсивностей, сопоставима с умеренно яркой утренней дугой восхода (до появления края солнца).

Для невооруженного человеческого глаза молнии-призраки предстают в виде обширных неярких вспышек-сполохов пастельных тонов, но в усиленном телевизионном изображении, которое можно получить на земной поверхности или с борта летящего самолета, они уже проявляются как сложные комплексные структуры, принимающие самые разнообразные формы и очертания.

Второе крупное семейство молний-призраков – синие джеты – представляет собой высотное оптическое явление со временем жизни около секунды. Они существенно отличаются по спектрально-световой гамме и внешнему виду от эльфов, хотя наблюдаются в тех же областях выше гроз с использованием таких же телевизионных систем ночного видения. Из их названия (jet – выброс, англ.) подразумевается, что джеты похожи на оптические выбросы из вершин электрически

активных основных областей гроз. После их появления от вершины грозовой тучи они типично размножаются вверх в узких конусах с вертикальной скоростью примерно 100–300 км/с, раздуваясь и исчезая приблизительно на пятидесятикилометровой высоте. Существование голубых струй давно было предсказано геофизиками, но только ученым, пролетая в самолете со скоростной видеоаппаратурой над большой грозой, удалось заснять это потрясающее зрелище.

Молнии-призраки эльфы рождаются довольно редко и только в области активных слоев грозы. Они обычно встречаются группами, занимая обширное пространство, при этом кажутся плотно упакованными пучками из многих индивидуальных эльфов. Изредка встречаются обширные призраки со свободной упаковкой структуры, простирающиеся в поперечно-горизонтальном направлении на десятки километров и занимающие атмосферные объемы в десятки тысяч кубических километров.

Чтобы их увидеть, необходимо оказаться в условной зоне визуального доступа выше шторма между свободно парящими облаками и темным звездным фоном. В большинстве случаев подобные условия складываются нечасто. Сами по себе эльфы тусклые и могут быть замечены только привыкшими к темноте глазами. В среднем их яркость сравнивается со слабыми северными сияниями. Непосредственное восприятие призрачных молний эльфов и джетов определяется особенностями человеческого зрения.

В сетчатке наших глаз два вида рецепторов, так называемые колбочки и палочки. Колбочки отвечают за цветное зрение, их пороговая чувствительность приблизительно пересекается с уровнем восприятия молнии-призрака. Палочки несколько более чувствительны, но они обеспечивают черно-белое вечернее и ночное видение предметов.

Обычно призрачные молнии представляют собой обширные, но слабые вспышки, которые появляются непосредственно выше верхней кромки грозы. Они напоминают небольшие сполохи и многократные вертикально удлиненные пятна со слабыми всплесками свечения, которые простираются от вершин облака на десятки километров. Чаще всего наиболее яркая область свечения располагается на высоте 65–75 км, выше которой часто можно наблюдать слабый красный жар,

который простирается приблизительно на 90 км. Ниже яркой красной области наблюдаются синие волокнистые структуры, простирающиеся вниз на несколько десятков километров.

Поэтому привыкшие к темноте глаза готовы зафиксировать эльфов и джетов как бесцветные тени, при этом нужно не смотреть на объект непосредственно, а использовать боковое зрение. Таким образом, они могут буквально появиться как вспышки в уголках глаз (возникнуть как призрак!). Из-за призрачной основы эльфов очень трудно рассмотреть в присутствии ярких близлежащих огней, например в городе. Следует также учитывать, что подсветка облака от молнии составляет величину более яркую, чем сам эльф. Это может легко отвлечь наблюдателя, чтобы он мог заметить мимолетный и тонкий танец красных эльфов высоко в небе выше шторма, бушующего ниже. Обычно эльфы живут в течение 3–10 мс. Это слишком мало, чтобы сфокусировать на них пристальный взгляд для полного визуального контакта.

Недавно было открыто еще несколько новых типов молний, их назвали «голубые струи». Эти атмосферные разряды, формирующиеся очень высоко в земной атмосфере, намного выше, чем слои, где появляются обычные молнии. Голубые струи образуются начиная от вершин облаков и до высот порядка полусотни километров. Поскольку жизнь голубых струй составляет всего лишь секунду, их можно заснять только скоростной видеокамерой. Голубые струи выглядят узкими конусами, перемещающимися в пространстве со скоростью около 100 км/с.

Если учесть все вышеперечисленные особенности появления и наблюдения молний-призраков, становится ясно, почему они столь неуловимы. Однако в ряде случаев они могут быть замечены и невооруженным человеческим глазом. Для этого требуется четко видеть всю перспективу грозы, особенно если молниевые разряды наблюдаются вблизи горизонта, при этом облачный покров должен быть не особенно мощным.

Лучше всего наблюдать грозовой шторм на расстоянии 200–300 км в сгущающихся сумерках. При этом глаза должны быть полностью адаптированы к темноте, как в случае астрономических наблюдений. Если вы можете увидеть Млечный Путь, это значит, что уже достаточно стемнело и зрение приспособилось к фиксации

молний-призраков. Далее необходимо остановить пристальный взгляд на пространстве выше активной области грозы, стараясь при этом не отвлекаться на молнии внутри наэлектризованного облака. Эльфы и джеты как очень краткие вспышки воспринимаются только на самом краю визуальной чувствительности. Они перемещаются слишком быстро, чтобы следовать за ними глазами, но их странный вид, вертикальная полосатая структура и багровый тусклый цвет могут быть замечены боковым зрением и отложиться на сетчатке глаза. Так, терпение наблюдателя может быть вознаграждено, если правильно выбрать вид грозового шторма и геометрическую перспективу наблюдения молниевых разрядов. Можно сказать, что вероятность увидеть эльфов, струи и джеты намного превосходит возможность наблюдения метеоров.

Иногда появление молний-призраков смешанного типа «эльф-джет» объясняют ионосферным резонансом Шумана, связанным с явлением образования стоячих электромагнитных волн низких и сверхнизких частот между поверхностью Земли и верхними слоями атмосферы: если возникшая в этой среде электромагнитная волна от разряда мощной молнии после огибания Земного шара снова совпадает с собственной фазой (входит в резонанс), то она может существовать долгое время, порождая всплески слабого свечения.

Большой научный интерес представляет электронное моделирование возможных электрохимических эффектов для эльфов и джетов в мезосфере и стратосфере с помощью разнообразных компьютерных программ. Следует признать, что с помощью компьютерных моделей эволюции эльфов были установлены многие важные закономерности их поведения. Так, прояснился принципиальный вопрос: могут ли они создавать в пределах верхней атмосферы локально или глобально существенные долгоживущие электрохимические остатки?

В целом призрачные молнии должны играть большую роль в общей земной системе перераспределения атмосферного электричества и могут быть существенным элементом глобальной электрической цепи Земли. Вполне вероятно, что они были неотъемлемой частью гроз, которые произошли за предыдущие миллиарды лет после возникновения атмосферы и даже внесли свой вклад в процесс возникновения жизни на Земле.

Можно строить предположения о возможности возникновения подобных явлений, связанных с молниевыми разрядами и на других планетах Солнечной системы, особенно это касается Юпитера и Венеры, где были обнаружены следы необычно сильного радиоизлучения от молниевых разрядов.

Глава 4. Круглое электричество

Нам думается, что ранее высказанные гипотезы о природе шаровой молнии неприемлемы, так как они противоречат закону сохранения энергии. Это происходит потому, что свечение шаровой молнии обычно относят за счет энергии, выделяемой при каком-либо молекулярном или химическом превращении, и, таким образом, предполагают, что источник энергии, за счет которого светится шаровая молния, находится в ней самой...

П. Капица. О природе шаровой молнии

Иногда кажется, что мы лучше знаем о том, что происходит во время вспышек сверхновых и при образовании нейтронных звезд, чем о том, что творится буквально рядом с нами во время грозы. И конечно же, чаще всего среди самых интригующих загадок атмосферного электричества упоминается шаровая молния. Еще недавно многие авторитетные ученые не верили в само ее существование. Наблюдение в природе продолжает быть единственным надежным средством исследования, несмотря на опыты, ведущиеся в физических лабораториях, и компьютерные эксперименты. Поэтому установить факты можно только одним способом – тщательной проверкой сообщений очевидцев и накоплением статистики.

Само по себе увеличение объема фактических данных не всегда ведет к устранению противоречий и созданию определенной картины явления. Наоборот, в некоторых случаях хаос только нарастает, а четкая физическая картина не прорисовывается. Это верный признак того, что наблюдения – плод досужей фантазии и богатого

воображения, никакого реального содержания за ними нет или мы очень далеки от его истинного понимания.

В других же случаях накопление фактов приводит к тому, что туман рассеивается и из него начинают выступать четкие контуры реальности. Именно так и получилось в случае шаровой молнии. Огромный материал, собранный современными учеными, принес лишь несколько новых открытий по сравнению с тем, что было известно о шаровой молнии еще двести лет назад. Но он позволил точно утверждать, что шаровая молния действительно существует, и выделить определенные признаки, с помощью которых можно отделить правильные сообщения очевидцев от неточных, преувеличенных или выдуманных. Кроме того, ученые впервые смогли надежно оценить физические параметры шаровой молнии и благодаря этому сделали шаг вперед к научному объяснению ее природы.

Что же известно сейчас о шаровой молнии?

Почти в половине случаев за время наблюдения молния успевает пройти от одного до десяти метров. Очевидцы сообщили, что молния двигалась горизонтально, в каждом пятом случае она опускалась вниз и лишь в каждом двадцатом поднималась вверх. В среднем молния проходит за секунду не больше нескольких метров, отсюда следует, что этот огненный шар состоит из газа, который лишь немногим плотнее воздуха.

подавляющее большинство людей может за свою жизнь наблюдать множество разрядов обычной молнии, так и не увидев ни разу шаровой. По количеству свидетельских показаний можно оценить, что в год их наблюдается десятки тысяч, но за всю свою жизнь это явление видит примерно один человек из тысячи.

А насколько часто шаровые молнии возникают? Естественным масштабом для сравнения является частота появления молний линейных. Мы видим такую молнию издалека, но оказаться вблизи от места, куда она ударила, — довольно редкое событие. Можно предположить, что приблизительно в двух из пяти случаев удар линейной молнии сопровождается появлением шаровых.

Средний диаметр шаровой молнии составляет 20–30 см, хотя чаще встречаются молнии поменьше. Появляющиеся при ясной погоде значительно крупнее возникающих во время грозы и наблюдаются в течение более длительного времени. В половине случаев шаровая

молния появляется в радиусе пяти метров от наблюдателя, а в каждом шестом случае пролетает в полуметре.

Появление шаровой молнии связано с прохождением грозы над местностью, иногда светящийся шар возникает рядом с каналом линейной молнии. Однако в двух из каждых трех случаев наблюдений она возникала из розеток, электроприборов, радиоприемников, телевизоров, телефонов, батарей отопления и даже гвоздей, вбитых в стену, – то есть из металлических проводников; а также проникала сквозь диэлектрики (стекло и прочее), иногда повреждая их.

Нередки случаи, когда шаровая молния проходила через щели, даже не опалив обоев, или с ловкостью вора-домушника «вырезала» кружок оконного стекла по своему размеру, не повредив остальное.

В девяти из десяти случаев молния имеет сферическую форму, благодаря чему и получила свое название. Иногда ее образ бывает искажен электрическими полями или потоками воздуха: молния становится похожей на эллипсоид, грушу или совсем теряет правильную форму. В двух случаях очевидцы наблюдали молнию в форме кольца. Цвет свечения шара – от красноватого до светло-голубого и зеленого. Появление шаровой молнии иногда сопровождается шипением, жужжанием, свистом, завыванием и потрескиванием. Двигается она медленно, иногда останавливается, а достигая какой-либо преграды, часто взрывается. Мощность взрыва достаточна, чтобы разрушить печную трубу, разбить на кусочки кирпичи здания. Иногда шаровая молния исчезает бесшумно. Обычно после ее исчезновения в помещении остается остро пахнущая дымка, голубая в отраженном свете и коричневая в проходящем.

Существуют также неподвижные шаровые молнии, испускающие ослепительно-белый свет. Они «закрепляются» на остриях громоотводов (да-да, громоотводы не спасают), на краях металлических крыш, на верхушках труб. В то время как подвижные молнии могут оседать и становиться неподвижными, те, наоборот, порой срываются с места. Большая шаровая молния может иногда распаться на несколько светящихся шаров меньшего размера.

Еще одним поразительным свойством шаровой молнии является способность проникать через узкие отверстия и даже щели, деформируясь при этом и вновь восстанавливая сферическую форму после выхода в свободное пространство. Один очевидец наблюдал с

расстояния 15–20 см, как через отверстие в стене «...пролезал желтый шарик величиной с крупный апельсин, – и уточнил, – вернее, не пролезал, а переливался из одной половины в другую». Другой рассказал, как шаровая молния прошла в комнату через трещину в стекле сплюснвшись, поскольку размер ее был больше размеров трещины.

Подобные явления можно объяснить тем, что вещество молнии отчасти похоже на жидкость: оно обладает поверхностным натяжением и не смешивается с окружающим воздухом.

Световой поток, испускаемый шаровой молнией, для оценки сравнивают со светом электрической лампочки. Чаще всего очевидцы называют два интервала: 50–100 и 100–200 ватт, на которые в сумме приходится около половины наблюдений. Таким образом, световой поток от шаровой молнии в среднем сравним с тем, который испускает стоваттная электрическая лампочка. Но удивительно не это: оказывается, излучая свет, шаровая молния почти совсем не выделяет тепло! Судя по наблюдениям, не может быть речи о температуре в тысячу градусов, которую часто приписывают шаровой молнии.



Шаровая молния – не что иное, как сгусток обыкновенного воздуха, заряженного энергией. Шар, «проплывая», отдает свою энергию

свободным электронам окружающего воздуха. Это вызывает его свечение. Если, в условиях открытого пространства, на его пути встречаются вещества (пыль, сажа), действующие как катализаторы, шар взрывается.

Вблизи поверхности земли сила тяжести молнии уравнивается действием электрического поля от зарядившейся в грозу поверхности почвы. В таком взвешенном состоянии движение молнии зависит либо от воздушных потоков, либо от небольших изменений приземного электрического поля. Именно в этом состоит причина необычности ее поведения. Дело в том, что мы не имеем органов, которые реагировали бы на напряженность электрического поля. Во время грозы оно может возрасти вокруг нас в тысячи раз, и тем не менее мы этого не ощутим. Поэтому в повседневной жизни мы не знаем, как меняется электрическое поле вокруг нас, и, в отличие от поля тяжести, не привыкли считаться с ним как с возможной причиной, определяющей движение тел.

Данные о физиологическом действии шаровой молнии весьма противоречивы: некоторые утверждают, что она способна убить, но в большинстве случаев дело кончается ударом тока. Степень тяжести пострадавшего определяется электрическим состоянием окружающих предметов. Во время грозы на отдельных участках поверхности земли могут находиться значительные заряды. Часть их нейтрализуется при ударах молнии (каждый разряд переносит в среднем около 25 Кл). По-видимому шаровая молния обладает свойством снимать с проводников накопленное электричество. При контакте шаровой молнии с заряженным проводником в нем возникает кратковременный импульс тока, при котором заряды, проходя через шар, рассеиваются в воздухе. Сама молния в этот момент распадается, что наблюдатели воспринимают как взрыв.

Энергия, выделяющаяся при взрыве, не имеет никакого отношения к энергии, запасенной в самой шаровой молнии. Энергия накапливается в заряженных проводниках, а молния служит лишь для освобождения энергии.

С этой точки зрения понятно, почему контакт шаровой молнии с предметами иногда нейтрален: значит, проводник не был заряжен. А

поскольку, как уже было сказано, мы не воспринимаем электрические поля нашими органами чувств, то ничего и не знаем о плотности зарядов на окружающих нас телах. Поэтому столь неожиданным кажется нам различное поведение шаровой молнии при столкновении с ними. Итак, в отсутствие зарядов встреча с шаровой молнией безопасна.

Многие ученые при объяснении свойств шаровой молнии исходят из того, что она состоит из вещества, находящегося в состоянии плазмы. Плазма похожа на газообразное состояние с единственной разницей: молекулы вещества в плазме ионизованы, то есть потеряли (или, наоборот, приобрели лишние) электроны и перестали быть нейтральными. Это значит, что молекулы могут взаимодействовать не только как частицы газа – при столкновениях, но и на расстоянии с помощью электрических сил.

Разноименно заряженные частицы притягиваются. Поэтому в плазме молекулы стремятся вернуть себе потерянный заряд путем воссоединения (на физическом языке – рекомбинации) с оторванными электронами. Но после рекомбинации плазма превратится в обычный газ. Поддерживать жизнь плазмы можно только до тех пор, пока рекомбинации что-то мешает, – как правило, очень высокая температура.

Если шаровая молния – это плазменный шар, то она обязана быть горячей. Так рассуждают сторонники плазменных моделей, но существует и другая возможность. Ионы, то есть молекулы, потерявшие или захватившие лишней электрон, могут притянуть к себе обыкновенные нейтральные молекулы воды и окружить себя прочной «водяной» оболочкой, заключающей лишние электроны внутри и не дающей им воссоединиться со своими хозяевами. Такое возможно потому, что молекула воды имеет два полюса: отрицательный и положительный, к одному из которых и притягивается ион в зависимости от своего заряда. Значит, сверхвысокие температуры больше не нужны, плазма может оставаться и «холодной» в диапазоне 200–300 градусов.

Ион, окруженный водяной оболочкой, называется кластером, поэтому гипотеза получила имя кластерной, автором ее является видный исследователь феномена огненных шаров профессор Стаханов. В отличие от многих других, эта теория выдерживает

сравнение с данными нескольких тысяч известных сейчас наблюдений шаровой молнии и удовлетворительно объясняет многие. В последующих исследованиях выяснилось, что сама по себе водяная оболочка не может получиться столь плотной, чтобы помешать ионам рекомбинировать.

Но рекомбинация приводит к возрастанию однородности шаровой молнии, ведь в плазме положительно и отрицательно заряженные молекулы отличаются друг от друга и по-особому взаимодействуют, а после рекомбинации они перемешиваются и становятся неразличимыми.

До сих пор считалось, что в предоставленной самой себе системе беспорядок самопроизвольно возрастает, то есть в случае шаровой молнии рекомбинация произойдет сама собой, если ей как-то не помешать. Но из результатов компьютерного моделирования следует совершенно иной вывод: беспорядок вносится в систему извне, например при хаотичных столкновениях молекул на границе шаровой молнии и воздуха, в котором она движется. Пока беспорядок не достигнет определенного уровня, рекомбинации не будет даже несмотря на то, что молекулы стремятся к этому. Характер их движения внутри шаровой молнии таков, что при сближении разноименно заряженные молекулы будут пролетать друг мимо друга, не успевая обменяться зарядом.

В 1955 году академик Капица опубликовал доклад «О природе шаровой молнии». В своей работе он объяснил возникновение шаровой молнии, и многие (если не все) ее странные особенности возникновением коротковолновых электромагнитных колебаний в пространстве между грозowymi тучами и земной поверхностью. Но вот чего академику не удалось объяснить, так это природу тех самых коротковолновых колебаний.

Шаровую молнию, по его мнению, питают радиоизлучения, возникающие при грозowych разрядах атмосферного электричества. Если, пишет он, «в природе не существует источников энергии, еще нам неизвестных, то на основании закона сохранения энергии приходится принять, что во время свечения к шаровой молнии непрерывно подводится энергия, и мы вынуждены искать этот источник энергии вне объема шаровой молнии. Шаровые молнии

возникают там, где радиоволны достигают наибольшей интенсивности».

Предложенное видным советским ученым объяснение шаровой молнии хорошо согласуется со многими ее особенностями; и с тем, что она иногда катится по поверхности различных предметов, не оставляя ожогов, и с тем, что чаще всего проникает внутрь помещений через дымоходы, окна и даже небольшие щели. Капица предполагал, что шаровая молния является продуктом коротковолнового излучения, возникающего в пространстве между облаками и поверхностью Земли. В дальнейшем на основании этого предположения физики разработали целую теорию – мазер-солитонную. Эта теория предполагает, что шаровая молния является производным явлением своеобразного «атмосферного мазера», то есть лазера, излучающего в радиодиапазоне. Технически эффект «атмосферного мазера» можно объяснить как результат возникновения вращательной энергии в молекулах воды под воздействием короткого импульса электромагнитного поля, сопровождающего грозовые разряды – молнии.

Поскольку под воздействие молний попадает очень большое пространство, вероятность возникновения эффекта «атмосферного мазера» может быть достаточной для наблюдения. Однако следует учитывать, что для возникновения видимой шаровой молнии необходимо либо огромное воздушное пространство, либо полость с проводящими стенками – этим объясняется, почему шаровая молния иногда материализуется прямо в зданиях и даже в за бортом самолетов и подводных лодок.

Теорию «атмосферного мазера» косвенно подтверждает то, что шаровые молнии никогда не образуются вблизи острых горных вершин, около верхних этажей небоскребов и в других высоких точках, которые, так сказать, привлекают молнии и где любят собираться специалисты по изучению этого атмосферного явления. Между тем теория «атмосферного мазера» предсказывает, что вблизи пиков образование шаровых молний невозможно. Импульс поля молнии, бьющей в высотный объект, образует довольно узкий конус, занимающий очень небольшой объем. Когда же молния бьет в какой-либо объект, располагающийся в плоской местности, возникающий

при этом импульс оказывается огромным – до десяти километров в ширину и до трех в высоту.

Кроме того, известно, что шаровые молнии, возникающие внутри замкнутых помещений, как правило, безвредны. Энергия мазера в таких средах ограничивается 10 Дж (в открытом пространстве энергия достигает 10^9 – 10^{10} Дж), а это совершенно неопасно. В то же время известно, что возникающая на открытом воздухе шаровая молния часто исчезает с мощным взрывом.

Существует и еще одна теория возникновения огненных шаров. Согласно ей, источником энергии для шаровой молнии является электрическое поле, которое создают заряды, рассеивающиеся в земле после удара молнии. Они же контролируют движение шаровой молнии, так что оно никак не зависит от условий окружающей среды (например, шаровая молния может спокойно лететь против ветра). Такая шаровая молния напоминает коронный разряд в газе и представляет собой последовательность электрических импульсов, сменяющих друг друга с миллисекундной частотой. Шаровая молния средних размеров (с человеческий кулак) может образоваться из крупной капли росы, попавшей в канал грозового разряда. С другой стороны, показали расчеты, для устойчивости шаровой молнии необходимо, чтобы плотность ее вещества мало отличалась от плотности окружающего воздуха.

В то время как аналог линейной молнии – искровой разряд – сравнительно легко воспроизводится в лаборатории, шаровую молнию все еще не удастся получить искусственно. Конечно, масштабы экспериментально получаемых искр и природных молний несопоставимы, но все же нет сомнений в том, что в них происходят одни и те же явления. Этого нельзя сказать о шаровой молнии, создать аналоги ученые уже могут, но точно смоделировать ее не удастся, а значит, приходится полагаться на недостаточную информацию из наблюдений, сделанных очевидцами без рафинированной лабораторной техники.

Правда, ставились и опыты, в которых экспериментаторы пытались получить электрические разряды сферической формы или светящиеся газовые шары. Полученная искусственно молния, подобно заправской, «плюется» искрами, собирается в шар, проходит сквозь щели. Однако перед ученым, который занимается экспериментами, даже в случае

успеха будет стоять вопрос: является ли опыт аналогом шаровой молнии? Для точного ответа на данный вопрос нужно провести серию исследований в контролируемых условиях.

Согласно одной из ранее распространенных гипотез, шаровая молния может возникнуть за счет происходящей иногда фокусировки ядерно-активных космических частиц в мощном электрическом поле грозовых облаков. Возникающая при этом реакция дробления ядер атмосферного газа ксенона может дать энергию, достаточную для образования шаровой молнии. С этой точки зрения вероятность ее образования должна иметь связь с мощными вспышками на Солнце, обуславливающими увеличение интенсивности космического излучения у земной поверхности.

А можно ли встретить плазмоиды на иных планетах и просто в открытом космосе?

Мы знаем, что на Венере и газовых гигантах бушуют фантастические ураганы, сопровождаемые мощными разрядами атмосферного электричества, следовательно, шаровые молнии также могут возникать во время инопланетных гроз. Иногда похожие на плазмоиды образования встречали и в космическом пространстве – либо висящими над лунной поверхностью.

Глава 5. Загадки Авроры

...Небо пылало. Бесконечная прозрачная вуаль покрывала весь небосвод. Какая-то невидимая сила колебала ее. Вся она горела нежным лиловым светом. Кое-где показывались яркие вспышки и тут же бледнели, как будто лишь на мгновение рождались и рассеивались облака, сотканные из одного света... В нескольких местах еще раз вспыхнули лиловые облака. Какую-то долю секунды казалось, что сияние погасло. Но вот длинные лучи, местами собранные в яркие пучки, затрепетали бледно-зеленым светом. Вот они сорвались с места и со всех сторон, быстрые, как молнии, метнулись к зениту. На мгновение замерли в вышине, образовался огромный сплошной венец, затрепетали и потухли.

Г. Ушаков. Полярные исследования

Современную стадию развития человечества можно сравнить с первыми шагами ребенка, открывающего новый мир, во многом еще непонятный, сложный и далеко не всегда дружелюбный. При его освоении нельзя избежать потерь и ошибок, но мы постепенно учимся распознавать новые опасности и преодолевать их. А опасностей этих немало. Это и радиационный фон в верхних слоях атмосферы, и потеря связи со спутниками, самолетами и наземными станциями, и даже катастрофические аварии на линиях связи и электропередачи, происходящие во время мощных магнитных бурь.

Биосфера человека расположена на суше, в пограничной области поверхности водного и дна воздушного океанов. Со всех сторон она окружена благодатной воздушно-водяной средой, поддерживающей

жизнь. Однако плотность атмосферы резко падает по мере удаления от поверхности Земли. В верхних слоях атмосферы разряженный воздух непригоден для дыхания, но он задерживает все губительные излучения, идущие от Солнца и из космического пространства.

Наша планета окружена оболочкой плазмы – плазмосферой, состоящей из разряженного ионизованного газа. Форма плазмосферы была установлена на основании данных наблюдений автоматических космических аппаратов. Существование обращенной к Солнцу ветви плазмосферы предполагалось и раньше, но теперь впервые ее удалось обнаружить непосредственно. Видна также земная тень, направленная в сторону, противоположную Солнцу. Яркие области в центре снимка – это замкнутые авроральные кольца над северной частью Земного шара, а для наблюдателей на поверхности Земли – просто северные сияния. Считается, что плазмосфера образована ионизованными солнечным излучением молекулами верхних слоев земной атмосферы и удерживается магнитным полем Земли.

Верхняя атмосфера (стратосфера) Земли служит своеобразным воздушным щитом для отражения многочисленных метеоритов. Такие метеорные тела даже небольшого размера вследствие огромной скорости обладают большой разрушительной силой. Сталкиваясь с газовыми частицами атмосферы, они сильно разогреваются и испаряются, оставляя в небе характерные следы «падающих звезд».

Начиная с высоты около пятидесяти километров над поверхностью Земли расположен ярус воздушной оболочки, ионосфера, которая простирается до высот в несколько сотен километров, плавно переходя в мантию плазмосферы. Воздушная среда здесь существенно меняет свой состав, становится в миллиарды раз более разреженной; растет относительная концентрация легких газов. У поверхности Земли воздух в основном состоит из двухатомных молекул азота, кислорода и углекислого газа. А на большой высоте – в ионосфере – молекулы этих газов под воздействием жесткого излучения Солнца распадаются на отдельные атомы. На высотах в тысячи километров основными элементами экзосферы (внешней атмосферы) становятся водород и гелий.

Среда ионосферы все время находится в бурном движении, перерастающем в настоящие ураганы, правда, не заметные на земной поверхности.

Однажды ученые даже наблюдали загадочные облакообразные полярные сияния, мчавшиеся со скоростью свыше 3 тыс. км/ч.

Поскольку на границе экзосферы плотность газов ничтожно мала, молекулы и атомы могут беспрепятственно разогнаться до второй космической скорости. При такой скорости любое тело преодолевает земное притяжение и уходит в космос. То же самое происходит с газовыми частицами водорода и гелия. Но несмотря на утечку легких газов из земной атмосферы, ее состав не меняется, так как происходит непрерывный процесс восполнения за счет газов земной коры и испарения океанов. К тому же часть тех же атомов и молекул поступает из межпланетной среды при обтекании земной экзосферы.

Полярные сияния – одно из самых красивых световых явлений в природе, поэтому они привлекали внимание человека на протяжении всей его истории. Упоминания о полярных сияниях можно найти в трудах древних философов.

Долгое время полярные сияния рассматривались как предвестники катастроф – эпидемий, голода и войн. Например, это явление связали с падением Иерусалима и смертью Юлия Цезаря. Во всяком случае, в этом видели проявление гнева богов или других сверхъестественных сил. Люди, проживающие в местности, где полярное сияние не редкость, старались объяснить его появление естественным путем. Например, высказывались предположения о том, что это отражение солнечного света от морской поверхности или излучение солнечных лучей, накопленных за день в толще льда.

На Русском Севере полярные сияния называли пазорями или сполохами. Первое из этих слов указывает на сходство рассматриваемого явления с зорями, а второе происходит от слова «полошить», то есть беспокоить, поднимать тревогу. Действительно, во время полярных сияний небо может стать красным, как на пожаре. Известны случаи, когда пожарные команды выезжали к огромному зареву в северной части горизонта.

Собственно говоря, укоренившееся название «северное сияние» не совсем правильно. Над Южным полюсом также можно наблюдать фантастические переливы ионосферного света. Поэтому надо использовать именно термин «полярное сияние». Полярные сияния в Северном полушарии обычно движутся на запад со скоростью примерно 1 км/с.

По яркости сияния они разделяются на четыре класса. В первый попадают еле заметные сияния, сходные по своей яркости с Млечным Путем. Сияния же четвертого класса по яркости можно сравнить с полнолунием. Интенсивные сияния приобретают форму лент, которые при уменьшении интенсивности превращаются в пятна. Ленты обычно простираются с востока на запад на тысячи километров, напоминая гигантский занавес. Его высота достигает нескольких сотен километров, а толщина всего лишь несколько сотен метров, поэтому такой занавес прозрачен, сквозь него можно различать звезды. Нижний край занавеса обычно резко очерчен и чаще подкрашен в красный или розовый цвет, а верхний, размытый, постепенно исчезает с высотой.

Несмотря на призрачность предмета исследований, внимание многих ученых приковано к заоблачным высям. Дело в том, что среда полярных сияний содержит электрически заряженные частицы – ионы и электроны. Это и придает им поразительные световые свойства. Если в приземном слое сухой воздух является качественным изолятором, то в ионосфере он хороший проводник.

Отсюда следует наличие многих удивительных эффектов, и в частности сильное влияние состояния ионосферы на наземную радиосвязь. Вот почему изучение свойств и процессов верхних воздушных слоев стало одной из важных задач современной науки. И недаром в последние годы оформилась и быстро развивается новая область научного знания, занимающаяся этой проблематикой – аэрномия. Несомненно, перед нею большое будущее.

Но так ли уж легко могут преодолеть космические электромагнитные колебания толщу ионосферы? В приповерхностном слое – тропосфере – воздух представляет собой смесь нейтральных молекул различных газов (в основном азота, кислорода и углекислого). Следовательно, если нас окружает сухой воздух, его можно считать хорошим изолятором.

Иначе обстоит дело в глубинах ионосферы. Там воздушная среда вполне способна проводить электрический ток, поскольку вместо нейтральных молекул и атомов она содержит электроны и ионы. Вспомним, что ионы – это положительно или отрицательно заряженные частицы, возникающие под воздействием каких-либо внешних факторов из первичных нейтральных атомов и молекул.

Наличие ионов и дало соответствующее название – ионосфера – этой части воздушного океана Земли.

Ученые давно выяснили, что молекулы воздуха на всем протяжении стратосферы находятся в постоянно сложном движении. Поток этого непрекращающегося движения захвачены и ионы с электронами. Они непрерывно участвуют в противоположных процессах ионизации и нейтрализации (рекомбинации), идущих с различной скоростью на разных высотах.

Именно так возникают замечательные по своей красоте полярные сияния (*aurogas borealis*, лат.), давшие свое название этому удивительному природному феномену.

Поверхность Земли – не лучшее место для наблюдения за полярными сияниями: во-первых, почти всегда их нужно наблюдать ночью, когда не мешает солнце; во-вторых, наблюдениям могут помешать облака.

Этих трудностей можно избежать, если следить за полярными сияниями из космоса, где к тому же нет искажающего влияния нижних плотных слоев атмосферы. Наблюдения с пилотируемых космических кораблей и орбитальных станций дали богатый материал о пространственном расположении сияний, их изменении во времени и обо многих особенностях этого явления. Более того, космические аппараты позволили выполнять измерения внутри полярного сияния. При этом одинаково удобно исследовать сияния и в Северном, и в Южном полушарии. Таким способом можно наблюдать сияния и на дневной стороне Земли.

Интересно, что энергичные протоны, вторгаясь в верхнюю атмосферу и вызывая протонные сияния, часть своего пути движутся как нейтральные атомы водорода. В этом случае они свободны от действия магнитного поля Земли и, имея большие (протонные) скорости, могут проникать в области, недоступные заряженным частицам. Вследствие этого области, где наблюдаются протонные полярные сияния, отличаются большой протяженностью. Вспышки северного сияния обычно наблюдаются через день-два после вспышек на Солнце. Это служит непосредственным доказательством взаимосвязи между упомянутыми явлениями.

Полярные сияния являются не только «собственностью» Земли. Например, они четко наблюдаются в плазмосферах планет – газовых

гигантов – Юпитера и Сатурна, а также на некоторых их спутниках, окруженных собственными атмосферами.

Юпитерианское полярное сияние имеет ту же природу, что и на Земле: быстрые электроны, дрейфующие в магнитосфере планеты вдоль силовых линий между полюсами, высыпаются у полюсов в верхние слои атмосферы и вызывают свечение газа. Полярное сияние Юпитера интенсивнее всего в ультрафиолете, поскольку основные спектральные линии водорода, который доминирует в атмосфере Юпитера, лежат именно в данной части спектра.

Интенсивные комплексные наблюдения юпитерианских полярных сияний с борта межпланетной автоматической станции «Кассини», пролетающей Юпитер на пути к Сатурну, позволили ученым разработать численные модели, описывающие полярные сияния, включая эффекты взаимодействия с солнечным ветром.

Можно с уверенностью сказать, что исследования последних десятилетий, включая изучение явления с искусственных спутников Земли и ракет и создание искусственных сияний, существенно обогатили наши знания об *auroras borealis*. Ясно, что не просто разгадана тайна полярных сияний, но и накоплен большой фактический материал об окружающем нашу планету пространстве, состоянии межпланетной среды и солнечном излучении, включая потоки заряженных частиц. И тем не менее проблема полярных сияний еще далека от своего решения.



Новейшие данные приводят к предположению о том, что полярные сияния есть следствие взаимодействия ультрафиолетового излучения Солнца с очень разреженным воздухом, который на больших высотах находится в атомарном состоянии. Происходит ионизация воздуха – превращение нейтральных атомов в заряженные ионы. Существование в верхних слоях атмосферы ионосферы – области, хорошо проводящей электричество, уже прочно доказано.

Действительно, мы знаем, что это свечение верхней атмосферы в высоких широтах Северного и Южного полушарий Земли, вызванное энергичными заряженными частицами, вторгающимися в земную магнитосферу на своем пути от Солнца. Известны и основные закономерности проявления полярных сияний: их зависимость от высоты, географического положения, солнечной активности, возмущений магнитного поля Земли... И все же в настоящее время мы еще не только не можем описать количественно это явление, но даже предсказать заранее многие закономерности предстоящего полярного сияния. Проблема полярных сияний оказывается слишком сложной и многоплановой. Например, до сих пор неясна связь полярных сияний с погодой. Северяне хорошо знают, что полярные сияния чаще наблюдаются в морозные ночи. Объяснения этому пока нет.

Большинство полярных сияний вызвано тем, что солнечная радиация возбуждает электроны, которые затем проходят в атмосферу по силовым линиям магнитного поля Земли. Эти электроны сталкиваются с молекулами воздуха, освобождая другие, которые излучают в процессе рекомбинации. Однако иногда над Землей вследствие вхождения в атмосферу более тяжелых атомных частиц протонов появляются особые полярные сияния, возникает сильное ультрафиолетовое излучение. При этом большинство электронов и протонов никогда не достигают глубин ионосферы, потому что полностью отбрасываются магнитным полем Земли. Одновременно в круге полярных сияний образуется сильный разрыв в земной магнитосфере, где протоны могут двигаться во временно устойчивой зоне между Солнцем и Землей, практически не отклоняясь, пока не достигнут земной плазмосферы.

Природа полярных сияний продолжает волновать ученых. Можно сказать так: внимание к ним растет пропорционально росту наших интересов к процессам, происходящим и в атмосфере Земли, и на Солнце, а также благодаря возросшим техническим возможностям науки. Теперь у исследователей полярных сполохов появились могущественные помощники – геофизические ракеты, искусственные спутники Земли, снабженные самой современной аппаратурой. Приборы, установленные на спутниках, уже дали ученым немало ценнейших сведений о самых высоких слоях земной атмосферы – их химическом составе, строении, плотности и обо многом другом. Все это позволило кое-что уточнить в представлениях о природе полярных сияний, что-то пересмотреть, от чего-то полностью отказаться. Идет быстрый процесс углубления наших знаний, и он еще далек от завершения.

Наиболее убедительным доводом в пользу того, что мы понимаем какое-нибудь физическое явление, является его повторение в лаборатории. Это удалось сделать и для полярного сияния: создать его искусственно в лаборатории с масштабами нашей планеты. Эксперимент, получивший название «Аракс», был проведен в свое время совместно российскими и французскими исследователями.

В качестве лабораторий были выбраны две магнитосопряженные точки на поверхности Земли (то есть две точки на одной и той же силовой линии магнитного поля). Ими были для Южного полушария –

французский остров Кергелен в Индийском океане, а для Северного – поселок Согра в Архангельской области. С острова Кергелен стартовала геофизическая ракета с небольшим ускорителем частиц, который на определенной высоте создал поток электронов. При движении вдоль магнитной силовой линии от Земли, которая над экватором была уже на расстоянии 20 000 км, эти электроны проникли в Северное полушарие и вызвали искусственное полярное сияние над Согрой. К сожалению, облака не позволили визуально наблюдать это сияние с поверхности Земли. Однако радарные установки четко зарегистрировали его возникновение.

Эксперименты описанного типа не просто позволяют понять причины и механизм возникновения полярного сияния. Они дают уникальную возможность изучать структуру магнитного поля Земли, процессы в ее ионосфере и влияние этих процессов на погоду вблизи земной поверхности. Особенно удобно выполнять такие эксперименты не с электронами, а с ионами бария. Оказавшись в ионосфере, эти ионы возбуждаются солнечным светом и начинают испускать излучение малинового цвета.

В то же время возникают неожиданные взаимосвязи, ждущие своих будущих исследователей в достаточно необычных вопросах. Вначале речь шла о том, что появление полярных сияний связывали с трагическими явлениями в природе и обществе. Только ли страх перед непонятными впечатляющими явлениями природы лежит в основе этих суеверий? Сейчас хорошо известно, что солнечные ритмы с различными периодами (27 суток, 11 лет и так далее) влияют на самые разные стороны жизни на Земле. Солнечные и магнитные бури (и связанные с ними полярные сияния) могут вызывать рост различных заболеваний, в том числе сердечно-сосудистых. С солнечными циклами связаны изменения климата на Земле, появление засух и наводнений, землетрясений... Все это заставляет еще раз серьезно задуматься над связью между полярными сияниями и земными катаклизмами и бедами. Может быть, не так и наивны старые представления о такой связи?

Полярные сияния сигнализируют о месте и времени воздействия космоса на земные процессы. Вызывающее их вторжение заряженных частиц влияет на многие стороны нашей жизни. Изменяется содержание озона и электрический потенциал ионосферы, нагрев

ионосферной плазмы возбуждает волны в атмосфере. Все это сказывается на погоде. Из-за дополнительной ионизации в ионосфере начинают течь значительные электрические токи, магнитные поля которых искажают магнитное поле Земли, что прямо влияет на здоровье многих людей. Таким образом, через полярные сияния и связанные с ними процессы космос воздействует на окружающую нас природу и ее обитателей.

Полярные сияния на планетах – газовых гигантах обычно окружают овалом магнитные полюса планет. Полярные сияния в мощных атмосферах газовых гигантов имеют ту же природу что и в земной плазмосфере, отличаясь лишь деталями строения отдельных магнитосфер. Такой особенностью является овальное кольцо на изображении Юпитера, вместе со следами-проекциями его спутников на поверхность по дипольным магнитным силовым линиям. Подобные следы возникают благодаря токам, индуцированным движением спутников в магнитном поле, текущим вдоль силовых линий.

В ультрафиолетовом диапазоне видно окружающие полюс Сатурна кольца мощных полярных сияний. Поднимающиеся более чем на тысячу километров над верхней границей облачного покрова, эти полярные сияния Сатурна во многом напоминают аналогичные земные явления. Природа сатурнианских сияний связана с потоками энергичных заряженных частиц солнечного ветра, направленных магнитным полем планеты в полярные области, где они начинают активно взаимодействовать с атмосферными газами. При этом протяженные красные области полярного сияния соответствуют излучению атомарного водорода, в то время как более компактные белые области связаны с водородными молекулами.

Глава 6. Солнце и электричество

...Возбужденная электрическая сила в шаре, из которого воздух вытянут, внезапные лучи испускает, которые во мгновение ока исчезают, и в то же почти время новые на их месте выскакивают, так что непрерывное блистанье быть кажется.

М. Ломоносов

Великий русский ученый Ломоносов одним из первых предположил, что причиной полярных сияний служат электрические разряды в разреженном воздухе.

Чтобы убедиться в справедливости своего предположения, он выкачивал воздух из стеклянного шара и пропускал через шар электричество. Спустя столетие явление проходимости электрического тока через разреженные газы изучали другие ученые. В опытах применяли стеклянные трубки, запаянные с двух концов. Чтобы пропускать через них электричество, в трубки с обоих концов впаивали небольшие металлические пластинки – электроды, к которым присоединяли провода от источника тока.

Пока газ в трубке находился при обычном атмосферном давлении, он электрического тока не проводил, свечения не было. Но стоило создать в трубке разрежение, как в ней появлялось свечение – результат столкновения быстро летящих заряженных частиц с молекулами оставшегося в трубке газа. Какого? Сначала это был азот и водород. Позднее ученые стали экспериментировать с аргоном и неоном – так появились газосветные трубки-светильники, их стали применять для оформления рекламы. Различные газы светятся по-разному: аргон, например, голубым светом, неон – красным.

Так в лабораториях ученые получили маленькие полярные сияния, однако не давшие полного ответа на вопрос, который волновал Ломоносова. Действительно, почему полярные сияния «приписаны»

к полюсам нашей планеты – Северному и Южному? И чем объяснить разнообразные, непрестанно изменяющиеся формы этого явления?

Вопрос об аналогии между полярными сияниями и газовым разрядом, с многочисленными проявлениями которого мы встречаемся на каждом шагу (молния, лампы дневного света, неоновые огни рекламы, яркая вспышка света при дуговой сварке), имеет очень большое научное значение. Вообще говоря, современные исследования доказывают, что такая аналогия не ограничивается только элементарными актами ионизации и возбуждения атомов энергичными частицами, которые происходят и в газовом разряде, и в полярных сияниях.

Хорошо известно, что в газовом разряде ионизирующие электроны нагреваются во внешнем электрическом поле. В случае с полярными сияниями раньше считалось, что ионизирующие заряженные частицы – это высокоэнергичные электроны и протоны солнечного ветра, которые охлаждаются в столкновениях с атомами и молекулами атмосферы. Однако наблюдения с помощью орбитальных космических аппаратов показали, что в последнем случае ситуация более сложная.

Земля остро чувствует изменения солнечной активности, сильнее всего проявляющиеся в одиннадцатилетних циклах, на пиках которых всплески излучения резко учащаются. При этом в короне Солнца рождаются интенсивные потоки гамма-квантов и энергичных заряженных частиц солнечных космических лучей, а также происходят выбросы гигантских масс плазмы с «вмороженным» магнитным полем. Такие магнитные облака стремительно летят в межпланетном пространстве, рассеиваясь земной магнитосферой.

Несмотря на атмосферный щит Земли, воздействие солнечного ветра частиц и излучений сильно влияет на радиоэлектронные приборы авиационно-космической техники, а также линии связи и электропередачи, очень чувствительные к электромагнитному и корпускулярному воздействию околоземного космического пространства.

Солнечный ветер растягивает и уносит с собой солнечное магнитное поле. Это происходит потому, что энергия направленного движения плазмы во внешней короне больше, чем энергия магнитного поля, и принцип вмороженности увлекает поле за плазмой. Комбинация такого радиального истечения с вращением Солнца (а магнитное поле

«прикреплено» и к его поверхности) приводит к образованию спиральной структуры межпланетного магнитного поля. Солнечный ветер и магнитное поле заполняют всю Солнечную систему, и таким образом Земля и все другие планеты фактически находятся в короне Солнца, испытывая воздействие не только электромагнитного излучения, но еще и солнечного ветра и солнечного магнитного поля. Интересно, что впервые о существовании солнечного ветра догадались еще до наступления космической эры при изучении комет. Если бы на кометы действовало только световое давление Солнца, то их хвосты были бы направлены точно от него.

Заряженные частицы солнечного ветра (по крайней мере, электроны) могут осуществлять ионизацию различным образом. Дело в том, что ионосферная плазма, в которую вторгается высокоэнергичный пучок заряженных частиц, неустойчива. В такой системе за счет энергии пучка раскачиваются колебания, сопровождаемые переменным электрическим полем. Электроны ионосферы по прямой аналогии с лабораторным газовым разрядом нагреваются в этом электрическом поле до энергий, при которых начинается ионизация в столкновениях с атомами и молекулами. Получающийся таким образом разряд носит название пучково-плазменного и не только известен специалистам, но используется в некоторых технических приложениях. Таким образом, аналогия между полярными сияниями и газовым разрядом оказалась даже более глубокой, чем предполагалось вначале.

В прошлом веке норвежский физик Биркеланд поставил интересный опыт. Он изготовил маленькую модель нашей Земли – шар, который можно было намагничивать. Кроме того, шар был покрыт краской, которая от ударов заряженных частиц начинала светиться.

Ученый поместил шар в сосуд с разреженным воздухом и «обстрелял» его из ионной пушки потоком заряженных частиц. Пока шар не был намагничен, летящие частицы бомбардировали всю поверхность полушария, обращенного к ионной пушке, и оно равномерно светилось. Но, когда шар намагнитили, свечение появилось только у его магнитных полюсов.

Опыт подтверждал связь полярных сияний с потоком электрических частиц. Показал он и то, что в этом явлении как-то участвуют силы земного магнетизма. Но какие же электрически заряженные частицы

могут вызывать в высоких слоях атмосферы полярные сияния, откуда они берутся?

Верхние слои атмосферы в области сияний заметно нагреваются, что приводит к появлению восходящих потоков газа. В результате на больших высотах увеличивается плотность газовой среды. Последнее вызывает дополнительное торможение искусственных спутников Земли в этой области. Сияния также сопровождаются сильными вихревыми токами (замкнутые электрические токи, которые возникают при изменении пронизывающего проводник магнитного потока) в огромных областях пространства. В результате появляются сильные магнитные поля и развиваются так называемые магнитные бури. Яркие вспышки сияния могут сопровождаться звуками, похожими на треск. Сильные изменения в ионосфере сказываются на качестве радиосвязи, в большинстве случаев она ухудшается.

Давно было известно, что сияния особенно часты и сильны в те годы, когда на Солнце наблюдается наибольшее число пятен. Количество их и размеры в разные годы различны. В середине XIX века немецкий ученый Рудольф Вольф, собрав практически все известные упоминания о солнечных пятнах, обнаружил примерно одиннадцатилетнюю периодичность их появления (сами пятна могут существовать по несколько месяцев).

Итак, через каждые одиннадцать лет число пятен бывает наибольшим. Затем они постепенно пропадают, в годы минимума на Солнце их почти не наблюдают месяцами. Когда большое пятно проходит центральный меридиан Солнца, на Земле через сутки-двое почти всегда начинают играть сполохи и разражается магнитная буря. Она резко ухудшает радиосвязь на коротких волнах, вносит сумятицу в работу телеграфа и телефона, показания компаса становятся неточными.

В солнечных недрах, где царит температура, достигающая многих миллионов градусов, происходят сложные реакции на ядерном уровне. Тепло, которое обогревает нашу планету, – следствие этих реакций. Но не только тепло излучает наше светило в мировое пространство: из области солнечных пятен выбрасываются еще потоки частиц, включая положительно заряженные протоны и отрицательно заряженные электроны.

Когда протоны и электроны достигают верхних, разреженных слоев атмосферы Земли, они, как и в газоразрядной трубке, сталкиваются с атомами и молекулами воздуха, главным образом азота и кислорода, и заставляют их светиться. Так возникают полярные сияния в естественных условиях, возникают на высоте примерно от восьмидесяти до тысячи и более километров над поверхностью Земли.

Это происходит потому что наша планета – огромный природный магнит со своим полем, настолько мощным, что оно способно отклонять потоки частиц, летящих от Солнца, к магнитным полюсам, которые ныне находятся вблизи географических полюсов планеты.

На поверхности Солнца видны магнитные петли, перекинувшиеся через активную область. Ярко сверкающая в жестком ультрафиолете горячая плазма, поднятая над Солнцем вдоль арок силовых линий магнитного поля, остывает и проливается обратно на поверхность светила. Подобные вспышки порождают интенсивные потоки протонов высокой энергии и, как правило, связаны с мощными корональными выбросами – большими облаками солнечного вещества, которые активно взаимодействуют с магнитным полем нашей планеты, порождая сильные геомагнитные бури.

Кроме лучистой энергии Солнце выбрасывает в пространство огромное количество материальных частиц, так называемых корпускул. Это смесь электронов, протонов и ионизированных атомов различных элементов, входящих в состав раскаленной солнечной атмосферы. Пролетая огромное расстояние, они достигают Земли и довольно глубоко проникают в ее ионосферу. Этот «обстрел» Земли мельчайшими частицами, летящими с Солнца, – дополнительный источник ионизации.

Частицы летят с очень большой скоростью, обладая в силу своей сравнительно большой массы значительной энергией. Встречая на своем пути атомы, молекулы и ионы верхней стратосферы, корпускулы эффективно изменяют их зарядное состояние, активно участвуя в актах ионизации и рекомбинации.

Силовые линии магнитного поля Земли меняются не только в радиальном направлении, они к тому же изогнуты. Это также влияет на движение заряженных частиц. В результате электроны и протоны начинают дрейфовать в противоположных направлениях (на восток или запад).

Электроны и протоны, попавшие из солнечного ветра в магнитное поле Земли, стекают в область полюсов, где достигают плотных слоев атмосферы, производя ионизацию и возбуждение атомов и молекул газов. Возбужденные атомы испускают энергию в виде света. Нечто подобное наблюдается в газовом разряде при пропускании через газ электрического тока.

Но солнечная радиация – не единственный источник ионизации верхних слоев земной атмосферы. Каждая звезда в Метагалактике – это тоже солнце, и часто во много раз большее по размерам, чем наше. Некоторые из звездных источников значительно горячее нашей звезды, и состав излучаемого ими спектра гораздо богаче высокоэнергичными лучами, способными вызвать ионизацию.

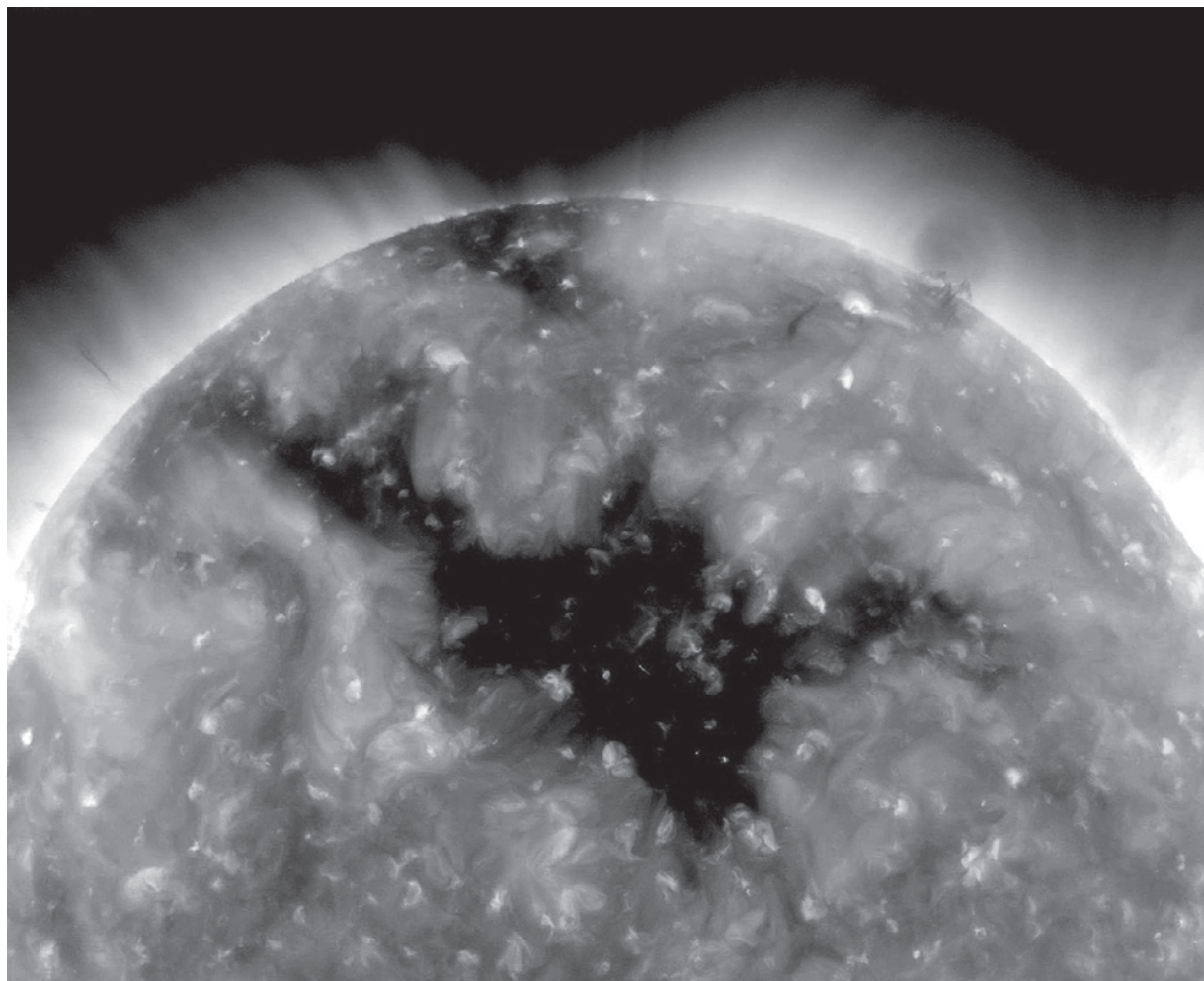
Однако эти гигантские светила, рассеянные в просторах Вселенной, настолько удалены от Земли, что ионизирующее действие излучения всех видимых звезд на земную атмосферу в тысячу раз слабее солнечного.

Правда, и здесь есть тревожное исключение – взрывы новых и сверхновых звезд. В этих чудовищных космических катастрофах выделяется такое количество энергии и самой разнообразной радиации, что даже отдаленное соседство может быть очень опасно для биосферы Земли.

Чтобы понять, почему сияния наблюдаются чаще всего именно в полярных областях Земли, нужно вспомнить, как движутся заряженные частицы в магнитном поле. Ведь если путь заряженной частицы пролегает вдоль магнитного поля, то поле никак не влияет на ее движение. В высоких широтах Земли силовые линии магнитного поля почти вертикальны, что создает благоприятные условия для проникновения частиц в атмосферу Земли.

В противном случае, когда заряженная частица движется поперек магнитного поля, на нее действует сила, которая закручивает частицу вокруг силовой линии магнитного поля. В результате при отсутствии столкновений с другими частицами рассматриваемые будут просто вращаться вокруг силовых линий. Столкновения могут приводить к перескоку частиц с одних круговых орбит на другие. Но скорость такого движения существенно меньше, чем у направленного движения потока частиц при отсутствии магнитного поля. В низких широтах силовые линии почти параллельны поверхности Земли. Поэтому,

чтобы частицы, вызывающие полярное сияние, могли здесь проникнуть в атмосферу они должны прорваться поперек силовых линий Земли, а это для них практически невозможно.



Количество пятен на Солнце, посчитанное по особой формуле, число Вольфа, служит основной характеристикой солнечной активности. В годы спокойного Солнца – в солнечный минимум – пятен практически нет, а во время максимума число пятен может достигать нескольких десятков.

Если же частица движется под определенным углом к направлению магнитного поля, то такое движение можно разложить на две составляющие: поперек магнитного поля и одновременно вдоль него. Оба эти случая рассмотрены выше. Из сказанного следует, что траектория частицы в этом случае будет спиралью, накручивающейся на силовую линию магнитного поля. Шаг спирали зависит от

величины продольной скорости, а радиус – от поперечной скорости. Таким образом, заряженная частица, попадая в магнитное поле Земли, может достигнуть ее атмосферы только в полярных областях независимо от того, где она оказалась вначале.

Иногда частицы движутся в неоднородном магнитном поле, изменяющемся в пространстве. Причем, если частица движется по спирали вокруг силовой линии магнитного поля, которое увеличивается по мере продвижения частицы вперед (то есть силовые линии сгущаются), то с ростом напряженности поля частица замедляет свое движение вдоль силовой линии и, в конце концов, отразится и будет двигаться в обратном направлении. Силовые линии магнитного поля Земли сходятся около ее поверхности в высоких широтах. Поэтому заряженные частицы, вращаясь вокруг этих линий и подходя к местам их сгущений, отражаются и движутся в другое полушарие. Там происходит аналогичное отражение, и частицы оказываются в первом полушарии. Это повторяется до тех пор, пока частица не потеряет энергию при соударении с нейтральными частицами в плотной атмосфере вблизи поверхности Земли.

Ионизация заряженными частицами происходит наиболее эффективно в конце пути частицы, когда ее энергия уже невелика. Нейтральные частицы распределены в атмосфере по барометрическому закону (естественно, частиц больше на низких высотах), что также увеличивает скорость ионизации вблизи поверхности Земли. С этим и связаны резкая нижняя и размытая верхняя границы полярных сияний.

Согласно этой модели, когда направление межпланетного магнитного поля становится противоположным направлению геомагнитного поля на дневной стороне, начинается процесс так называемого пересоединения. При сближении противоположно направленных силовых линий магнитное поле обращается в нуль, образуя из замкнутой геомагнитной линии и свободной линии межпланетного поля две открытые силовые линии, которые одним концом начинаются на Земле в полярной шапке, а другим уходят в межпланетное пространство.

Этот циклический процесс называется магнитосферной суббурей и сопровождается значительным возмущением всей внешней магнитосферы Земли. Фактически происходит обрыв части магнитного

хвоста, а его остаток «поджимается» к Земле. В этот момент часть плазмы внешней магнитосферы сбрасывается по силовым линиям в авроральную зону ионосферы. Здесь энергичные ионы и электроны сталкиваются с нейтральными атомами и заставляют их испускать фотоны.

Другое важное следствие суббури – изменения в системе магнитосферных токов. При отрыве магнитного хвоста электрический ток, в нормальных условиях текущий поперек хвоста, вынужден обойти этот разрыв через ионосферу используя своеобразную «резервную цепь»: вдоль силовых линий к Земле, затем вдоль авроральной зоны ионосферы и обратно в хвост. Сила возникающего при этом ионосферного тока – электроджета – составляет более миллиона ампер, а магнитное поле, наводимое им на поверхности Земли в авроральной зоне, вносит существенные вариации в геомагнитное поле. Наряду с полярными сияниями появление вариаций служит основным признаком начала суббури, а их величина – главной характеристикой ее силы.

Направление межпланетного магнитного поля постоянно меняется более или менее случайным образом, поэтому обычные суббури, связанные с Южным полюсом, случаются несколько раз за сутки, независимо от текущей солнечной активности.

Более известные читателям магнитные бури регистрируются реже. Они непосредственно связаны со вспышками солнечной активности, а точнее, с попаданием Земли в зоны аномально интенсивного солнечного ветра и в межпланетные магнитные облака. При этом величина поля в магнитном облаке у орбиты Земли возрастает в десятки раз, а скорость солнечного ветра – до 1000 км/с. Эффект такого увеличения подобен смене легкого ветерка на ураган. Во время сильной ионосферной бури мощнейшие магнитные суббури следуют одна за другой, а зона полярных сияний сильно расширяется.

Конвекция, прежде незаметная на фоне взрывных процессов в хвосте земной магнитосферы, начинает доминировать, возмущая внутреннюю магнитосферу и создавая кольцевой ток, опоясывающий Землю на высоте 20–30 тысяч км. У ее поверхности ток создает магнитное поле, направленное противоположно основному геомагнитному.

Когда Солнце выбрасывает с большой скоростью особенно мощные потоки частиц, полярное сияние может оказаться совсем не полярным, спускаясь далеко к югу. Так, во время одной из крупнейших ионосферных бурь в пике очередного солнечного максимума, длившейся несколько суток, полярные сияния наблюдались не только в умеренных широтах, а даже в Прикаспии. При этом энергия, выделявшаяся в магнитосфере Земли, составляла эквивалент взрыва ста миллионов тонн тротила. Метеорологи зафиксировали, что в ночное время ионосферный свет странной северной зари освещал все как в сумерках, позволяя читать книгу.

Первым человеком, обнаружившим, что на Солнце время от времени появляются пятна, был Галилей. Благодаря этим загадочным образованиям ученый смог сделать одно из главных открытий своей жизни – установить, что Солнце тоже вращается.

Американский ученый Бирман обнаружил, что хвосты комет заметно отклонены от этого направления. Такое отклонение можно объяснить только наличием потока ионов и электронов – «ветра», дующего от Солнца со скоростью около 400 км/с.

Появление солнечных пятен напрямую связано с изменением солнечной активности и возникновением магнитных бурь. В действительности пятна светлые, они выглядят черными по сравнению с остальными областями Солнца. Диаметр среднего пятна составляет приблизительно размер Земли. Часто пятна появляются группами, образуя сложные системы в соответствии с концентрацией линии магнитного поля на поверхности Солнца. Магнитное поле препятствует переносу энергии из глубин светила, поэтому пятна выглядят более холодными и темными и как будто более глубокими по сравнению с окружающей поверхностью. Солнечные пятна живут несколько дней, а потом распадаются.

За 400-летнюю историю наблюдений четыре самых мощных пика пришлось на последние полвека, причем каждый следующий солнечный максимум грозит побить все предыдущие рекорды. Исследователи сопоставили данные о геомагнитной обстановке и активности Солнца за последние 150 лет и пришли к весьма интересному выводу: на данном этапе солнечного цикла количество магнитных бурь связано с тем, насколько активным будет наше Солнце через 6–8 лет. Корреляция между этими показателями достигает 94 %,

что позволяет прогнозировать поведение Солнца с высокой степенью точности.

Солнечные пятна непрерывно плывут по поверхности вращающегося Солнца. Известно, что на экваторе вращение быстрее, чем на полюсах, и в различных поясах участки поверхности движутся в разных направлениях. Компьютерная диаграмма показывает, как горячий, электрически заряженный газ течет под поверхностью Солнца. Скорость этих потоков представлена в условных цветах: красный обозначает более быстрое движение водорода, чем голубой. За один год поверхностная плазма перемещается от экватора к полюсам, тогда как внутренние вихри поднимают газ из более глубоких слоев. Удивительно, но такие движения похожи на движения воздуха в земной атмосфере.

Глава 7. Электрическое эхо космических бурь

Возьмем, например, изменения электрического поля атмосферы, в которое мы погружены как в некий электрический океан. Не только температура, степень влажности, давление воздуха, мгла, туманы, облачность или другие метеорологические факторы, как циклоны, грозы и т. д., оказывают влияние на изменения этого поля, но даже и такие ничтожные с виду явления, как неровность почвы, порыв ветра, пыльный вихрь, небольшое, плывущее на высоте облачко, – все эти факторы уже выводят из спокойного положения стрелку измерительного прибора и заставляют ее колебаться. Мало того, на величину напряженности электрического поля в данном месте влияют дым, вылетающий из трубы, снежинки, несущиеся в воздухе, цветочная пыль, реющая на цветущем ржаном поле. Проезжающая мимо телега иногда может настолько изменить электрическое поле, что наблюдения при помощи чувствительного электрометра становятся невозможными.

*А. Чижевский. Земля в объятиях
Солнца*

В начале прошлого века известный российский ученый Александр Леонидович Чижевский высказал парадоксальную для того времени

идею о влиянии солнечной активности на неживой мир, биосферу и социальные процессы. Чижевский фактически создал основы новой науки биогелиофизики и положил в ее основу удивительную концепцию «космической погоды», связав ее с хорошо известными фактами о влиянии величины и количества солнечных пятен на полярные сияния и колебания геомагнитного поля, вызывающие магнитные бури.

Так как физические основы подобного воздействия были тогда совершенно неизвестны, взгляды Чижевского многие считали близкими к мистицизму. Это трагически сказалось на судьбе ученого, а его основополагающие труды были изданы лишь спустя много лет.

В книге Чижевского «Земля в объятиях Солнца» впервые было прослежено влияние солнечной активности – «космической погоды» – на биологические и социальные явления: изменение численности животных, возникновение эпидемий и даже начало войн и революций. Сегодня многое из этой работы имеет скорее исторический интерес, но солнечно-земные связи, о которых впервые заговорил Чижевский, привлекают все более пристальное внимание исследователей. Особенно интересны следующие суждения ученого о том, что нет ни одного метеорологического явления, которое бы не было связано с известными изменениями атмосферного и земного электричества и геомагнетизма. Очень часто бывает даже трудно определить, что является причиной, а что представляет собою следствие. Быть может, в электрических и магнитных явлениях и нужно искать саму причину метеорологических пертурбаций.

Как бы там ни было, изучение электрических и магнитных явлений, развертывающихся в атмосфере и литосфере, представляет очень большой интерес и для понимания многих явлений биологических. Поэтому мы сосредоточим внимание на этой категории внешних влияний, представляющих, однако, во всех отношениях выдающийся интерес, а именно о влиянии некоторых электрических и магнитных феноменов на изолированные нервы и целые организмы. Наконец, коснемся вопроса и о биологическом влиянии поляризованного света.



А. Л. Чижевский (1897–1964).

Постараюсь наметить ряд влияний физико-химической среды, окружающей организм, – влияний, которыми обычно пренебрегали, но которые в ближайшее время необходимо будет исследовать экспериментально. Физиология еще до сих пор не дает нам ответа на ряд важных вопросов, связанных с этой проблемой. Сложнейшая обстановка для осуществления опытов тормозит их решение, которого мы ждем и которое должно будет сыграть роль не только в физиологии, но, быть может, и в социологических, и вообще гуманитарных дисциплинах.

Время подтвердило правоту слов Чижевского о том, что Земля находится в объятиях Солнца. Силовые линии межпланетного магнитного поля, начинаясь на поверхности Солнца, за счет его вращения изгибаются в пространстве и соединяют светило с Землей.

Солнечный ветер – радиальный поток ионов и электронов, – «дующий» со скоростью до 450 км/с, сносит магнитосферу Земли в ночную сторону а на дневной стороне образует околоземную ударную волну. Чижевский замечал, что пертурбации метеорологических или геофизических факторов, зависящие от пертурбации в деятельности Солнца, охватывают с молниеносной быстротой огромные территории и могут оказывать мгновенное влияние на население целых стран или даже материков, повышая или понижая степень их возбудимости. Ученый писал, что магнитные бури движутся со скоростью 225 км/с, ход вариаций атмосферного электричества показывает, что однородные наступают почти одновременно во многих очень удаленных одна от другой местностях, то же можно сказать и о радиоактивных эманациях в воздухе, и так далее. Но мы не знаем, какие агенты внешней среды оказывают свое влияние на степень возбудимости нашего организма.

Солнце является мощным генератором электромагнитных колебаний самых разных частот, и каждой частоте соответствует своя длина волны. В солнечном спектре заключены и невидимые лучи: инфракрасные и ультрафиолетовые, а также рентгеновские с длиной волны в стомиллионные доли сантиметра; много в нем и обычных радиоволн. Каждый однородный солнечный луч, состоящий из фотонов – частиц света – одной частоты несет вполне определенную энергию. При этом есть лучи сравнительно малой энергии (видимый свет, инфракрасные лучи и радиоволны и лучи, обладающие большой энергией: ультрафиолетовые и рентгеновские). Естественно, поведение лучей зависит от их энергии – так, наиболее активны самые энергичные коротковолновые. Например, ультрафиолетовое излучение вступает в реакции с пигментом человеческой кожи и приводит к появлению золотистого загара. Эти лучи обеспечивают разнообразные красители, имеют сильное бактерицидное действие, убивая микробы.

Чтобы понять причины солнечной активности, придется познакомиться поближе с магнитным полем Солнца. В период минимума активности конфигурация солнечного магнитного поля близка к дипольной и похожа на форму магнитного поля Земли. При приближении к максимуму активности структура магнитного поля по не вполне понятным причинам усложняется. Одна из наиболее красивых гипотез гласит, что при вращении Солнца магнитное поле как бы навивается на него, постепенно погружаясь под фотосферу.

По мере удаления от Солнца плотность солнечного ветра ослабевает, и наступает момент, когда он оказывается больше не в состоянии сдерживать давление межзвездного вещества. В процессе столкновения образуется несколько переходных областей. Сначала солнечный ветер тормозится, уплотняется и закручивается в вихревой поток на границе ударной волны в 90 астрономических единицах от светила (а. е. – расстояние Земли от Солнца). Еще приблизительно через 40 а. е. солнечный ветер сталкивается с межзвездным веществом и окончательно останавливается. Эта граница, отделяющая межзвездную среду от вещества Солнечной системы, называется гелиопаузой. По форме она похожа на пузырь, вытянутый в противоположную движению Солнца сторону. Область пространства, ограниченная гелиопаузой, называется гелиосферой.

Со временем, в течение солнечного цикла, магнитный поток, накопленный под поверхностью, становится таким большим, что жгуты силовых линий начинают выталкиваться наружу. Места выхода силовых линий образуют пятна на фотосфере и магнитные петли в короне, видимые как области повышенного свечения плазмы. Величина поля внутри солнечных пятен достигает величин в сто раз больше, чем поле спокойного Солнца.

Интуитивно энергию магнитного поля можно связать с длиной и количеством силовых линий: их тем больше, чем выше энергия. При подходе к солнечному максимуму накопленная в поле огромная энергия начинает периодически взрывным образом высвобождаться, расходуясь на ускорение и разогрев частиц солнечной короны. Резкие интенсивные всплески коротковолнового электромагнитного излучения Солнца, сопровождающие этот процесс, носят название солнечных вспышек.

Поток солнечного ветра обтекает Землю, формируя магнитосферу, а межпланетное магнитное поле играет роль ключа, открывающего ее и соединяющего геомагнитное поле с солнечным магнитным полем. Солнечная активность, как настроение человека, передается Земле через эти объятия. С технической точки зрения магнитосферу удобно представить себе как совокупность электрических токов, текущих по цепи, в которой различные области магнитосферы и ионосферы играют роль резисторов и конденсаторов.

Так как движущееся магнитное поле создает динамо-эффект, магнитное соединение магнитосферы с межпланетным магнитным полем, замороженным в поток солнечного ветра, эквивалентно подключению к нашей схеме электродвижущей силы, возрастающей в несколько раз во время магнитных бурь. Нетрудно подсчитать, что средняя мощность магнитосферной цепи (суммарная сила всех токов близка к 10 млн А) составляет величину, равную мощности всей мировой электроэнергетики. Таким образом, Земля фактически находится в середине исполинской электроустановки. Последствия подобного соседства для человека и современной техники являются темой множества междисциплинарных научных исследований.

Наряду с Чижевским большое внимание теоретическому анализу солнечно-земных связей уделял Владимир Иванович Вернадский, один из создателей философского учения космизма и биогеохимии, а также основоположник космонавтики Константин Эдуардович Циолковский. Так, академик Вернадский много писал о влиянии вариаций околоземной гелиосферы на земные явления, уделяя при этом особое внимание влиянию изменений солярной радиации на химический состав геологических и органических отложений. В настоящее время благодаря космическим исследованиям природа нашей зависимости от Солнца стала более понятной, а предупреждения о влиянии солнечных вспышек и магнитных бурь на состояние здоровья и работоспособность технических систем стали частью нашей жизни.

С приближением к очередному максимуму солнечной активности термин «космическая погода» прочно завоевал свое место как в научной литературе, так и в средствах массовой информации. Фундаментальная наука в очередной раз стала основой для прикладных исследований, ориентированных на непосредственные нужды общества. Подобно тому как метеорологический прогноз опирается на исследования физики атмосферы и океана, прогноз космической погоды основывается на наших знаниях о Солнце и околоземном пространстве. Чтобы познакомиться ближе с увлекательным миром солнечно-земных связей, где органично сочетаются стабильность и изменчивость, нам придется погрузиться в океан плазмы – газа заряженных частиц, заполняющего всю Солнечную систему. Однако прежде нужно хотя бы поверхностно познакомиться с законами, управляющими этим миром.

Хотя практически везде в Солнечной системе концентрация плазмы так мала, что заряженные частицы пролетают от Солнца до Земли, не испытав ни одного столкновения, они все же взаимодействуют друг с другом с помощью электромагнитных полей как внешних, так и созданных самими зарядами. Ионы и электроны свободно движутся по силовым линиям вдоль направления магнитного поля, но их смещение в поперечном направлении затруднено: частицы, подчиняясь силе Лоренца, как бы навиваются на силовую линию, при этом чем сильнее магнитное поле, тем меньше радиус спирали. Поэтому даже соседние силовые линии можно считать электрически изолированными друг от друга. Такое поведение позволяет оперировать силовыми линиями как реальными объектами, а заряженные частицы выделяют их так же, как железные опилки позволяют увидеть конфигурацию поля обычного магнита, лежащего на столе. При этом магнитное поле, энергия которого больше энергии движения частиц, тащит частицы и само увлекается плазмой, если энергия ее движения превосходит магнитную.

Астрономы всего мира уже давно пытаются понять причину колоссальной разницы температур на поверхности Солнца и в его короне. Температура на поверхности достигает 10 тысяч градусов, а в короне – 3 млн. Фантастические фонтаны огня, вылетающие с поверхности Солнца, могут стать ключом, который поможет объяснить загадку солнечной атмосферы. Фонтаны огня представляют собой петлевые потоки наэлектризованного газа, который и раскаляет атмосферу Солнца до температуры в несколько миллионов градусов. Последние исследования ясно показали, что максимальная температура петли достигается на высоте приблизительно 16 тысяч км, что и вызывает колоссальное нагревание короны Солнца.

Астрономы давно уже считали причиной высокой температуры солнечной короны вихревые магнитные поля неизвестной природы, поднимающие гигантские протуберанцы и петли солнечной плазмы над фотосферой. Подробные наблюдения корональных пятен свидетельствуют, что нагревание происходит у основания петель там, где они соединяются с поверхностью Солнца.

Поток энергии Солнца, питаемый термоядерной реакцией в его центре, к счастью, исключительно стабилен, не в пример большинству других звезд. Большая его часть, в конце концов, испускается тонким

поверхностным слоем Солнца – фотосферой – в виде электромагнитных волн видимого и инфракрасного диапазона.

Над фотосферой расположена корона Солнца – зона, видимая с Земли только во время солнечных затмений и заполненная разреженной и горячей плазмой с температурой в миллионы градусов. Это самая нестабильная оболочка Солнца, в которой зарождаются основные проявления солнечной активности, влияющие на Землю. Косматый вид короны Солнца демонстрирует структуру его магнитного поля – светящиеся сгустки плазмы вытянуты вдоль силовых линий. Горячая плазма, истекающая из короны, формирует солнечный ветер – поток ионов, в основном состоящий из ядер водорода протонов и электронов, а также ядер гелия, альфа-частиц, – разгоняющийся в межпланетное пространство со скоростью 400–800 км/с.

Видимая поверхность Солнца выстелена настоящим магнитным ковром из десятков тысяч северных и южных магнитных полюсов, соединенных петлями линий магнитного поля и простирающихся в солнечную корону. Компьютерное картографирование солнечной поверхности показывает большое число сгущений магнитных силовых линий, соединяющих на солнечном ландшафте области сильного магнитного поля. Эти небольшие области сильного поля появляются, делятся и исчезают, происхождение их загадочно, и их сложно уложить в современные теории солнечного магнитного поля.

На поверхности Земли вспышки регистрируются в видимом диапазоне как небольшие увеличения яркости отдельных участков солнечной поверхности. Однако уже первые измерения, выполненные на борту космических аппаратов, показали, что наиболее заметным эффектом вспышек оказывается значительное (до сотен раз) увеличение потока солнечного рентгеновского излучения и энергичных заряженных частиц – солнечных космических лучей. Во время некоторых вспышек происходят также выбросы значительного количества плазмы и магнитного поля в солнечный ветер – так называемых магнитных облаков, которые начинают быстро расширяться в межпланетное пространство, сохраняя форму магнитной петли с концами, опирающимися на Солнце. Плотность плазмы и величина магнитного поля внутри облака в десятки раз

превосходят типичные для спокойного времени значения этих параметров в солнечном ветре.

Известно, что почти дипольное магнитное поле внутренней магнитосферы Земли создает особые зоны «магнитных бутылок», в которых заряженные частицы могут захватываться на длительное время, вращаясь вокруг силовых линий. При этом частицы периодически отражаются от околоземных концов силовой линии (где магнитное поле увеличивается) и медленно дрейфуют вокруг Земли по окружности. В наиболее мощном внутреннем радиационном поясе хорошо удерживаются высокоэнергетические протоны, и дозы облучения, которые можно получить при его пролете, настолько велики, что долго в нем рискуют находиться только автоматические научно-исследовательские спутники. Пилотируемые корабли располагаются на более низких орбитах, а большинство спутников связи и навигационных космических аппаратов находится на орбитах выше этого пояса. Наиболее близко к Земле внутренний пояс подходит в точках отражения.

Из-за наличия магнитных аномалий (отклонений геомагнитного поля от идеального диполя) в тех местах, где поле ослаблено (над так называемой Бразильской аномалией), частицы достигают высот 200–300 км, а в тех, где оно усилено (над Восточно-Сибирской аномалией), – 600 км. Над экватором пояс отстоит от Земли на 1500 км. Сам по себе внутренний пояс довольно стабилен, но во время магнитных бурь, когда геомагнитное поле ослабевает, его условная граница спускается еще ближе к Земле. Поэтому положение пояса и степень солнечной и геомагнитной активности обязательно учитываются при планировании полетов космонавтов и астронавтов, работающих на орбитах высотой 300–400 км.

Еще один важный и самый нестабильный источник космической радиации – солнечные космические лучи. Протоны, электроны и альфа-частицы высокой энергии заполняют Солнечную систему только на короткое время после солнечных вспышек, но интенсивность частиц делает их главным источником радиационной опасности во внешней магнитосфере, где геомагнитное поле еще слишком слабо, чтобы защитить спутники. Солнечные частицы на фоне других, более стабильных источников радиации, ответственны за кратковременные ухудшения радиационной обстановки во внутренней магнитосфере, в

том числе и на высотах, используемых для пилотируемых космических и суборбитальных полетов.

Наиболее глубоко в магнитосферу энергичные частицы проникают в приполярных районах, поскольку частицы здесь могут большую часть пути свободно двигаться вдоль геомагнитных силовых линий, почти перпендикулярных к поверхности Земли. Приэкваториальные районы более защищены: там геомагнитное поле, почти параллельное земной поверхности, изменяет траекторию движения частиц на спиральную и уводит их в сторону. Поэтому трассы полетов, проходящие в высоких широтах, значительно более опасны с точки зрения радиационного поражения, чем низкоширотные. Эта угроза относится не только к космическим аппаратам, но и к авиации. На высотах свыше десяти километров, где проходит множество авиационных маршрутов, общий фон космической радиации уже настолько велик, что годовая доза, получаемая экипажами, оборудованием и часто летающими пассажирами, должна контролироваться по правилам, установленным для радиационно-опасных видов деятельности. Сверхзвуковые самолеты, поднимающиеся на еще большие высоты, имеют на борту счетчики радиации и обязаны лететь, отклоняясь к югу от кратчайшей северной трассы перелета между Европой и Америкой, если текущий уровень радиации превышает безопасную величину. Однако после наиболее мощных солнечных вспышек доза, полученная даже в течение одного полета на обычном самолете, может быть больше, чем доза сотни флюорографических обследований, что заставляет всерьез рассматривать вопрос о полном прекращении полетов в такое время. К счастью, всплески солнечной активности подобного уровня регистрируются реже, чем один раз за одиннадцатилетний солнечный цикл.

Глава 8. Электричество и человек: первые опыты

Страх и любопытство пробуждались в наших далеких предках, встречавшихся с электричеством и магнетизмом, каждый раз скрывавшимися под новой, еще более таинственной маской. Но каждая маска была замечена, распознана зоркостью и памятью поколений. В это время электрические явления еще не изучаются – огни святого Эльма, молнии, притягивающиеся кольца и пушинки служат пока объектом пассивного, но пристального созерцания.

В. Карцев. Приключения великих уравнений

Многие электрические явления природы на протяжении долгой истории человечества в немалой степени поддерживали у невежественных людей веру в богов, в сверхъестественное. Как писал об этом публицист, популяризатор науки В. А. Мезенцев:

С незапамятных времен люди причисляют к чудесам множество явлений – редкостных, необыкновенных, устрашающих. Такова естественная человеческая реакция: то, что выходит за пределы повседневного опыта, что не укладывается в привычные представления и не охватывается устоявшимися понятиями, – все это нередко воспринимается в извращенном виде, а иной раз и в ореоле мистики.

Между тем его коллега по литературному цеху В. П. Карцев в блестяще написанной книге «Приключения великих уравнений»

рассказывал и о первых попытках противостоять натиску электрической стихии.

Так, легендарный второй царь Древнего Рима Нума Помпилий, правивший в 715–672 годах до н. э., судя по дошедшим до нас сведениям, знал о том, что «молнии предпочитают острия копий и мечей», причем даже пытался устроить некое подобие громоотводов. Следующий римский венценосец Тулл Гостилий, царствовавший в 673–641 годах до н. э., решил воспользоваться опытом своего предшественника. Однако он неправильно провел обряд, посвященный Юпитеру, и погиб, подняв над своим домом копьё, не связанное медной цепью с бронзовым алтарем, углубленным в землю. В результате сильный разряд разрушил царское жилище и поразил Гостилия.

Историки приводят еще по меньшей мере два свидетельства борьбы со «стрелами Юпитера» на Итальяском полуострове, славящемся молниеносными грозами. Речь идет о древнеримской медали «Юпитер Элизий», на которой изображен этруск, запускающий воздушного змея для защиты от громовержца, мечущего молнии. На другой гемме изображен храм Юноны, защищенный от гнева богов остриями гигантских копий.

На Ближнем Востоке существовал знаменитый Иерусалимский храм, в который часто попадали молнии, не принося никаких повреждений. Он был оснащен эффективной системой громоотводов, начинавшихся от системы железных кольев на позолоченных участках кровли и по металлическим водостокам сходявших в подземные водохранилища. Колоссальное количество атмосферного электричества до сих пор ждет своего применения, а первые искусственные источники электроэнергии известны еще с XVII века. Здесь надо вспомнить, что сам термин, от которого позже и произошло слово «электричество», ввел британский естествоиспытатель Вильям Гильберт, придворный лейб-медик королевы Елизаветы. В 1600 году вышел его знаменитый труд «О магните, магнитных телах и о большом магните – Земле. Новая физиология, доказанная множеством аргументов и опытов».

Еще задолго до появления гальванических элементов знаменитый естествоиспытатель, магдебургский губернатор Отто фон Герике создал электризационную установку, получившую название «машина

Герике». В ней потираемый руками вращающийся серный шар служил изобретателю для модельной демонстрации электрического притяжения и отталкивания в явлениях электростатической индукции, эффект острия, электропроводность льняной нити, которой шар передавал свою способность притягивать легкие тела. В опыте с нитью притяжение наблюдалось в пределах нескольких сантиметров от нижнего конца полуметровой нити.

Исаак Ньютон (1643–1727) не только являлся одним из создателей классической механики, теории всемирного тяготения и оптики, но уделял большое внимание исследованию электрической субстанции. Так, в статье, доложенной Королевскому обществу в 1675 году, он предложил важное усовершенствование электризационной установки, заменив серный шар стеклянным, в результате чего появилась «электризационная машина», снабженная ручным приводом на основе вращающегося стеклянного шара, потираемого руками. С подобными приборами великий физик провел очень много опытов, часть из которых до сих пор известна историкам науки только по косвенным упоминаниям и в пересказах.

Первые попытки ученых объяснить грозу как процесс электрического разряда относятся к началу XVIII века. Одну из научных теорий грозы, в основных чертах соответствующую природе явления, дал на основании ряда экспериментальных исследований великий русский ученый Михаил Васильевич Ломоносов (1711–1765). Он исследовал природу атмосферного электричества, открыл вертикальные восходящие и нисходящие воздушные течения, дал объяснение происхождению северных сияний, комет, установил связь между природой света и электричества.

В начале пятидесятых годов XVIII века Ломоносов вместе с академиком Георгом Вильгельмом Рихманом (1711–1753) создал лабораторную установку, включающую незаземленное электроизмерительное приспособление установки, включающей электроскоп с шелковой нитью, отклоняющейся от вертикали тем больше, чем сильнее атмосферный заряд, и прообраз лейденской банки. Свой прибор ученые назвали «громовой машиной», служившей для многочисленных наблюдений силы и характера электрических разрядов в атмосфере. С этой установкой они приступили к изучению атмосферного электричества, проведя ряд довольно опасных опытов.

Так, 26 июля 1753 года в преддверии приближающейся грозы Рихман нагнулся к электрометру, в тот же миг от «громовой машины» отделился бледно-синий огненный шар небольшого размера и коснулся головы академика. Так трагически погиб близкий друг Ломоносова, совершив, по его словам, научный подвиг, равный подвигу Прометея, принеся человечеству огонь небес и научив обращаться с ним.

Ломоносов сообщал своему придворному покровителю графу Шувалову, что Рихман выполнял лейденский опыт «с сильным ударом», который «можно переносить с места на место, отделяя от машины в знатное расстояние около целой версты». Хотя история не сохранила нам детальное описание и чертеж этого уникального эксперимента, можно предположить, что Ломоносов и Рихман построили своеобразную линию передачи от электризационной машины на «знатное расстояние». В точности неизвестно, каковой же была эта линия передачи, но сам Ломоносов указывал, что молниеприемник в виде изолированного прута был укреплен на крыше дома Рихмана. К этому пруту крепилась железная проволока и, будучи тщательно изолирована от стен, вела прямо в кабинет Рихмана. На конце проволоки академики укрепили линейку с льняными и шелковыми нитями для измерения величины электрических зарядов. Затем они подвесили на шелковых шнурах сорокаметровую железную цепь, которая соединяла между собой остrokонечный железный прут, заряжавшийся атмосферным электричеством даже в ясную погоду, и электрический указатель – электрометр. Длина цепи, по данным Рихмана, не влияла на показания электрометра. В опыте, о котором сообщает Ломоносов, Рихман, по-видимому заряжал и разряжал лейденскую банку «с сильным ударом» в различных точках линии.



Ломоносов и Рихман проводят опыты с громовой машиной.

В этом же, 1753 году Ломоносов написал сочинение о природе электричества и вызываемых им явлениях «Слово о явлениях воздушных, от электрической силы происходящих», где выдвинул свою оригинальную теорию образования атмосферного электричества, доказывая при этом его полную идентичность искусственным электрическим явлениям, получаемым от электростатических машин. Согласно его представлениям, электризация облаков происходит за счет «трения мерзлых паров о воздух», при этом под «мерзлыми» парами Ломоносов имел в виду лед, а «воздух» понимался им как смесь воздуха, водяного пара и мельчайших водяных капелек.

Ломоносов особо подчеркивал, что разделение электрических зарядов и образование сильного электрического поля происходит только при интенсивных вертикальных восходящих и нисходящих течениях.

Впоследствии Ломоносов продолжил исследования атмосферного электричества, он неопровержимо установил электрическую природу грозовых разрядов – молний, доказав, что в атмосфере, независимо от грозовых туч, всегда имеются электрические заряды, а также открыл электрическую сущность полярных сияний. Великий русский ученый даже смог, исходя из ничтожного набора экспериментальных фактов, высказать гениальное предвидение, что обычный свет свечи, костра и даже Солнца тоже имеет электрическое происхождение. Здесь же отметим еще одно очень важное наблюдение Ломоносова, сделанное им при анализе разбитой молнией «громовой машины» Рихмана: молниевый разряд сплавил вместе витки провода и сам стержень. Из чего Ломоносов впоследствии, после долгих размышлений, сделал опять-таки гениальный логический вывод: мощные электрические разряды могут плавить металлы. Как жаль, что и это открытие первого русского академика было оценено только через полтора столетия!

Лейденская банка была изобретена в 1745 году независимо голландским профессором Питером ван Мюсхенбруком (1692–1761) и немецким прелатом Эвальдом Георгом фон Клейстом. Диэлектриком в этом конденсаторе служило стекло сосуда, а обкладками – вода в сосуде и ладонь экспериментатора, державшая сосуд. Выводом внутренней обкладки служил металлический проводник, пропущенный в сосуд и погруженный в воду. Уже через год появились различные модификации лейденской банки с фольговыми обкладками, с внутренней обкладкой из металлических опилок или дробы и так далее. Лейденская банка позволяла накапливать и хранить сравнительно большие заряды, достигавшие миллионных долей кулона.

Летом 1748 года оригинальные опыты по передаче электричества проводил знаменитый американский государственный деятель и ученый Бенджамин Франклин (1706–1790). На противоположных берегах реки Скулкилл у самой воды он расположил два метровых металлических стержня; к верхушке одного из которых был прикреплен кусок проволоки с шариком на конце, свисавшим над сосудом со спиртом. Сам ученый так описывал свой опыт:

Тонкая проволока, прикрученная одним концом к ручке ложки со спиртом, была переброшена через реку и поддерживалась над водой паромным канатом. Другим концом этой проволоки была обвязана обкладка банки, при зарядке которой искра из крюка (вывода внутренней обкладки) проскакивала к верхушке прутка, воткнутого на этом берегу реки. Одновременно пруток на другом берегу давал искру в ложку со спиртом, который при этом воспламенялся на потеху филадельфийцам, наблюдавшим за опытом. Вторым проводом линии передачи служила вода реки.

Франклин также одним из первых установил, что молния является природным разрядом больших скоплений электрического заряда в нижних слоях атмосферы. В 1752 году он провел знаменитый опыт с бумажным змеем, к шнуру которого был прикреплен металлический ключ, и получил от ключа искры во время грозы. С тех пор молния интенсивно изучалась как интересное явление природы, а также из-за серьезных повреждений линий электропередачи, домов и других строений, вызываемых прямым ударом молнии или наведенным ею напряжением.

Электрические опыты Герике в более крупном масштабе продолжил английский ученый Стивен Грей (1666–1736). Благодаря его работам, проведенным при участии Грэнвилла Уилера (1701–1770), опыты по передаче электричества на расстояние вышли за пределы помещения.

В 1729 году, передавая заряды на большее расстояние, Грей провел опыт стоя на балконе и держа в руках стеклянную трубку со свисающей восьмиметровой веревкой с шаром из слоновой кости. Внизу находился ассистент Грея, определявший наличие заряда с помощью латунного листа (на дощечке). Грей также исследовал передачу электрических зарядов по горизонтали, подвешивая веревку на гвоздях, вбитых в деревянную балку, дальний конец веревки с шаром свисал, как обычно, над латунным листком. Однако этот опыт не получился, и Грей сделал правильный вывод о том, что электричество ушло в балку.

Преодолеть затруднение удалось благодаря оригинальной идее закрепить «линию электропередачи» шелковым шнуром, и первый же опыт оправдал все ожидания. Горизонтальная часть бечевочной линии проходила от стеклянной палочки, к которой она была привязана, до

шелкового шнурка, а к концу линии был подвешен шар из слоновой кости. При потирании палочки латунный листок притягивался к шару и держался на нем некоторое время.

Работы Грея побудили к исследованиям по электричеству французского ученого Шарля-Франсуа де Систерне Дюфе (1698–1739), который в 1733 году воспроизвел опыты по горизонтальной передаче электричества с помощью бечевки. При этом Дюфе обнаружил, что опыт удастся лучше, если намочить бечевку, а также пришел к выводу, что изоляционные свойства шелка обусловлены не его цветом, а применяемыми красителями. Затем исследователь показал, что линию передачи можно изолировать с помощью не только шелковых шнурков или конского волоса, но и стеклянных трубок, в том числе покрытых сургучом.

Осенью 1746 года в Парижской академии наук заслушали сообщение врача Луи-Гильома Лемонье. Он экспериментировал с тонкостенным лейденским сосудом. Лемонье заряжал его, прикасаясь выводом внутренней обкладки непосредственно к электризуемому трением стеклянному шару. При быстром вращении шара лейденский сосуд менее чем за полминуты заряжался настолько, что из проволочного вывода с шипением выходил пучок искр. Лемонье также разряжал лейденский сосуд через цепочку из большого числа людей, причем электрический удар люди испытывали тогда, когда стояли на изолирующем коврике (из смолы и воска в равных долях) или на полу. Люди образовывали цепочку, держась за руки или соединяясь друг с другом через многометровые металлические цепи. Одни цепи касались земли, другие были погружены в ведро с водой, а некоторые обмотаны вокруг больших кусков железа. Во всех этих опытах люди испытывали электрический удар.

Исследования Лемонье побудили других ученых предпринять в более крупных масштабах всяческие опыты с целью определения скорости распространения электричества. Четырнадцатого июля 1747 года английские физики проложили металлический провод по мосту через Темзу с одного берега на другой. При этом один из экспериментаторов, стоя на каменном спуске, держал в одной руке этот провод, а в другой – металлический стержень, погруженный в реку. На противоположном конце второй экспериментатор, также стоя на каменном спуске, держал в руке тот же провод, а в другой –

заряженную лейденскую бутылку, обернутую свинцовой фольгой и наполненную металлическими опилками. Третий экспериментатор, стоявший рядом, одной рукой окунал в воду металлический стержень, а другой касался вывода внутренней обкладки лейденской банки, заряжаемой от электризационной машины в соседнем доме. Таким образом все три исследователя испытывали электрический удар. На основании проведенных опытов был также сделан вывод о том, что электричество распространяется мгновенно.

Опыты английских исследователей вызвали оживленную дискуссию среди специалистов по электричеству того времени. Вышеизложенные опыты стимулировали идею электрического телеграфа, но удивительно, что ее не высказал ни один из вышеупомянутых исследователей.

Таким образом, открытие электропроводности показало принципиальную возможность передачи электричества на расстояние, при этом в опытах были с успехом применены различные проводники: льняная нить, пеньковая бечевка, непросушенное дерево и, наконец, медная металлическая проволока.

Последующие опыты с электричеством неразрывно связаны с именем выдающегося русского ученого Эмиля Христиановича Ленца (1804–1865).

Будущий академик вначале планировал посвятить жизнь геофизическим исследованиям и даже совершил кругосветное путешествие, дополнив его экспедициями в отроги крымских и кавказских гор. Именно за свою большую работу по геофизике и астрономии он и был избран академиком Петербургской академии наук. При этом академик Ленц тут же изменил направление своих научных интересов, занявшись исследованиями в области электричества. Именно своими работами в области электричества и магнетизма Ленц вошел в историю науки. Он существенно дополнил и развил открытое Фарадеем явление электромагнитной индукции, сформулировав свое знаменитое правило для направления индукционных токов. Ленц доказывал, что сущность электричества совершенно одинакова, вне всякой зависимости от природы его возникновения, он также впервые дал правильное объяснение явлению электрической поляризации. Независимо от Джоуля он открыл закон

превращения энергии электрической в тепловую (закон Джоуля – Ленца).

Замечательной чертой Ленца как ученого было глубокое понимание физических процессов и умение открывать их закономерности. Начиная с 1831 и по 1836 год он занимался изучением электромагнетизма.

В начале тридцатых годов XIX столетия знаменитый французский физик, математик и естествоиспытатель, член Парижской академии наук Андре-Мари Ампер (1775–1836) установил правило для определения направления действия магнитного поля на магнитную стрелку, исследуя взаимодействие между магнитом и электрическим током и обнаружив, что магнитное поле Земли влияет на движущиеся проводники с током. Он также открыл взаимодействие между электрическими токами и развил теорию магнетизма, предложив использовать электромагнитные процессы для передачи сигналов.

Согласно теории Ампера магнитные взаимодействия являются результатом происходящих в телах взаимодействий так называемых круговых молекулярных токов, эквивалентных маленьким плоским магнитам, или магнитным листкам. В 1822 году Ампером был открыт магнитный эффект катушки с током, откуда следовала идея эквивалентности соленоида постоянному магниту.

Между тем во время торжественного заседания Петербургской академии наук в 1830 году, принявшего Ампера в иностранные почетные члены, отмечалось, что приоритет многих его исследований принадлежит академику Ленцу, гораздо раньше проводившего опыты с многовитковыми контурами с током и открывшего усиливающий магнитное поле эффект ввода железных сердечников.



Э. Х. Ленц (1804–1865).

Во многом предвосхитил академик Ленц и открытия другого своего великого современника Майкла Фарадея (1791–1867), английского физика и физико-химика, считающегося основоположником учения об электромагнитном поле.

После открытия в 1820 году датским исследователем электромагнетизма Хансом Христином Эрстедом (1777–1851) магнитного действия электрического тока Фарадея увлекла проблема связи между электричеством и магнетизмом. В 1831 году Фарадей экспериментально открыл явление электромагнитной индукции как возникновение электрического тока в проводнике, движущемся в магнитном поле. Фарадей также дал математическое описание этого явления, лежащего в основе современного электромашиностроения.

Ампер и Фарадей создали несколько по существу мнемонических правил для определения направления наведенного тока (тока индукции). Но главного результата добился Ленц, открывший закон, определивший направление индуцируемого тока. Он известен сейчас как правило Ленца. Правило Ленца раскрывало главную закономерность явления: наведенный ток всегда имеет такое направление, что его магнитное поле противодействует процессам, вызывающим индукцию. Двадцать девятого ноября 1833 года это открытие было доложено Академии наук. В 1834 году Ленца избрали ординарным академиком по физике.

В 1842 году Ленц открыл независимо от Джеймса Джоуля закон, согласно которому количество тепла, выделяющегося при прохождении электрического тока, прямо пропорционально квадрату силы тока, сопротивлению проводника и времени. Он явился одной из важных предпосылок установления закона сохранения и превращения энергии.

Совместно с Борисом Семёновичем Якоби Ленц впервые разработал методы расчета электромагнитов в электрических машинах, установил существование в последних «реакции якоря». Он также открыл важнейший принцип обратимости электрических двигателей, положив начало разработке динамо-машин. Кроме того, Ленц изучал зависимость сопротивления металлов от температуры и участвовал в разработке первых в мире электродвигателей.

Глава 9. Первый в мире электроход

...В своем желании отдать все свои силы развитию электрического двигателя... в своем стремлении добиться того, чтобы мое новое отечество, с которым я уже связан многими узами, не лишилось славы сказать, что Нева раньше Темзы или Тибра покрылась судами с магнитными двигателями...

*Из письма Б. С. Якоби президенту
Петербургской академии наук, 27
мая 1837 г.*

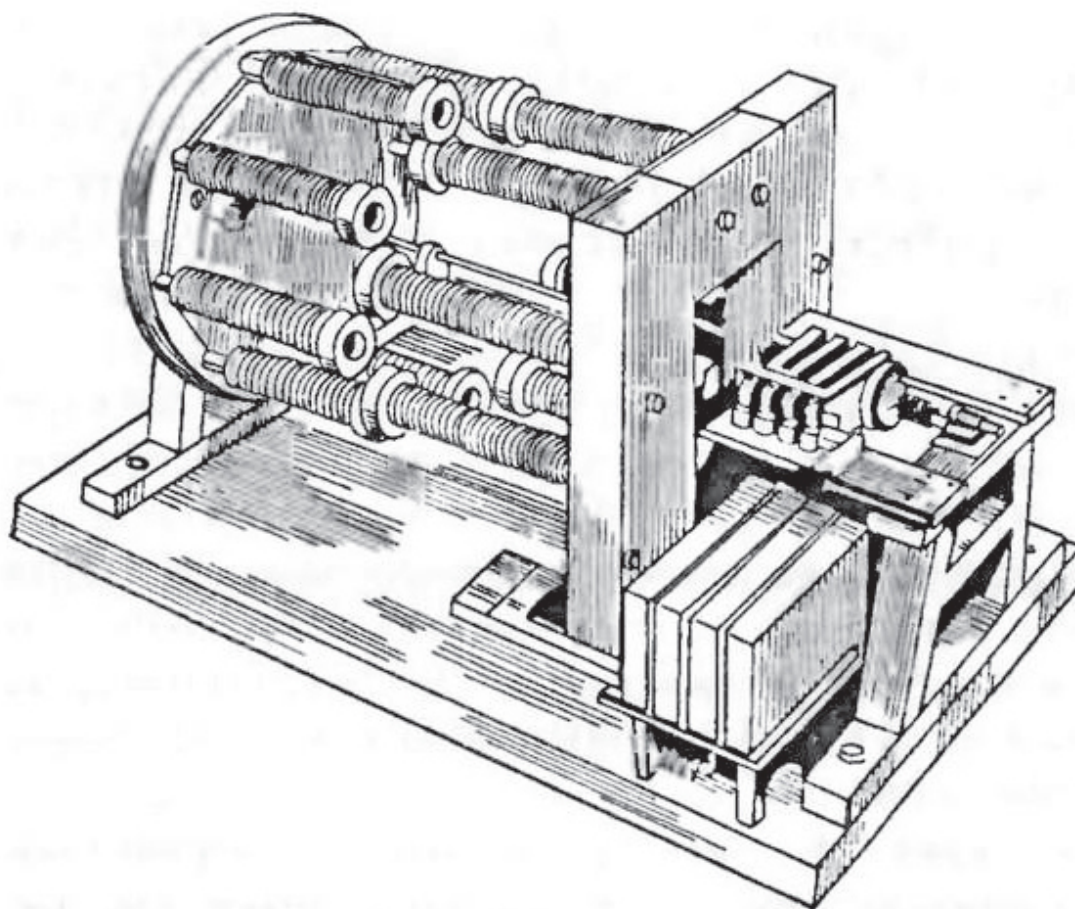
Во многих трудах Ленца деятельное участие принимал и академик Мориц Герман Якоби (1801–1874), приехавший в Россию в 1835 году и нашедший здесь свою истинную родину на русский лад его называли Борисом Семеновичем.

В начале тридцатых годов XIX века Якоби сделал несколько кратких сообщений в Парижской академии наук, где дал подробное описание электрического двигателя, названного им магнитной машиной. В год своего переезда в Россию он опубликовал труд о применении электромагнетизма для движения машин, привлечший внимание всего ученого мира.

Все предыдущие попытки обратить электрический ток в движение были по сути дела не более как физическими приборами, демонстрировавшими возможность превращения электрической энергии в механическую. Резко отличным от всех этих предложений стал электрический двигатель, изобретенный Якоби. Это был первый двигатель, построенный для выполнения практической работы, в действительности примененный на практике и в условиях того времени достаточно оправдавший свое назначение. Кроме того, двигатель Якоби послужил исходным средством для разработки общей теории электромагнитных машин. Работа с двигателем привела

академиков Якоби и Ленца к многим серьезным открытиям, относящимся к электромагнитам, обратной электродвижущей силе и так далее, вплоть до разработки точных способов измерений силы тока и постановки вопроса о разработке точных единиц для электрических измерений. Очень важно то, что Якоби уделял много внимания изучению экономичности электрических машин, коэффициентам их полезного действия.

В конце июня 1837 года при Петербургской академии наук была создана «Комиссия, учрежденная для приложения электромагнитной силы к движению машин по способу профессора Якоби». Начались работы по испытанию на практике изобретения. К участию в работах были привлечены академики Ленц, Остроградский, Фус, Купфер. Кроме того, были приглашены полковник Соболевский, вице-адмирал Крузенштерн, корабельный инженер Бурачек, а также многочисленные инженеры, техники и специалисты.



Первый в мире действующий электрический двигатель, изобретенный Б. С. Якоби в 1834 году.

В июле того же года комиссия удостоверилась в успешном действии модели машины, приводимой в движение посредством электромагнитной силы. Эксперты также единодушно признали, что наступила пора «к употреблению всех усилий для практического приспособления сего нового двигателя». Начались работы по созданию электродвигателя, пригодного для практических дел. Прежде всего, решили применить электрический двигатель для движения судов.

Тринадцатого сентября 1838 года начались ходовые испытания на Неве первого в мире электрохода. Электрический двигатель установили на обычном восьмивесельном катере, на котором устроили гребные колеса, подобно тому как это делается на пароходах. Сперва предполагали плавать только по тихой воде, но сразу же убедились в

возможности «совершать плавание на самой Неве и даже против течения».

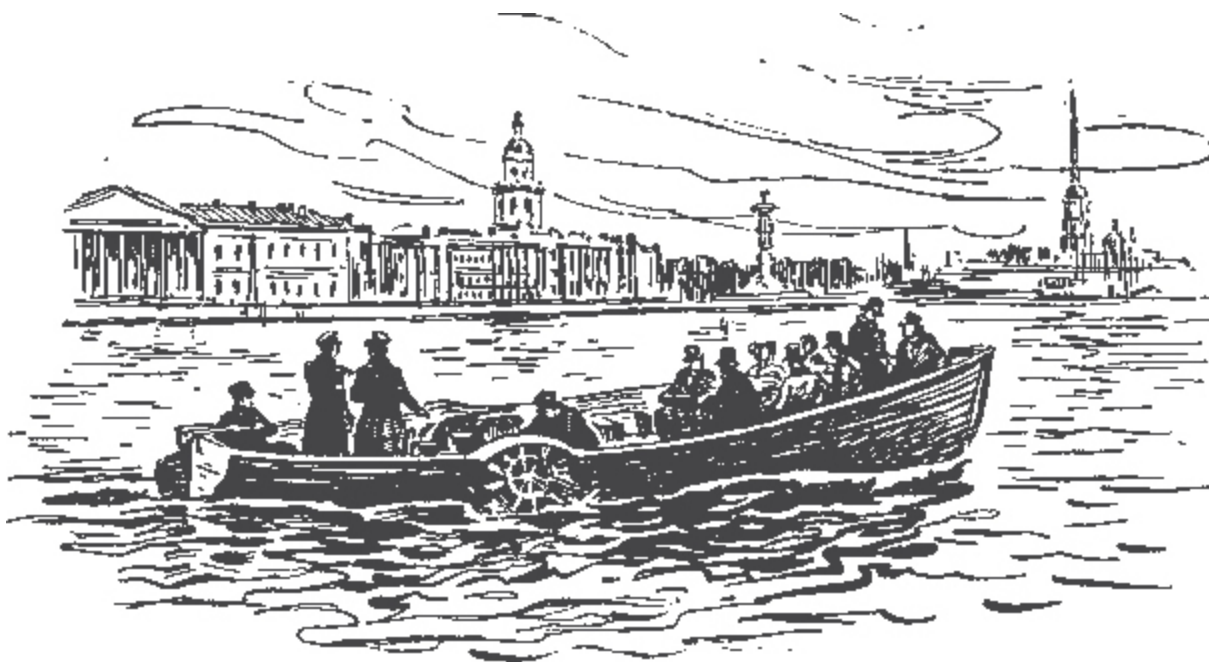
Электрический двигатель приводился в действие током батареи, состоявшей из 320 гальванических элементов. Мощность батареи, однако, не соответствовала мощности двигателя, рассчитанного «на 400 и до 500 пар пластинок». Кроме того, на маленьком катере, совсем не предназначенном для подобных установок, не удалось правильно распределить нагрузку. Нос катера был перегружен и сидел в воде несоразмерно глубоко, тем не менее электроход успешно плавал, принимая на борт дюжину пассажиров, при этом средняя скорость составляла около двух узлов. В итоговом отчете значилось: «Та же скорость оказалась и из одного опыта, при котором лодка проехала 7 верст сряду по Неве и каналам и совершила сей путь в течение 3 часов». Опытные плавания электрохода, изучение его двигателя Якоби и Ленцом, работы по исследованию и улучшению источника энергии – гальванических батарей – привели к существенным выводам, изложенным в отчете комиссии:

1) Комиссия разрешила главный, заданный ей вопрос касательно возможности употребления электромагнетизма как двигательной силы тем, что при неблагоприятных впрочем обстоятельствах удалось привести в движение эту силою довольно значительной величины восьмивесельной бот.

2) Ученые труды Комиссии привели к весьма важным и решительным выводам, которые не только могут быть положены в основание будущих практических работ, но и подвинули существенно прежние наши познания о магнетизме и электричестве, расширив, устроив и утвердив умозрение (касательно) сих сил природы.

3) Употребляемые Комиссиею и вновь придуманные по этому случаю гальванические батареи особого устройства, соединяя в себе дотоле недостигнутые в этих приборах свойства, а именно большую силу и постоянство действия и дешевизну содержания, представили науке и промышленности новое орудие, годное для многоразличных технических целей и ученых исследований.

Испытания электрохода Якоби, показавшие возможность использовать для практических целей превращение электрической энергии в механическую, установили также необходимость устранения многих недостатков. Оценивая эти недостатки, в отчете комиссии справедливо указали: «Стоит только вспомнить, в каком состоянии находились паровые машины в начале нынешнего столетия и какие огромные жертвы нужно было принести для их усовершенствования».



Ходовые испытания на Неве бота с электродвигателем Якоби.

В 1839 году Якоби вместе с академиком Ленцем построил еще два электродвигателя. Один из них был установлен на ботике. Гребные колеса крутились, ботик с экипажем поднимался против течения Невы, борясь со встречным ветром. Другой электродвигатель Якоби и Ленца катил по рельсам тележку с человеком. Это был уже прообраз таких современных машин, как трамвай, троллейбус, электропоезд. Правда, сидеть в ней было неудобно: громоздкая батарея занимала почти всю тележку, а других источников электрического тока тогда не знали. Именно поэтому электродвигатели еще не смогли тогда получить широкого применения.

Опыты с электродвижением судов и вообще с электрическими двигателями продолжались. Основным недостатком, препятствовавшим развитию нового дела, был дорогой и громоздкий источник электрической энергии – гальваническая батарея. На исходе 1841 года приняли решение считать первый круг опытов законченным: «...не лишая себя впрочем надежды возобновить их, ежели будут сделаны открытия, могущие послужить усовершенствованию приложения электромагнетизма к движению судов».

Опыты не были продолжены. Работы Комиссии, учрежденной для приложения электромагнитной силы, не привели и не могли привести в то время к введению на транспорте электроходов. Это дело было столь сложным, что только теперь, более чем полтора столетия, задача электродвижения судов близится к полному разрешению.

Тем не менее двигатель Якоби, впервые на практике примененный для электрохода, оказал большое влияние на творчество новаторов разных стран. По пути, открытому работами Якоби, пошли в дальнейшем строители английских электромагнитных локомотивов и электропашущих плугов, а также многие другие работы – от первых опытов применения электродвигателя для привода заводских машин до попыток создать двигатели для воздушных кораблей, по сути развивающие идею Якоби о применении электромагнитной силы к движению машин.

От опытов русской Комиссии, учрежденной для приложения электромагнитной силы к движению машин, тянутся нити ко всем последующим делам в данной области, получившей изумительное развитие в итоге труда множества русских, английских, французских, американских изобретателей. Подобные же связующие нити можно проследить и для многих иных дел, зачинателем которых был Якоби, обогативший науку и технику своими новациями при создании многочисленных оригинальных телеграфов и средств для электрического взрывания мин.

Глава 10. Война токов

Я знаю, что нет ничего нового в том, чтобы получить вращение двигателя посредством прерывистого перемещения полюсов одной из его частей. Это достигается пропусканием через отдельные намагничивающие обмотки одной из этих частей тока, доставляемого батареей или каким-нибудь другим источником прямого или постоянного тока, причем направление тока с помощью соответствующих механических приспособлений меняется так, что он проходит через обмотки в попеременно противоположном направлении.

Н. Тесла. Дневники

Лаборатория Николы Теслы 13 марта 1895 года сгорела при пожаре, уничтожив результаты многолетних трудов изобретателя и разорив его, не застраховавшего свое имущество...

Тесла, бодрясь перед репортерами, так описывал свои громадные потери на пресс-конференции, созванной им после пожара:

В моей лаборатории были уничтожены следующие самые последние достижения в области электрических явлений. Это, во-первых, механический осциллятор; во-вторых, новый метод электрического освещения; в-третьих, новый метод беспроволочной передачи сообщений на далекие расстояния и, в-четвертых, метод исследования самой природы электричества. Каждая из этих работ, а также многие другие, конечно, могут быть восстановлены, и я приложу все мои усилия, чтобы это восстановить в новой лаборатории...

Между тем по многим признакам данный пожар был далеко не случайным, ведь он произошел в кульминационный момент войны токов, разгоревшейся сразу между тремя группами ученых-электротехников и инженеров. Первые две располагались в Соединенных Штатах, их возглавляли король американских изобретателей Томас Эдисон и сам Никола Тесла. Третья группа состояла из европейских электротехников, ее лидером был выдающийся изобретатель-исследователь Михаил Осипович Доливо-Добровольский.

Суть разногласий, с течением времени переросших в бурные конфликты на страницах печати и судебные разбирательства, сводился к конкуренции трех систем генерации, передачи и потребления электричества: постоянного тока, переменного двухфазного и переменного многофазного тока.

До недавнего времени, на протяжении всей второй половины «века пара и электричества» безраздельно царствовали механизмы и системы, питаемые постоянным током; лишь после изобретения Теслой асинхронного двигателя переменного тока возникла альтернатива традиционным электрическим представлениям.

По словам самого Теслы, конструированием двигателей переменного тока он занялся осенью 1887 года, через пять лет после открытия им технического принципа применения вращающегося магнитного поля. Вскоре он уже рассчитал и построил первые в мире модели индукционного электродвигателя в двухфазном (четырёхпроводном) и трехфазном (четырёх- и трехпроводном) вариантах исполнения. Эти двигатели пускались в ход и несли нагрузку в соответствии с теорией асинхронных машин, основы которой изобретатель заложил еще при работе в Континентальной компании Эдисона.

В первоначальном виде двухфазный электродвигатель Теслы состоял из кольцевого шихтованного статора с двумя парами взаимно перпендикулярных, распределенных по окружности обмоток с четырьмя выводами и стального ротора в виде диска со срезанными сегментами. В трехфазной модификации статор имел три пары выступающих полюсов-обмоток, размещенных по окружности станины со сдвигом в 60 градусов, и ротор той же продолговатой формы. Изобретатель изготовил двухфазный электродвигатель с двумя

замкнутыми на себя роторными катушками, намотанными под прямым углом на стальном барабане или усеченном диске. Этот вариант представлял собой прообраз короткозамкнутого асинхронного двигателя, источником питания которого служили двухфазные или трехфазные синхронные генераторы с несвязанными цепями, снабженными соответственно четырьмя или шестью контактными кольцами.

Вместе с двигателями Тесла уделял большое внимание конструированию генераторов переменного тока. Схемы соединений между генераторами и двигателями являлись первым в лабораторном масштабе опытом передачи электроэнергии по системе многофазных токов. После того как изобретатель наглядно убедился в том, что его двигатели при всей простоте конструкции не уступают по своим эксплуатационным характеристикам двигателям постоянного тока, которые к тому времени начали широко применяться в самых разнообразных электроприводах компанией Эдисона, он вплотную занялся патентованием полученных результатов. В них была предложена схема каскадного соединения электрических машин, которая явилась родоначальником большого и разветвленного семейства каскадных электромашинных установок. Их главные достоинства состояли в увеличении крутящего момента и легкости регулирования скорости вращения применительно к тяжелым видам электропривода. Причем уже тогда изобретатель рассматривал асинхронный двигатель в качестве универсального электромашинного преобразователя, в котором трансформируется не только форма энергии, но также напряжение, частота и число фаз подаваемого тока.



Никола Тесла (1856–1943).

В период с октября по декабрь 1887 года Тесла подал заявки на семь основных патентов, выданных в судьбоносный день для изобретателя – 1 мая 1888 года.

По советам патентных поверенных для лучшей охраны авторских прав Тесла разбил свои изобретения на несколько частей, составив группу отдельных патентных спецификаций, которые частично дублировали друг друга, но в целом охватили все аспекты. В описании патентов Тесла постарался сосредоточить внимание на том, что до его изобретения проблема передачи и преобразования электрической энергии в механическую была далека от удовлетворительного решения. При этом существующие конструкции электродвигателей не

обеспечивали постоянства скорости вращения при изменении нагрузки, были малоэкономичны, сложны в обслуживании и дороги в изготовлении.

Через две недели после получения семи основных патентов на систему многофазных токов Tesla по настоянию редакции журнала *The Electrical World* согласился выступить с публичной лекцией «О новой системе двигателей переменного тока и трансформаторов». Это было первое крупное публичное выступление изобретателя перед видными специалистами в области инженерной электротехники, которое состоялось 16 мая 1888 года в Нью-Йорке на собрании АИИЭ, и было напечатано в «Трудах» Института за тот же год. Лекция сопровождалась демонстрацией двух действующих моделей двухфазных двигателей.

В своем докладе Tesla попытался не только рассказать о достигнутых результатах, но и обрисовать дальнейшие перспективы бытовой и промышленной электрификации как «передачи силы» на расстояние посредством электрической энергии. Далее он подробно, но в доступной форме с минимальным привлечением математического аппарата постарался изложить физический смысл явления, названного впоследствии вращающимся магнитным полем, и механизм действия индукционных машин. Не опираясь на еще не существующий опыт промышленного использования многофазных токов, изобретатель сделал попытку конкретизировать высокие эксплуатационные качества асинхронных двигателей и многофазных трансформаторов. В этой лекции Tesla впервые упомянули о найденном им способе регулирования скорости вращения индукционных двигателей посредством изменения числа полюсов. Это изобретение было заявлено 15 мая 1888 года, а патент опубликован 13 декабря 1892 года.

В то же время на другой стороне Атлантики русский инженер Доливо-Добровольский, занимавший руководящие посты в крупнейшем электротехническом концерне АЕГ в Берлине, разрабатывал важнейшие принципы техники многофазных токов. Работа в этом направлении привела его к разработке трехфазной электрической системы и совершенной конструкции асинхронного электродвигателя.

Главная особенность асинхронного двигателя Доливо-Добровольского – ротор с обмоткой в виде «беличьей клетки». Он

выполнил ротор в образе стального цилиндра, а в просверленные по периферии каналы заложил медные стержни. На лобовых частях ротора эти стержни электрически соединялись друг с другом. В 1889 году этот, в принципе не изменившийся до настоящего времени, двигатель был запатентован.

Следующим шагом Доливо-Добровольского явился переход к трехфазной системе. В результате исследования различных схем обмоток ученый сделал ответвления от трех равноотстоящих точек якоря машин постоянного тока. Таким образом были получены токи с разностью фаз 120 градусов. Так была найдена связанная трехфазная система, отличительной особенностью которой являлось использование для передачи и распределения электроэнергии только трех проводов.

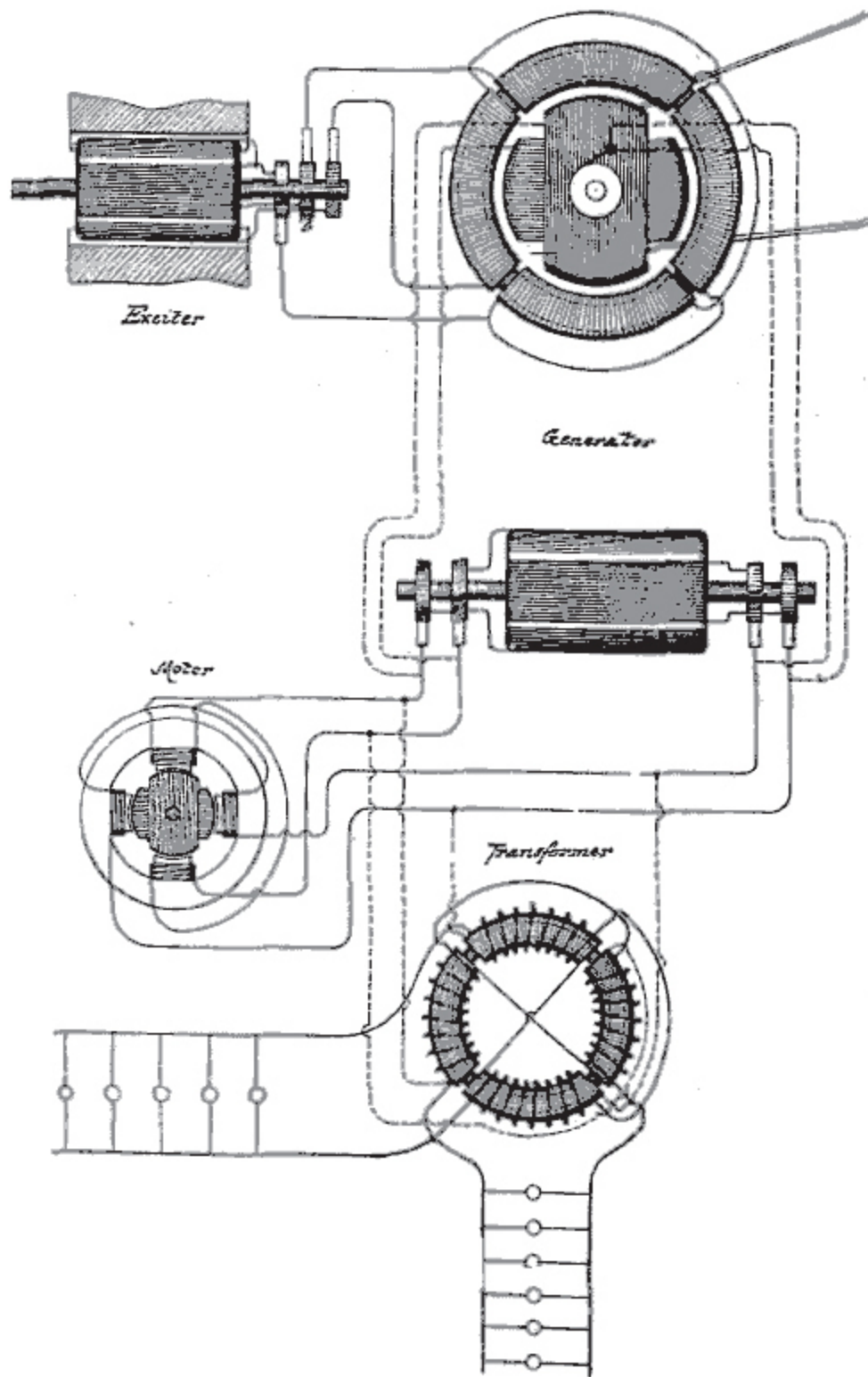
Весной 1889 года Доливо-Добровольским был построен стоваттный трехфазный асинхронный двигатель, питаемый от трехфазного одноякорного преобразователя. Затем были созданы еще более мощные преобразователи и началось изготовление трехфазных синхронных генераторов. Важными достижениями ученого были новые способы звездообразных и треугольных обмоток, распределенных по всей окружности статора. Кроме того, Доливо-Добровольский улучшил использование статора с помощью разрезной обмотки, встречного соединения противоположащих катушек и заменой кольцевой обмотки статора на барабанную. Так асинхронный двигатель Доливо-Добровольского с короткозамкнутым ротором приобрел современный вид.

В 1889 году Доливо-Добровольский построил электрическую систему, предназначенную для передачи трехфазного переменного тока напряжением 8500 В и мощностью 220 кВт на расстояние в 175 км. Тогда же он изобрел трехфазный трансформатор с радиальным расположением сердечников, впоследствии замененный конструкцией «призматического», в котором удалось получить более компактную форму магнитопровода. Позднее изобретателем была сделана патентная заявка на трехфазный трансформатор с параллельными стержнями, расположенными в одной плоскости. В принципе и эта конструкция практически без изменений сохранилась до настоящего времени.

В 1891 году Доливо-Добровольский принял активное участие в международной выставке во Франкфурте-на-Майне, демонстрировавшей все электротехнические достижения того времени. Там им была осуществлена знаменитая Лауфен-Франкфуртская электропередача, снабжавшая вместе со всем действующим электрооборудованием выставки еще и стоваттный асинхронный двигатель Доливо-Добровольского, который приводил в движение насос, подававший воду к искусственному водопаду перед главным входом на выставку. Небольшая гидроэлектростанция с трехфазным синхронным генератором, которая с помощью трансформаторов передавала электроэнергию на невиданное в те времена расстояние, была построена на реке Неккар, в местечке Лауфен. Выставка имела грандиозный успех и сыграла громадную роль в пропаганде переменного тока и соответствующего оборудования.

Тесла также был осведомлен об успехах трехфазной системы электропитания, но настойчиво предпочитал ей двухфазный ток, проявляя непростительный консерватизм. В то же время изобретатель продолжал всяческую борьбу с «империей постоянного тока Эдисона».

В это же время начиная с восьмидесятых годов XIX века рядом с Теслой активно действовал дальновидный предприниматель, не побоявшийся вложить свое состояние в экзотическую по тем временам электроэнергетику переменного тока. Это был Джордж Вестингауз (1846–1914), уроженец штата Нью-Йорк и сын владельца завода сельскохозяйственных машин. В 1869 году он, в возрасте двадцати трех лет, получил патент на воздушный железнодорожный тормоз, что позволило ему основать фирму *Westinghouse Air Brake Co.* и в последующие годы запатентовать различные аппараты и устройства электрической железнодорожной сигнализации.



Система выработки, трансформации и потребления двухфазного переменного тока Теслы.

В самом начале за основу своей электротехнической производственной деятельности компания Вестингауза взяла систему однофазного переменного тока, представленную одной венгерской фирмой на лондонской выставке 1885 года. В конце того же года главный инженер компании Вильям Стенли сконструировал однофазный автотрансформатор, что уже через год позволило построить первую многокилометровую линию электропередачи однофазного тока высокого напряжения в штате Массачусетс. На следующем этапе по проекту Стенли в 1887 году в штате Нью-Йорк была пущена коммерческая установка однофазного тока для электрического освещения. В последующие годы компания Вестингауза построила более сотни небольших электростанций однофазного тока, оборудованных синхронными генераторами и трансформаторами.

С самого начала Вестингауз столкнулся с очень жестким противодействием со стороны компании Эдисона, хотя в те годы еще рано было говорить о реальной конкурентоспособности вестингаузовских электроустановок с успешно действующими уже много лет устройствами постоянного тока. До победы в грядущей «войне токов» было еще далеко, для этого электротехнике переменного тока крайне требовался промышленный электродвигатель, превосходящий имеющиеся двигатели постоянного тока по всем показателям. Впоследствии сам Вестингауз неоднократно подчеркивал, что техника переменного тока создавалась им не столько для увеличения радиуса действия электроосветительных установок, сколько для передачи силовой энергии на дальние расстояния с использованием в фабрично-заводских электроприводах.

В июле 1888 года Вестингауз встретился с Теслой в его нью-йоркской лаборатории и после осмотра всяческих устройств переменного тока предложил изобретателю миллион долларов за право эксплуатации его сорока патентов и дополнительно обязался в течение пятнадцати лет выплачивать по одному доллару за каждую лошадиную силу мощности электродвигателей.

Так Тесла стал одним из ведущих специалистов *Westinghouse Electric Co.*, где уже плодотворно работала целая группа одаренных инженеров и изобретателей. Вначале Вестингауз хотел просто применить разработки Теслы к уже освоенной компанией системе

однофазного тока, поэтому изобретатель вначале занялся усовершенствованием серийно выпускаемых маломощных киловаттных электродвигателей, подключаемых в однофазные осветительные сети. При этом возникла проблема используемого стандарта частоты в 133 Гц, для которого технические показатели этих двигателей были довольно низки. Нужно было переходить на другие частотные характеристики переменного тока, причем требовалось так подобрать частоту, чтобы она была достаточно высокой и электролампы не мерцали. В конечном итоге для надежной и экономичной эксплуатации асинхронных электродвигателей была выбрана частота тока 60 Гц, ставшая стандартом в американской электроэнергетике.

Преодолев эту серьезную преграду на пути внедрения асинхронных двигателей в промышленность и бытовую технику, Тесла приступил к дальнейшей разработке моделей электрических машин в двухфазном исполнении. И уже в начале 1889 года ему удалось сконструировать и испытать главный серийный образец асинхронного двигателя мощностью в 7,5 кВт при весе 385 кг с коэффициентом полезного действия, достигавшим 95 процентов. Прошло всего несколько месяцев, и первые в мире индукционные двигатели двухфазного тока для производственных нужд были смонтированы на газовой станции вблизи Питсбурга. В том же году на заводе Вестингауза вошел в строй новый цех с десятками станков, приводимых в движение асинхронными двигателями общей мощностью в 600 кВт. Так в начале девяностых годов XIX века многие американские промышленные предприятия были оснащены двигателями Теслы, для электропитания которых повсюду сооружались электростанции двухфазного тока.

Конечно же, подобные успехи конкурентов вызвали припадки яростной зависти у короля изобретателей, потерявшего с некоторых пор покой и сон. В начатой им «войне токов» Эдисон не отказывался от любых методов ведения конкурентной борьбы против прогрессивной техники, которая в Америке была гораздо жесточеннее, чем в Европе. При этом его сподвижники настойчиво пропагандировали тезис о высокой опасности переменного тока, распространяя слухи о частых травмах при пользовании электрооборудованием и приборами переменного тока. Эдисон лично потратил большую часть своего состояния на подкуп конгрессменов в

различных штатах, чтобы законодательным путем ограничить или даже запретить применение переменного тока. Когда в Нью-Йорке была введена мучительная казнь на электрическом стуле, изобретенном Эдисоном, он снабдил его похищенным на одном из предприятий Вестингауза генератором переменного тока с напряжением в 2 тыс. В. Поэтому репортеры тут же подхватили придуманное Эдисоном название для смерти от переменного тока как «вестингаузации».

Решающая битва в «войне токов» произошла на международной выставке в Чикаго, организованной в ознаменование 400-летия открытия Америки 1 мая 1893 года, названная Колумбийской в честь великого мореплавателя. Несмотря на то, что за год до открытия Колумбийской выставки, в 1892 году, произошло важнейшее событие в электропромышленности США: *Edison General Electric Company* поглотила *Thomson-Houston Electric Company*, в результате чего возникла мощнейшая монополия *General Electric*, компании Вестингауза удалось получить заказ на электрификацию выставки.

Так переменный ток навсегда утвердился в промышленности и быту, и пожар в лаборатории Теслы, конечно же, не мог уже ничему помешать, скорее, это был акт отчаяния со стороны Эдисона.

Глава 11. Первый электротехник

Все наблюдения и открытия, которыми чаял Петров принести пользу людям, остались неизвестными и практически бесполезными – можно ли представить себе большую трагедию для человека-творца? Лишь с опозданием чуть не в 100 лет Петров получил свою долю мировой славы. Но мне кажется, что вряд ли он был бы удовлетворен этим. Скорее всего, ему горько было бы осознавать, что его открытие прошло незамеченным, когда оно было нужным. Приоритет Петрова стал очевидным только тогда, и слава его и гордость наша возникли тогда только, когда электрические лампочки были уже обычным оборудованием, дешевым и надежным, ничем не примечательным и привычным.

В. Карцев. Приключения великих уравнений

Новая наука электрофизика родилась вместе с XIX веком, самое начало которого ознаменовалось опытами итальянского ученого Алессандро Вольта (1745–1827), продемонстрировавшего прибор для получения непрерывного потока электрических зарядов – вольтов столб. Этот дальний предок современных электрических батареек и аккумуляторов состоял из последовательности перемежающихся цинковых и серебряных пластин, разделенных суконными или бумажными прокладками, смачиваемыми уксусом или раствором нашатыря. Непрерывный электрический ток в вольтовом столбе является результатом химического взаимодействия двух различных металлов в кислой или щелочной среде.

Вольтов столб стал прообразом главных источников лабораторного электричества в XIX веке – разнообразных гальванических элементов. Так в распоряжении первых электротехников, инженеров и ученых наконец-то оказался источник непрерывного движения электрочаргов, тут же получивший название «постоянный электрический ток». Надежность, неприхотливость и простота вольтового столба, который можно было, обладая некоторой сноровкой, в течение получаса изготовить из столбика монет и кусочков камзольной ткани, смоченной уксусом, открыли простор для экспериментальных исследований физиков, химиков, биологов, медиков и всех иных энтузиастов-естествоиспытателей.

К физике тогда вообще относились весьма подозрительно. Считалось, что «физические науки... обращены на то, чтобы опровергнуть повествование о сотворении мира, о потопе и о других достоверных событиях, о которых священные книги сохранили для нас память». Но вот в рапортах начинают изредка проступать мажорные нотки. Из анатомического кабинета удается добыть несколько первых приборов, затем – о радость! – удается получить деньги на заказ приборов и даже на выписку их из-за границы. Петров получает возможность купить несколько физических приборов у петербургских аристократов, баловавшихся науками (это было модно со времен Екатерины, которая «ужас как» любила, например, электрические опыты. Затем мода стала проходить). В 1797 году Петров приобретает у какого-то вельможи две электрические машины, «стекло которых имеет вид цилиндра», и электрическую машину, «костей стеклянный круг имеет в диаметре 40 английских дюймов, а медный кондуктор 5 футов длины и 5 дюймов в диаметре», а также коллекцию постоянных магнитов – коллекцию, которой суждено позже сыграть определенную роль в жизни Петрова. О своих покупках Петров делает донесение конференции академии, причем указывает, что многие экспонаты неисправны, нуждаются в переделке и ремонте (в одном из последующих донесений читаем, что «переправка», сделанная по указаниям Петрова, «произвела сильнейший успех»).

В. Карцев. Приключения великих уравнений

Конструированием вольтовых столбов в то время занимались многие естествоиспытатели, а также врачи, аптекари, негоцианты. Даже в покоях некоторых европейских королей можно было найти модные роскошные вольтовы столбы, составленные из золотых и серебряных монет. В России электрическими опытами с вольтовыми столбами сильно увлекался академик Василий Владимирович Петров (1761–1834). Это был несомненно талантливый физик и искусный экспериментатор, который проводил в кабинете физики Петербургской медико-хирургической академии многочисленные опыты с вольтовым столбом собственной конструкции в виде гигантской батареи из нескольких тысяч гальванических элементов.

Известный писатель-популяризатор В. П. Карцев в своей книге «Приключения великих уравнений» рассказывает, как в 1795 году тридцатичетырехлетний Петров стал профессором в Петербургской военно-медицинской (медико-хирургической) академии, для чего ему пришлось прочесть специальную пробную лекцию, которая произвела, по-видимому, хорошее впечатление. Профессор Петров стал усиленно добиваться устройства в академии физического кабинета. Рапорты, представления, донесения Петрова начальству пожухлыми листами свидетельствуют о неописуемо трудной борьбе. Окружающие Петрова люди были бесконечно далеки от идей, связанных с устройством каких-либо кабинетов по физике. Порою кажется, что все эти документы – глас вопиющего в пустыне. Горячность иных строк – свидетельство отчаяния человека, не способного проломить крепостные стены косности...

Русский ученый впервые догадался заменить продольное расположение элементов вольтова столба на ряд поперечных секций, создав мощный источник тока, названный впоследствии гальванической батареей Петрова. Научная интуиция этого замечательного исследователя предсказывала ему удивительные открытия, он работал денно и нощно, не щадя себя. В то время еще не существовало чувствительных приборов, измеряющих электрическое напряжение, и Петров самоотверженно превратил в вольтметр свой организм. Он удалил кожу с кончиков пальцев и фиксировал

болезненные уколы электрического тока обнаженными нервными окончаниями.

Хлопоты Петрова по созданию физического кабинета были в самом разгаре, когда до Санкт-Петербурга дошли вести об опытах Вольты, об изобретении им нового, невиданного до тех пор источника электричества – вольтова столба. Петров интуитивно почувствовал важность проведения исследований с этим прибором. Свидетельство этому – пожелтевший рапорт Петрова конференции академии: в нем обоснование неперенной необходимости иметь в академии вольтов столб, чтобы можно было проводить в академии «опыты, которыми многие европейские физики начинают теперь заниматься гораздо с большим против прежнего радением». Видимо, ходатайство прозвучало очень убедительно, потому что в решении конференции имеется пункт о выделении на нужды физического кабинета 300 рублей, причем 200 из них предназначались для заказа «гальванического прибора» из 200 цинковых и медных кружков, каждый диаметром около 25 см, а оставшиеся 100 рублей ассигнованы были на «хрустальные с медной оправой приборы с пьедестальцем для поддержания их (кружков) и ящик из красного дерева с особенными листами для укладывания порознь всех приборов».

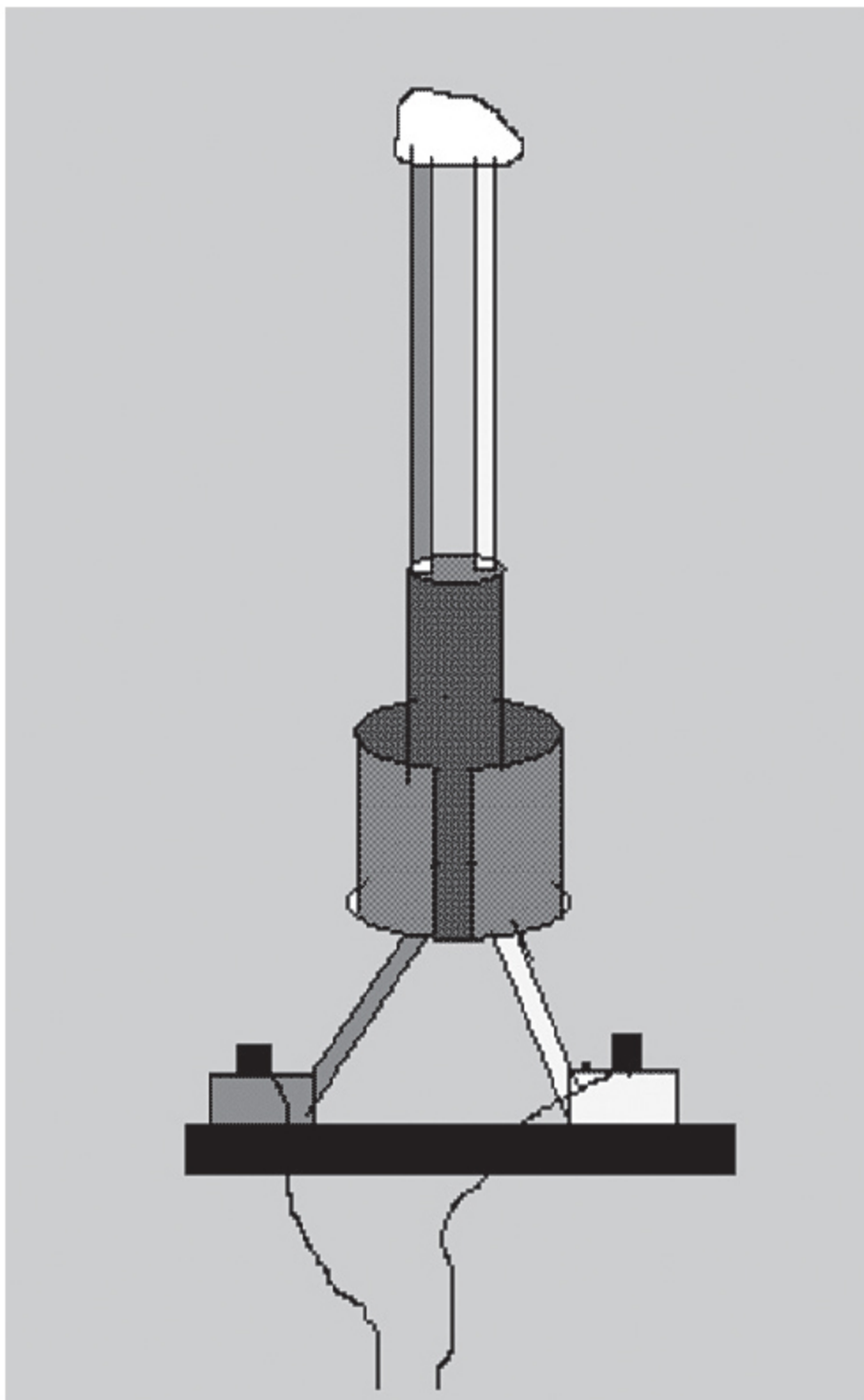


Схема опытов В. В. Петрова.

«Огромной величины батарея», изготовленная по проекту Петрова, состоит из 4200 медных и цинковых кружков, то есть в 20 раз больше по количеству кружков, чем первый столб. Общая длина столба – 12 м. Выполнен он необычно: столб лежит в нескольких ящиках красного дерева, соединенных между собой изготовленным самим Петровым проводом и изолированным им же с помощью сургуча. Этот столб, вне всякого сомнения, был самым крупным и совершенным в то время во всем мире. Благодаря лежащей конструкции тяжелые металлические кружки не выдавливали жидкости, которой были пропитаны бумажные кружки, разделяющие цинковые и медные элементы. Именно выдавливание жидкости в стоячих дотоле известных столбах, как ни странно, препятствовало созданию особо крупных батарей. Остроумное решение Петрова открыло ему путь к постройке элемента, которого не знал еще мир, – «огромной гальвановольтовой батарее».

Первые же опыты принесли успех. Батарея оказалась настолько мощна, что от внимательного глаза Петрова не могли скрыться искры, возникающие при разрыве цепи батареи. А если в месте разрыва угольки, то между ними возникало «больше или меньше яркое пламя».

Создав свою замечательную батарею, Петров сразу же приступил к обширной серии экспериментальных исследований электрического сопротивления угля. Он взял два угольных стерженька, соединил их с разными полюсами электрической батареи и приблизил друг к другу. Как только угли сблизилась, их концы разогрелись так сильно, что начали светиться. Ученый стал немного отодвигать угли друг от друга. Внезапно в воздухе между ними возникло ослепительно-яркое изогнутое белое пламя: родилась электрическая дуга – один из видов электрического разряда, дуговой разряд. Петров сразу же отметил практическую ценность своего открытия, написав, что ему удалось получить «весьма яркий белого цвета свет или пламя, от которого оные угли скорее или длительнее загораются и от которого темный покой довольно ясно освещен быть может».

Исследователь сразу же заметил, что жар электрической дуги очень силен и в ней легко плавятся серебряные и медные монеты, железные гвозди и цинковые пластинки. Впрочем, это и неудивительно, ведь теперь мы знаем, что температура в пламени дуги Петрова достигает «солнечных» величин свыше шести тысяч градусов Цельсия. Именно

такова температура поверхности нашего дневного светила! Что же является причиной возникновения электрической дуги?

При сближении угольных стерженьков начинает течь ток. В месте соприкосновения углей электрический ток встречает сопротивление значительно большее, чем в самих углях, так как воздух в обычном своем состоянии тока не проводит, а угольные стерженьки соприкасаются только в небольшом числе точек. Вследствие этого концы углей сильно разогреваются, испускают свет и нагревают окружающий воздух. Такие угли начинают выделять раскаленные газы. Если теперь слегка раздвинуть угли, электрический ток не прекратится: раскаленные газы проводят ток, и между раздвинутыми углями возникает светящаяся электрическая дуга.

Петров поставил много опытов с электрической дугой. Он получал ее в воздухе, в разреженной среде, в различных жидкостях, наблюдал ее, заменяя угли различными металлами. При этом исследователь обнаружил уникальную возможность получения при помощи электрической дуги чистых металлов из их руд. Этот процесс восстановления металлов лежит в основе современной электрометаллургии.

Об открытом явлении электрической дуги и ее исследованиях ученый написал две книги. В них Петров развивал мысль о том, что электрическая дуга может получить всестороннее применение в технике освещения, нагревания и металлургии.

К сожалению, у себя на родине Петров не встретил интереса к своим выдающимся исследованиям, их результаты были очень скоро незаслуженно забыты, в том числе и замечательная гальваническая батарея. Этому в немалой степени способствовала и позиция руководства Петербургской академии наук, в которой все руководящие посты занимали иностранные ученые, за редким исключением крайне пренебрежительно относившиеся к достижениям российских исследователей. Когда же в 1811 году, через девять лет после открытия Петрова, английский естествоиспытатель Хемфи Дэви снова получил в своей лаборатории электрическую дугу, он был торжественно признан единственным первооткрывателем этого явления. Четкий ответ на вопрос, почему так случилось, дает выдающийся физик прошлого столетия академик П. Л. Капица:

Мне думается, что объяснение надо искать в тех условиях, в которых наука развивается в стране. Недостаточно ученому сделать открытие, чтобы оно оказало влияние на развитие мировой культуры, – нужно, чтобы в стране существовали определенные условия и существовала нужная связь с научной общественностью за границей... Трагедия изоляции от мировой науки работ Ломоносова, Петрова и других наших ученых-одиночек и состояла в том, что они не могли включиться в коллективную работу ученых за границей...

Велика сила настоящих открытий, ведь прошло уже более двух столетий, а современные технологии сварки металлов, металлургии и осветительной техники продолжают широко применять дугу Петрова. До Петрова электрический свет был вспышкой, искрой, молнией, а теперь он горел постоянно и ярко, подобно солнечному свету. Воистину академик Петров сделал великое открытие, зажегши первый источник непрерывного электрического света! Хотя имя академика Петрова оказалось надолго забыто и разлучено с его гениальным творением, сейчас историческая истина полностью восторжествовала, и теперь оно будет жить в веках. Светозарное зерно, зароненное самобытным русским ученым, проросло такими выдающимися изобретениями нашей современности, как автоматическая сварка Патона, электрошлаковая сварка и электроимпульсный метод Корнеева. Академик Петров был первым человеком, взглянувшем на электрические явления с позиций не физика, но электротехника, при этом описав и многие другие важные технические приложения электричества. Фактически этот выдающийся исследователь положил начало электрометаллургии в дуговых печах, причем металлургии довольно изощренной даже по современным понятиям: действию электрической дуги Петров подвергал не просто окислы, а шихту из окислов металлов с углеродом (древесные угли, сало, масла – по существу, углерод, только в своеобразных формах и соединениях).

Глава 12. Русский свет

К гордости русского народа должен быть на скрижалях истории культуры отмечен тот факт, что инициатива применения электрического освещения, как вольтовой дугой, так и калильными лампами, принадлежит русским изобретателям Яблочкову и Лодыгину; поэтому малейшие подробности всей эпопеи зарождения электрического освещения должны быть дороги, интересны и отрадны каждому русскому сердцу, и наш долг перед теми, кто положил начало столь распространенному теперь электрическому освещению, показать их работы и выяснить их право на это великое открытие.

*Почтово-телеграфный журнал
№ 2, 1900 г.*

Возвращаясь к творческому наследию академика Ленца, нужно признать, что главным достижением русского ученого было открытие закона превращения энергии электрической в тепловую. Именно энергетический метод в исследовании электрических явлений и интересует нас в наследии академика Ленца. Ведь именно таким образом получили первые объяснения удивительные свойства дуги Петрова, уверенно расплавлявшей и резавшей металл. А еще профессор Ленц был автором целого ряда замечательных учебников по физике, по которым учились все выдающиеся ученые второй половины XIX века: Д. И. Менделеев, А. Г. Столетов, П. Н. Лебедев, А. С. Попов и, конечно же, выдающиеся изобретатели – электротехники А. Н. Лодыгин и П. Н. Яблочков.

Историки науки уже очень давно спорят о том, кто же самый первый изобрел столь привычную нам электрическую лампочку накаливания. Однако, так или иначе, история этого удивительного по простоте и распространенности электрического прибора тесно связана с именами ровесников, коллег, партнеров и конкурентов, знаменитых русских изобретателей Александра Николаевича Лодыгина (1847–1923) и Павла Николаевича Яблочкова (1847–1894). Ведь именно Лодыгин первым предложил использовать обязательный элемент всех современных ламп накаливания, вольфрамовую нить, и закручивать ее в виде спирали. Не менее важно, что Лодыгин первым стал создавать вокруг раскаленной нити разреженное пространство, откачивая из ламп воздух, чем и увеличил срок их службы во много раз. Еще более прогрессивным было изобретение Лодыгина, направленное на увеличение срока службы ламп – наполнение их инертным газом.

Лодыгин несколько лет работал в Париже, а в 1888 году приехал в Америку, где устроился на ламповый завод Вестингауза, о котором шла речь раньше. В 1890 году он получил патенты на лампы накаливания с молибденовой и вольфрамовой проволокой, которые приобрела компания *General Electric*. В этот период интерес Лодыгина оказался направлен на применение электричества в металлургии, он занимался вопросами промышленной электротермии.

В 1900 году уже известный ученый, предприниматель и изобретатель Лодыгин принял участие во Всемирной Парижской выставке, представив свои мощные лампы накаливания с нитями накала из тугоплавких металлов. Именно в этот период он рассказал о своих планах по развитию второго важного направления своей изобретательской деятельности, связанной с разработкой электрических печей сопротивления и мощных индукторов для плавки металлов, мелинита, стекла, закалки и отжига стальных изделий, получения фосфора, кремния. Несколько позже ему даже удалось построить завод по электрохимическому получению вольфрама, хрома и титана.

В 1907 году семья Лодыгиных после серии удачных и не очень инновационных проектов переехала в Россию. Александр Николаевич привез целую серию изобретений в чертежах и набросках. Среди схем разнообразнейших осветительных ламп здесь нашлись и новые способы приготовления сплавов, варианты электропечей,

электродвигателей, а также электроаппараты для сварки и разрезания металлов. Так удивительная электроразрядная дуга Петрова, о которой мы рассказывали в прошлой главе, впервые получила «рабочую специальность» и начала практически применяться в самых разных областях промышленного производства.

В дальнейшем Лодыгин снова расширил зону научного поиска. Он преподавал в Электротехническом институте, работал в строительном управлении Петербургской железной дороги и участвовал в разработке проектов электрификации ряда губерний. После начала Первой мировой войны Лодыгин даже начал заниматься разработкой боевого летательного аппарата вертикального взлета.

Не найдя признания и понимания своих проектов на родине, Лодыгин вернулся в Америку, где его интересы все более сосредоточивались на применении электричества в металлургии и на различных вопросах промышленной электротермии.



А. Н. Лодыгин (1847–1923).

В этот период под его руководством было построено и пущено в ход несколько заводов для производства феррохрома, ферровольфрама, ферросилиция и др. Последние годы в Америке Лодыгин занимался исключительно конструированием электрических печей. Он построил крупнейшие электропечные установки для плавки металлов, мелинита, руд, для добычи фосфора и кремния. Им были построены печи для закалки и отжига металлов, для нагрева бандажей и других процессов. Большое число усовершенствований и технических нововведений было им запатентовано в Америке и в других странах. Промышленная электротермия многим обязана Лодыгину как пионеру этой новой отрасли техники.

Рассказывая о творческой активности выдающихся русских электроинженеров и техников конца позапрошлого и начала прошлого столетий, невозможно обойти и такой непростой вопрос, как война приоритетов. Здесь, нам кажется, надо сделать несколько существенных замечаний. Разумеется, общие принципы построения электрических ламп накаливания были известны и до Лодыгина. Но именно он пробудил громадный интерес к построению источников света, действующих на принципе накаливания проводника током, у последующей плеяды выдающихся ученых. Построив серию усовершенствованных ламп, Лодыгин впервые превратил их из опытного физического прибора в практическое средство освещения, вынес ее из физического кабинета и лаборатории и показал широкие возможности применения для освещения. Он доказал преимущества применения металлической, в частности вольфрамовой, проволоки для изготовления тела накала и таким образом положил начало производству современных, гораздо более экономичных ламп накаливания, чем угольные лампы раннего периода.



П. Н. Яблочков (1847–1894).

Здесь нужно сделать еще одно отступление и напомнить, что Лодыгин подготовил почву для последующих успехов Яблочкова и, несомненно, оказал сильнейшее влияние на Эдисона и Свана, которые, пользуясь плодами трудов Лодыгина и Яблочкова, превратили этот прибор в предмет широкого коммерческого потребления. Не стоит скрывать, что заимствованию, переходящему в технический плагиат, подверглись такие конструкторские элементы, как материал и форма тел накала лампы, методика устранения продуктов сгорания, способы удаления кислорода из баллона, приемы уплотнения места вводов и пр. Сложность и важность подобных технологических вопросов подчеркивает, что и в настоящее время они являются предметом интенсивных инженерных разработок и научных исследований.

Эдисон поступил в высшей степени безнравственно, продемонстрировав неразборчивость в средствах достижения материальных благ. Зная о безуспешных попытках Лодыгина получить дорогостоящий американский патент, он не только бесцеремонно присвоил его изобретение, но и тут же начал работать над его усовершенствованием, одновременно заявляя свой приоритет для данного типа ламп накаливания.

Не менее грустна судьба открытий и другого выдающегося русского электротехника Павла Николаевича Яблочкова.

Об удивительных опытах Лодыгина по освещению улиц и помещений электрическими лампами накаливания Яблочков узнал в кружке электриков-изобретателей и любителей электротехники при московском Политехническом музее. Будучи поражен красотой технических решений своего знаменитого коллеги, он все же решил идти своим путем и заняться усовершенствованием мощных дуговых ламп. Яблочкову удалось спроектировать несколько весьма оригинальных схем прожекторов, и он открыл в Москве мастерскую физических приборов. Там он вместе с опытным электротехником Глуховым занимался усовершенствованием аккумуляторов и динамомашин, проводя опыты по освещению большого пространства мощными прожекторами. При этом основное свое внимание он уделял работам с дуговыми лампами.

В 1875 году, во время одного из многочисленных опытов по электролизу, параллельно расположенные угли, погруженные в электролитическую ванну, случайно коснулись друг друга. Тотчас

между ними вспыхнула электрическая дуга, на короткий миг залившая ярким светом стены лаборатории. Именно в эти минуты у изобретателя и возникла идея более совершенного устройства дуговой лампы без регулятора межэлектродного расстояния. Так родилась идея будущего «русского света», или свечей Яблочкова.

Не достигнув коммерческого успеха на родине, Яблочков отправился во Францию, где упорно продолжал разрабатывать дуговую лампу без регулятора. В 1876 году он завершил разработку первого варианта конструкции своей электрической свечи и получил на нее французский патент. Этот день стал исторической датой, поворотным пунктом в истории развития электроосвещения и светотехники, звездным часом русского инженера и изобретателя.

Свеча Яблочкова оказалась проще, удобнее и дешевле в эксплуатации, чем угольная лампа Лодыгина, не имела ни механизмов, ни пружин. Она представляла собой два стержня, разделенных изоляционной прокладкой, причем каждый из стержней зажимался в отдельной клемме подсвечника. На верхних концах зажигался дуговой разряд, и пламя дуги ярко светило, постепенно сжигая угли и испаряя изоляционный материал. Яблочкову пришлось очень много работать над выбором подходящего изолирующего вещества и над методами получения подходящих углей. Позднее он даже пытался менять окраску электрического света, прибавляя в испаряющуюся перегородку между углями различные минеральные соли.

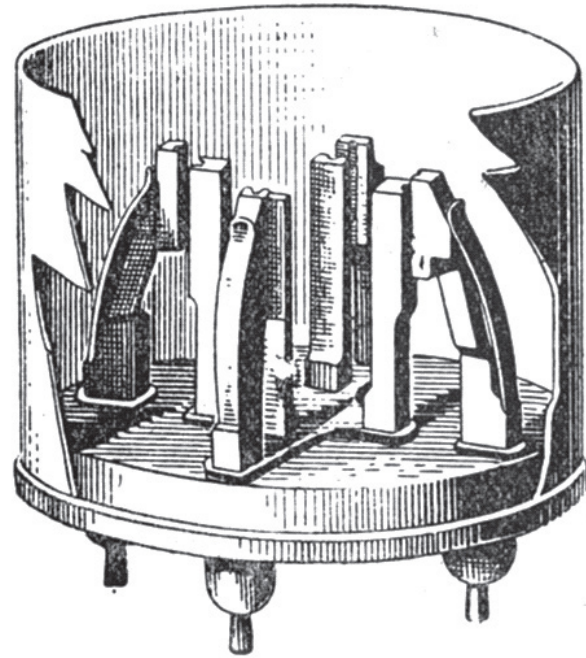
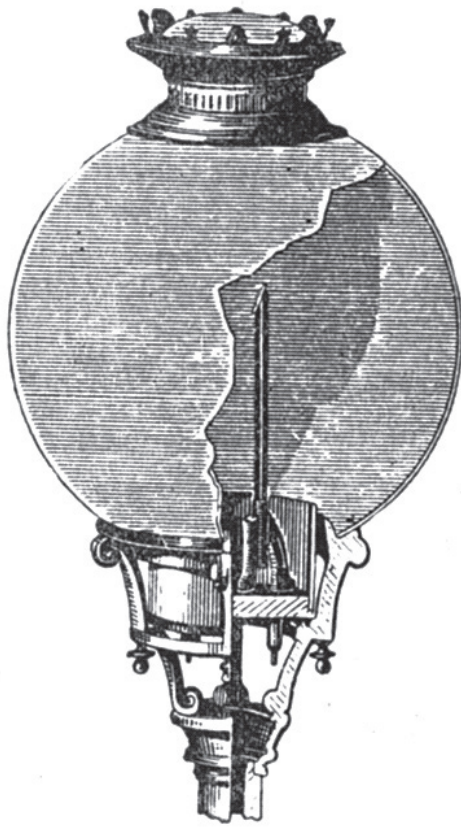
В апреле 1876 года в Лондоне Лондонская выставка физических приборов. Свою «электрическую свечу» на ней экспонировал и Яблочков. Он установил на невысоких металлических постаментах четыре устройства, обернутые в асбестовые прокладки, и подвел к ним ток от динамо-машины.

После включения напряжения обширное помещение залил очень яркий, необычный голубоватый свет, приведший в бурный восторг многочисленных посетителей выставки. Так Лондон стал местом первого публичного показа нового источника света на основе дуги Петрова. Успех свечи Яблочкова превзошел все ожидания. Мировая печать, особенно французская, английская, немецкая, пестрела заголовками: «Вы должны видеть свечу Яблочкова»; «Изобретение русского отставного военного инженера Яблочкова – новая эра в технике»; «Свет приходит к нам с севера – из России»; «Северный

свет, русский свет – чудо нашего времени»; «Россия – родина электричества»...

Свечи Яблочкова появились в продаже и начали расходиться в громадном количестве, выпускаемые несколькими предприятиями, десятками тысяч ежедневно. Каждая свеча стоила сравнительно дешево и горела около полутора часов; по истечении этого времени приходилось вставлять в фонарь новую свечу. Впоследствии были придуманы фонари с автоматической заменой свечей.

Почти одновременно с Англией свечи Яблочкова вспыхнули в Париже и Берлине. Новое электрическое освещение с исключительной быстротой появилось в Испании, Португалии, Бельгии и Швеции. В Италии им осветили развалины Колизея и центр Рима, в Греции – Фалернскую бухту, в Австрии – Центральный городской парк и площадь для гуляний. Яркие огни «русского света» вспыхнули в Сан-Франциско, Филадельфии, Рио-де-Жанейро и Мехико. Появились они в Дели, Калькутте, Мадрасе, даже короли и шахи спешили наперебой осветить «русским светом» свои дворцы.



Фонарь и держатель для свечей Яблочкова.

В октябре 1878 года свечи Яблочкова наконец-то достигли родины изобретателя. Ими были освещены казармы Кронштадтского учебного экипажа, а спустя некоторое время «русский свет» вспыхнул в Большом театре.

Ни одно из изобретений в области электротехники не получало столь быстрого и широкого распространения, как свечи Яблочкова. Это был подлинный триумф русского инженера.

В эти годы Яблочкову удалось сделать много ценных изобретений. Так, он сконструировал первый генератор переменного тока, который, в отличие от постоянного тока, обеспечивал равномерное выгорание угольных стержней в отсутствие регулятора. Он первым разработал трансформатор, преобразующий постоянный ток в переменный, для нужд производства, и впервые использовал статистические конденсаторы в цепи переменного тока. Открытия и изобретения позволили Яблочкову первому в мире создать систему «дробления»

электрического света, то есть питания большого числа свечей от одного генератора тока, основанную на применении переменного тока, трансформаторов и конденсаторов.

После возвращения из Франции Яблочков был восторженно встречен и сразу же занялся проблемой распространения электрического освещения. Однако его финансовое предприятие с течением времени потерпело крах из-за недобросовестного администрирования и сильной конкуренции со стороны массового производства усовершенствованных американских ламп накаливания Эдисона, полностью вытеснивших дуговые лампы. Все это заставило вернуться его во Францию, а не совсем удачная презентация изобретений на Международной электротехнической выставке в Париже показала, что свеча Яблочкова и его система освещения начали терять свое значение. Хотя старые изобретения Яблочкова и получили хорошие оценки, сама выставка явилась триумфом лампы накаливания. Новые «американские» лампы могли гореть до тысячи часов без замены с многократным включением и выключением, будучи намного экономичнее электрических свечей.

Трезво оценив бесплодность дальнейших попыток распространения «русского света» в качестве бытового освещения, Яблочков резко поменял направление своих исследований, целиком переключившись на создание мощного и экономичного химического источника тока. В ряде схем химических источников тока Яблочков впервые предложил для разделения катодного и анодного пространства сепараторы собственной разработки. Впоследствии такие сепараторы нашли широкое применение в конструкции свинцовых аккумуляторов.

Выдающегося русского изобретателя тоже коснулись патентные войны после того, как Эдисон получил лампу накаливания Лодыгина и свечу Яблочкова со схемой разветвленного подключения источников света. Эдисон тут же внес некоторые мелкие усовершенствования и получил на них патент как на свои изобретения. Яблочков выступил в печати против американцев, заявив, что Томас Эдисон украл у русских не только их мысли и идеи, но и их изобретения.

Видный русский ученый В. Н. Чиколев в свое время писал, что способ Эдисона далеко не нов и обновления его ничтожны. Сам же профессор Чиколев в 1869 году начал работать над применением дифференциального принципа к электрическим дуговым лампам, а в

1874 году устроил первую дифференциальную лампу. Чиголев принимал деятельное участие в трудах технического общества и явился устройтелем первой электрической выставки, прошедшей в Санкт-Петербурге в 1881 году а также редактировал первый русский электротехнический журнал «Электричество».

Глава 13. Электрический Гефест

Нечего их оплакивать – жизненные беды и Бенардоса, и Славянова. Пусть не все было гладко в жизни, не ладился быт. Разве в этом дело? Они открыли новую дорогу. Дали великолепные идеи, которые и сейчас приносят пользу. При жизни они увидели победу. Сумели понять то, что никто до них не понимал. И знали, зачем живут.

В. Патон

Мы не зря посвятили предыдущую главу трудной судьбе выдающегося инженерного открытия XIX века «русскому свету» хотя бы потому что следующего ученого из блестящей плеяды русских изобретателей – Николая Николаевича Бенардоса – можно было встретить именно в мастерских Яблочкова. Прошло почти полвека, и в 1882 году он предложил еще один способ использования дуги Петрова – дуговую электрическую сварку металлов, на которую и получил через два года патент.

К открытию идеи электросварки Бенардос пришел уже состоявшимся опытным изобретателем, автором свыше ста самых оригинальных инноваций в самых различных областях, причем многие его идеи не потеряли своего значения и в последующие десятилетия. Диапазон деятельности самодеятельного изобретателя поражает воображение: железные бороны и углубители почвы, скороварки и молотильные машины, паровые ножницы и пневматические гидранты, пароходные колеса с поворотными лопастями и непотопляемые катера, замки и краны, гидроэлектрические турбины и спасательные катапульты, электрические летательные аппараты и металло- и деревообрабатывающее оборудование, пневматические тормоза и ветродвигатели.

Тем не менее в мастерские Яблочкова Бенардоса привело полное финансовое фиаско с постройкой первого колесного парохода, оборудованного поворотными лопастями. Необычное изобретение успешно выдержало все ходовые испытания, но на достройку судна средств не хватило, и оригинальное изобретение, которое стоило стольких конструкторских и материальных усилий, было продано на слом. Так Бенардос очутился в мастерских своего выдающегося коллеги в поисках изобретательского счастья.

Обосновавшись в Санкт-Петербурге, Бенардос с удвоенной энергией занялся новыми для себя электротехническими разработками. Здесь он и сделал свое самое важное изобретение, принесшее ему бессмертие и мировую славу. Лодыгин, Яблочков, а теперь и Бенардос, сколько замечательнейших умов отдали дань удивительной гальванической дуге Петрова! Однако, хотя инженер Бенардос и работал в мастерских Яблочкова, но к дуге у него образовался особый подход, ведь сам по себе свет дуги его не интересовал, ему даже мешали ее ослепительные лучи. Он глядел на дугу сквозь черные, покрытые сажей многослойные стекла, – так астрономы после трагедии ослепления Галилея предохраняли зрение при прямом наблюдении нашего дневного светила, к примеру, при его полном затмении.



Н. Н. Бенардос (1842–1905).

Я подарил миру доподлинно новую технику, отличную от всего того, что было известно людям с тех времен, когда в Древней Греции верили в Гефеста – бога огня и покровителя искусства и ремесел, основанных на использовании огня.

Н. Н. Бенардос

Читатель, не пожалейте усилий и когда-нибудь обязательно взгляните через щиток сварщика на бессмертное открытие русского естествоиспытателя Петрова! Там, среди угольной черноты, бьется в узком ореоле света живой огонь сварки, разбрасывая искры раскаленных капель металла, который плавится, пузырится и оплывает в точном соответствии с теорией преобразования электромагнитной энергии профессора Ленца.

К 1882 году изобретателю удалось свести воедино все свои соображения о проектируемом способе электродуговой сварки. Ход мыслей Николая Николаевича мог быть следующим: «Тепло гальванической дуги столь высоко, что в свече Яблочкова плавятся практически все известные материалы, включая огнеупорную изоляцию и, конечно же, самые разные металлы и сплавы. Следовательно, с ее помощью успешно проводить плавку и переплавку чугуна, железа и стали!»

Удивительные перспективы возникали при такой необычной эксплуатации столь привычного изделия мастерских Яблочкова. Получалось, что в стержне свечи Яблочкова скрывалась самая настоящая гигантская башня плавильной печи с вагранкой. Проницательный ум выдающегося изобретателя сразу же оценил два стратегических пути дальнейших разработок: электросварка и электрометаллургия. Разумеется, первое направление технологически проще, и именно на него направил все свое внимание Бенардос. Здесь надо вспомнить, какой необычный вид имели столь грандиозные металлические конструкции XIX века, как, например, Эйфелева башня: их несущие ребра и балки были пронизаны миллионами гигантских заклепок, утяжелявших и разупрочнявших критические узлы. Еще более проблематичным был текущий ремонт трещин, сколов и раковин в металлических деталях. И если грандиозные мостостроительные проекты в силу определенного консерватизма и

трудности организации широкомасштабных сварочных работ еще долгое время использовали заклепочные соединения, то на металлоремонтных заводах электросварка сразу же нашла свое место.

Конечно же, сначала Николаю Николаевичу пришлось существенно рационализировать «сварочный вариант свечи Яблочкова». Прежде всего это касалось расположения электродов, и после долгих раздумий изобретатель решил жечь дугу между угольными стержнями и вводить в нее со стороны железный пруток, направляя расплавленный металл в нужное место. Тут сразу же выяснилось, что такая схема работы громоздка и неудобна, ведь получалось, что обе руки держат угли, а вводить металл в пламя должен уже помощник сварщика.

Вот тут Бенардос и нашел блестящее техническое решение, оставив только один электрод, а второй подключив прямо к тому железному телу, над которым ведется операция: дуга вспыхнет между ним и оставшимся угольком. Этот уголь и надо держать в руке, а другой рукой вводить в дугу железный пруток. И пруток расплавится, потечет, как сургуч, наплавляя раковины и трещины железного тела. Если же жечь дугу без наплавляемого металла, то дуга начнет глубоко разрезать железное тело, а это уже способ электрометаллорезания. Так Николай Николаевич предложил производить сварку, помещая свариваемые предметы на металлическую «наковальню», соединенную с одним из полюсов источника электричества. Металл расплавлялся дугой, горящей между угольным электродом, закрепленным в специальном держателе, и изделием, подключенным к полюсам источника тока. При этом между генератором и дугой помещалась особая батарея аккумуляторов. Генератор работал непрерывно, заряжая аккумуляторы, поэтому в момент возбуждения дуги между электродом и металлом энергия подавалась в дугу в большом количестве. Способ Бенардоса помимо сварки годился и для электрической резки металлов и был назван им «электрогефест» в честь греческого мифического бога-ремесленника и кузнеца Гефеста.

Несмотря на то что постоянно возникали проблемы с быстрым истощением источника питания, через три года в результате напряженных исследований изобретателю удалось полностью, в деталях, разработать технологию сварки стали и чугуна. Он сконструировал аппаратуру для сварки и, успешно проведя несколько испытаний, обратился в Департамент торговли и мануфактур России с

прошением о выдаче ему привилегии на «Способ прочного скрепления металлических частей и их разъединения непосредственным воздействием электрического тока». Для начала на этот процесс он получил патенты во Франции, Бельгии, Великобритании, Германии и Швеции, а несколько позже – в Италии, США, Австро-Венгрии и Дании. Российская привилегия из-за волокиты и бюрократизма патентных поверенных была выдана в самую последнюю очередь.

Совершенствуя свою идею, изобретатель в дальнейшем разработал не только сварку при помощи угольного электрода, но и все известные теперь способы электрической дуговой сварки. Он предложил применение дуговой сварки и резки металлов не только в обычных условиях на открытом воздухе, но и в струе газа и даже под водой. Дальше Бенардос разработал «сварку косвенно действующей дугой, горящей между двумя или несколькими электродами», придумал «магнитное управление сварочной дугой», получившее впоследствии широкое применение во всех сварочных автоматах. Бенардосу же принадлежит изобретение некоторых систем автоматов для сварки угольными и металлическими электродами самых разнообразных форм.

Николай Николаевич позаботился о том, чтобы обеспечить широкое промышленное использование своего изобретения. Поэтому он обратил особое внимание на источник электрической энергии и создал новый тип аккумуляторов для питания электрической дуги. В 1890 году характеризуя свой аккумулятор, Бенардос писал, что он «служит с большим успехом при пользовании самыми сильными токами и есть единственный аккумулятор, вполне годный для способа электрогефест».

Бенардос соединил один полюс сильной гальванической батареи Петрова с угольным электродом, прикрепив к другому свариваемые металлические элементы. Затем изобретатель помещал электрод в специальный изолированный держатель и подносил его к металлу. В тот же момент между углем и металлом вспыхивала яркая электрическая дуга Петрова. В ее пламя Бенардос помещал конец металлического стержня, плавящегося в пламени дуги и заливающего жидким металлом края свариваемых листов. После остывания металлические детали прочно соединялись с помощью затвердевшего шва из наплавленного металла.

Способ соединения металлических конструкций с помощью дуги Петрова, предложенный Бенардосом, довольно быстро получил известность. Электрическую сварку начали применять на русских железных дорогах для ремонта рельсов и подвижного состава, затем она нашла свое место в судостроении и машиностроении. Электросварка Бенардоса нашла применение в русской промышленности уже в конце 80-х годов XIX века в мастерских Орловско-Витебской железной дороги для ремонта паровозных колес и рам. Тогда же российское изобретение стало известным во всем мире и получило промышленное применение для десятков разных технологических операций. Это заварка пустот, раковин, пузырей и отверстий в металлических изделиях, заварка треснувших металлических предметов, например паровозных рам. Это и сварка сломанных деталей и частей сосудов, резервуаров, и дуговая резка металла, дуговое сверление, дуговая плавка и многое другое.

Необычный, но удачный рекламный ход для популяризации своих достижений предпринял Бенардос, предложив восстановить кремлевский Царь-колокол с помощью электросварки.

Около полутора столетия назад литейный мастер Иван Маторин с сыном отлили исполинский колокол под двести тонн. Но внезапный пожар охватил деревянные конструкции над ямой. Колокол раскалился докрасна и, когда не него попала струя воды, треснул, а от его края отвалился большой осколок. С той поры он служит историческим памятником во внутреннем дворе Московского Кремля, возвышаясь на каменном основании, как большой бронзовый шатер, и чернеет в его боку пробоина, широкая, как ворота. Исполинский осколок стоит рядом, прислоненный к подножию. За полутора столетнюю историю возникали не раз всяческие, по большей части фантастические, проекты реставрации удивительного произведения русских мастеровых умельцев, но только теперь возникла более-менее реальная возможность поправить колокол, приварив к нему осколок «электрогефестом». Все, кто бывал на экскурсии в Кремле, знают конец этой истории: колокол все так же служит историческим памятником в первозданном виде. Это, конечно же, не означает, что с помощью «электрогефеста» Бенардоса его нельзя было исправить, просто общественность и политики разделились во мнении о целесообразности подобной операции. Во всяком случае, именно

после истории с Царь-колоколом имя изобретателя приобрело самую широкую популярность.

Разработки Бенардоса получили всеобщее признание в России и за рубежом, откуда специально приезжали в Петербург специалисты, чтобы поучиться сварке с помощью «электрогефеста». К середине 90-х годов XIX века новый технологический процесс был внедрен более чем на ста заводах Западной Европы и в США, электросварку начали применять не только для вспомогательных ремонтных работ, но и как основной технологический процесс производства новых металлических изделий.

Здесь надо отметить, что для практического использования изобретения Бенардос детально разработал самые различные технические приспособления и отдельные технологические приемы. Приведем лишь некоторые из них: разработаны основные типы сварных соединений, применяемые и в настоящее время; применен скос кромок при сварке металлов значительных толщин; предложена отбортовка кромок при сварке тонких листов; определена необходимость создания зазора между свариваемыми частями, величина которого зависит от толщины соединяемых изделий; применены флюсы при сварке сталей и меди; предложены трубчатые электроды; создана серия электрододержателей для дуговой сварки; предложено приспособление для сварки листов вертикальным швом с его принудительным формированием, устройство для сварки косвенной дугой; разработан способ изготовления спиральношовных труб, система питания, включающая генератор постоянного тока и параллельно присоединенную батарею электрических аккумуляторов, установка для дуговой сварки с автоматическим регулированием дуги.

К сожалению, в конце своей жизни выдающийся изобретатель Бенардос повторил судьбу большинства своих предшественников. Его предприятие «Электрогефест» постиг полный финансовый крах, а сам он тяжело отравился соединениями свинца при конструировании новых аккумуляторов...

Вклад Н. Н. Бенардоса в создание сварочной техники и технологии трудно переоценить. К примеру, на самом пике изобретательской деятельности в области сварки, его экспозиция на Всероссийской электротехнической выставке в 1892 году включала чертежи и модели

нескольких десятков различных приборов, а также более сотни образцов различных видов сварных соединений из разных металлов.

О работах Бенардоса прослышал в далекой Перми горный начальник пушечного завода Николай Гаврилович Славянов. Он построил динамо-машину собственной конструкции и принялся повторять опыты. И закружился вокруг Славянова тот же самый хоровод неудач. Сварные швы получались ломкими и хрупкими, они отскакивали от металла, как горелые корки от хлеба. Но Славянов был блестящим инженером-металлургом, точное знание удваивало его силы. И он разоблачил затаенного врага Бенардоса – это был угольный стержень. С него в железо переходил углерод, и металл становился хрупким. Электрическая дуга, полыхавшая на тугоплавком угольном стержне, была слишком жаркой, она пережигала металл. Благодетельный жар, многократно умножавший яркость дуговых электрических ламп, здесь оказывался вредным. Вся беда заключалась в том, что «электрогефест», родившись из лампы, наполовину еще оставался лампой. Это сумел разглядеть Славянов острым глазом инженера-металлурга.

Обладая глубокими знаниями по металлургии и электротехнике, Славянов разработал способ дуговой сварки металлическим плавящимся электродом с защитой сварочной ванны флюсом и первый в мире механизм для полуавтоматической подачи электродного прутка в зону сварки – «электроплавильник».

Гениально просто расправился Славянов с отравителем металла. Он выбросил угольный стержень, а освободившийся электрический провод прикрутил к железному стержню, который Бенардос вводил в дугу. Дуга вспыхнула прямо между стержнем и металлом. Она была не жаркой. Стержень плыл каплями, и они вливались в лужицу подтаявшего металла. Железо застывало прочным швом. На своем заводе Славянов открыл цех, в котором стал сваривать и наваривать разнообразнейшие части машин и механизмов, которые стали везти ему из всех уголков Российской империи. Так, из далекой Новгородской губернии на барже по Волге и по Каме привезли разбитый пятитонный колокол, в котором Славянов заварил все трещины и приварил отбитые куски. Колокол тут же опробовали, и он чистым, уже не дребезжащим тоном возвестил о победе русской науки.

С легкой руки Яблочкова постоянный ток в электропроводке заменили переменным током. Однако переменный ток, пришедшийся к месту в большинстве электрических машин, был неудобен для электросварки – электрическая дуга горела неустойчиво. Еще Яблочков заметил, что обмазка на его свече повышает устойчивость дуги. Забытая идея Яблочкова подсказала изобретателям дорогу, и железный электрод стали делать также в обмазке почти того же химического состава, что и обмазка свечи. Обмазка плавилась вместе с электродом, ее пары наэлектризовывали воздушный промежуток, и дуге было легче проскакивать через него.

Сварка сталей, содержащих легирующие элементы и примеси, с использованием угольных электродов, не всегда получалась удачной из-за попадания в шов оксидных включений, увеличения концентрации серы и фосфора, выгорания легирующих элементов. Это приводило к тому, что металл шва становился хрупким. Ввиду значительных размеров ванны сварка выполнялась только в нижнем положении.

При сварке по методу Славянова дуга плавит одновременно металл изделия, металл электрода и сварочный флюс, образуя общую сварочную ванну из жидкого металла, покрытого жидким шлаком, который надежно защищал металл от воздействия окружающей среды. При этом способе сварки коэффициент полезного использования дуги значительно возрастает.

Замена угольного электрода металлическим позволила исключить науглероживание металла, что также повысило качество сварных соединений. Славянов также отказался от громоздкой аккумуляторной батареи Бенардоса, разработав специальную динамо-машину и таким образом создав первый в мире сварочный генератор. Он также нашел инновационное решение для подогрева металла перед сваркой для уменьшения скорости охлаждения.



Н. Г. Славянов (1854–1897).

Первая публичная демонстрация нового способа состоялась в ноябре 1888 года на пермских казенных пушечных заводах, а уже в 1891 году Славянову был выдан российский патент – привилегия на изобретенный метод электрической отливки металлов. Известность Славянова и изобретенного им способа быстро возрастала. Помимо патента в России он получил авторские свидетельства во Франции, Германии, Италии, Австро-Венгрии, Бельгии, США, Швеции. Разработки Славянова позволили выполнять сварочные работы на новом качественном уровне, что было по достоинству оценено современниками. Практически одновременно с дуговой сваркой родился еще один вид электросварки – контактная.

Однажды Славянов узнал, что в некоторых газетах западных стран высказывалось мнение о невозможности применения его способа для сварки цветных металлов. И вот посетители Всемирной выставки в Чикаго в 1893 году увидели удивительный экспонат из России – металлический двенадцатигранный стакан высотой 210 мм. Николай Гаврилович наварил на сталь один за другим электроды из бронзы, никеля, стали, чугуна, меди, особой колокольной бронзы, томпака, нейзильбера. Сделанный из этой многослойной заготовки пятикилограммовый столп представлял сразу всю гамму технических металлов того времени. Почетный диплом и золотая медаль «За дуговую сварку» были достойной оценкой изобретения. «Сэндвич Славянова» долгие годы оставался непокоренной вершиной сварочного искусства.

В 90-х годах XIX века дуговая сварка начала успешно применяться не только в России, но и за рубежом. Во всем мире электрофизики и инженеры-металловеды пытаются использовать тепло вольтовой дуги Петрова для различных технологических процессов. Крупным успехом стала разработка электротермического способа получения алюминия из его окислов. Суть его состояла в том, что все пространство между двумя угольными электродами заполнялось определенной смесью, имеющей плохую электрическую проводимость и расплавляющуюся после подачи тока. Был также изобретен способ сварки двух металлических стержней, играющих роль электродов. При их соприкосновении происходил локальный нагрев кромок до их плавления, после чего к стержням прикладывалось давление.

Попытки создать индустриальный метод дуговой сварки практически одновременно предприняли немецкий электротехник Ценерер и будущий основатель фирмы *General Electric* Коффин. В разработанном ими процессе, названном электрической паяльной трубкой, дуга возбуждалась между угольными электродами, а затем с помощью магнита отклонялась в сторону свариваемого металла. В этом случае применялась дуга косвенного действия. Техника этого процесса была очень сложна.

Мы уже рассказывали, что еще Ломоносов и Рихман обратили внимание на то, что после удара молнии в их «громовые машины» накрученные металлические контакты сплавлялись со стержнями-молниеприемниками. Впоследствии русский физик Ленц также описывал, что скрученные концы проволок, через которые протекает электрический ток, раскаляются и сплавляются между собой. Но новые способы получения соединений его не интересовали, и лишь через десять лет тепловая энергия электротока была специально применена англичанином Уайльдом для сварки металлических брусков небольшого сечения. Впоследствии он даже получил патент на способ соединения с помощью электричества и сдавливания.

Одним из изобретателей стыковой контактной сварки был английский физик Кельвин – основоположник термодинамики, автор понятия абсолютной температуры и шкалы его имени, а также инициатор и руководитель грандиозной эпопеи по прокладке телеграфного кабеля между Англией и США по дну Атлантики. Однако слава первооткрывателя здесь закрепилась за американским изобретателем Э. Томсоном. В середине 80-х годов XIX столетия им были созданы необходимые для контактной сварки элементы оборудования: коммутирующая аппаратура, динамо-машина для генерирования переменного тока, мощный трансформатор, специальные клещи-тиски для зажима свариваемых заготовок. В дальнейшем он разработал оптимальную технологию сварки, на которую вместе со сварочной аппаратурой получил множество патентов.

Поскольку кроме нагрева применялось и механическое сдавливание, первоначально способ называли «электрической ковкой» или «безогненным методом сварки».

Одной из проблем в конце позапрошлого века было соединение телеграфных проводов. Она была решена с помощью стыковой контактной сварки. Именно для этих целей было разработано первое устройство, выполняющее нагрев и сжатие двух проводов. Оно состояло из двух рычагов, на одном конце соединенных шарниром из изоляционного материала, а с другого конца связанных пружиной через изоляционные втулки. В этих рычагах посередине зажимались свариваемые детали. Томсон сконструировал установку, в которой ток прерывался синхронно с прикладываемым усилием сжатия. Для развития больших усилий сжатия изобретатель разработал аппарат с гидравлической системой.

Следующим шагом в развитии стыковой контактной сварки было применение импульсов тока и давления. По мере расширения сферы применения стыковой сварки совершенствовалась ее технология и разрабатывались новые схемы нагрева с промежуточной угольной пластиной-электродом, подключаемой к вторичной обмотке трансформатора и вставляемой на время разогрева между стыкуемыми деталями. В других устройствах между свариваемыми деталями помещали металлическую пластину с большим удельным электросопротивлением. При пропускании тока через детали такая схема ускоряла нагрев, а непосредственно перед сжатием вставку удаляли.

Глава 14. Электросварочный трактор

И вот наступил ясный морозный день, один из первых дней января 1942 года, когда из ворот сборочного цеха, поднимая тучи снежной пыли, вылетел мощный красавец танк и с рокотом промчался по заводской дороге. С момента прибытия украинского завода до рождения этой боевой машины прошло менее двух месяцев! Люди стояли вдоль заводской дороги и не закрывали лиц от снега, вылетавшего из-под гусениц танка, созданного их трудом. Вместе с ними улыбался и я, думая о том, какая воистину стальная воля и какая блестящая организация дела нужны, чтобы в таких масштабах и в такие сроки перебазировать на восток сотни заводов и так быстро, сказочно быстро, ввести их в строй! И в том, что наш институт в дни испытаний сохранил себя как цельный, жизнеспособный и деятельный организм и нашел свое место в общем строю, я видел еще один штрих величественной эпопеи – эпопеи превращения страны в единый боевой лагерь.

А. Томилин.

В годы Великой Отечественной войны ученые и инженеры поставили электрическую дугу на защиту Родины. Не церковные колокола, как полвека назад, а броневые купола и танковые башни варила дуга Василия Петрова. Не ударам колокольного языка должны были сопротивляться сваренные швы, а ударам осколков, пуль и

снарядов противотанковых пушек. К прочности сварки предъявлялись небывалые требования. И тут выяснилось, что окружающий воздух охрупчивает и разрушает сварные швы в процессе поглощения кислорода и азота расплавленным металлом. Изобретатели стали думать над тем, как оградить место сварки от доступа воздуха. Другая забота – резко повысить скорость сварки. «Больше танков!» – требовал фронт. На заводах всех стран мира сварка танков велась вручную, и это было так же безнадежно, как шитье гимнастеров ручной иглой. В научно-исследовательских институтах и лабораториях развернулось сражение за прочность и скорость сварки. И сражение это выиграл полководец научного фронта Евгений Оскарович Патон.

Коренной переворот в области сварки металлов произвел способ автоматической дуговой сварки под слоем специального вещества – флюса. Этот способ был создан в конце тридцатых годов прошлого века группой ученых и инженеров под руководством академика Патона. При автоматическом способе электросварки основные операции производятся специальным механизмом – сварочной головкой, которая движется по свариваемому изделию. При этом сила тока может превышать 3 тыс. А, а окружающий дугу флюс препятствует рассеиванию тепла. Поэтому плавление основного металла и электродной проволоки происходит во много раз быстрее, чем при сварке ручным способом, а качество шва повышается.

Колыбелью автоматических и иных инновационных методов сварки является созданный академиком Патоном на базе Электросварочной лаборатории и Электросварочного комитета Институт электросварки АН УССР. В основу работы института был положен принцип сочетания научно-исследовательских и инженерно-прикладных задач, что позволяло в кратчайшие сроки решать проблемы народно-хозяйственного применения сварки. Впервые в мире коллектив ученых под руководством Патона разработал комплексную программу развития сварочного производства. Уже первыми работами в области прочности и надежности неразъемных соединений металлов ими была теоретически и экспериментально доказана высокая техническая и экономическая эффективность замены клепаных металлоконструкций сварными. Это имело основополагающее значение для широкого внедрения технологии сварки в промышленное производство. В эти же годы сформировалось научное представление о дуговой сварке как о

металлургическом процессе, и под руководством Патона были развернуты исследования по ее автоматизации. В конце тридцатых – начале сороковых годов прошлого столетия в институте было завершено создание высокопроизводительной дуговой автоматической сварки под флюсом, и уже в конце 1940 года было принято правительственное постановление о внедрении новой технологии на двадцати заводах для производства вагонов, котлов, мостовых балок и других ответственных конструкций.

В начале Великой Отечественной войны Институт электросварки по предложению Патона был эвакуирован на Урал, в Нижний Тагил, и размещен на Уралвагонзаводе. Здесь уже была внедрена автоматическая сварка в производстве грузовых вагонов из конструкционных низкоуглеродистых сталей. Однако технология дуговой автоматической сварки высокопрочных легированных броневых сталей, из которых в основном изготавливалась военная техника, не была еще детально разработана нигде в мире.

Многие сотрудники Института электросварки ушли на фронт, и Патон хорошо понимал, что предстоит малыми силами в условиях эвакуации и трудностей военного времени решить сложную проблему использования автоматической сварки для увеличения выпуска танков, авиабомб и артиллерии. Вместе с тем эта грандиозная задача воодушевляла ученого и коллектив его единомышленников. Для научных сотрудников института лабораториями стали цеха и участки завода. Вскоре на Уралвагонзаводе был размещен и эвакуированный из Харькова танковый завод имени Коминтерна, на котором сотрудники института стали внедрять первые образцы специального оборудования и новую технологию.

На фундаментах еще устанавливали и монтировали оборудование, а тем временем под открытым небом, в лютые морозы рабочие и инженеры собирали узлы первых уральских танков. Прямо с платформ здесь разгружали броневые плиты и тут же их резали, обрабатывали и сваривали.

Работа на новом месте началась с создания собственной производственной базы для изготовления сварочных головок, электрической и флюсовой аппаратуры. Проектное бюро института занялось проектированием установок для автоматической сварки корпусов тяжелых танков КВ, средних Т-34 и легких Т-60 и Т-70.

Специалисты Института электросварки впервые в мире решили сложнейшие научные и технические задачи, связанные с автоматической сваркой брони, разработали совершенную технологию и необходимое оборудование. До конца 1941 года были смонтированы и пущены в эксплуатацию девять автоматических установок для сварки отдельных узлов танков, разработан технологический процесс, смонтированы и пущены установки для скоростной сварки авиабомб, подготовлены сварщики, работающие на автоматах, и мастера-наладчики. В январе 1942 года на двух установках для автоматической сварки началась сварка бортов корпуса Т-34. Корпус этого танка требовал большого объема сварочных работ. Днище и подкрылок приваривались к борту двумя мощными швами длиной более пяти метров. На эту работу квалифицированный сварщик затрачивал почти сутки общего времени, сварочный же автомат, управляемый учеником-подростком, мог выполнить эту работу за пару часов.

Вблизи города на полигоне производились испытания корпуса танка. На одном из его бортов швы были сварены по-старому вручную, на другом – автоматом под флюсом, так же как и все швы на носовой части. Танк подвергся жестокому обстрелу из орудий с весьма короткой дистанции бронебойными и фугасными снарядами. Первые же попадания снарядов в борт, сваренный вручную, вызвали солидные разрушения шва. После этого танк повернули, и под огонь попал второй борт, сваренный автоматом. Стрельба велась прямой наводкой с ничтожного расстояния. Но швы выдержали, не поддались, не разрушились. Они оказались крепче самой брони и продолжали прочно соединять изуродованные обстрелом броневые плиты. Также блестяще выдержали проверку огнем швы на носовой части, ни один из них не сдал под шквальным обстрелом. Двенадцать попаданий привели к образованию пробоин, но сварные швы не потерпели никакого ущерба.

Это была полная победа автоматической скоростной сварки! Испытание в условиях, равных самой трудной фронтовой обстановке, подтвердило высокое качество работы автоматов.

В 1942 году Институт электросварки разработал для заводов наркомата танковой промышленности и наркомата боеприпасов два десятка проектов установок для автоматической сварки танковых корпусов и около десяти для сварки авиационных бомб и боеприпасов.

Применение автоматической сварки под флюсом для изготовления танков сразу же показало исключительные преимущества этого способа. Производительность труда на сварке узлов танков в среднем повысилась более чем в пять раз.

По инициативе Патона на заводе в Нижнем Тагиле была введена в действие первая в мире поточная линия производства бронекорпусов танков, на которой действовало двадцать установок для автоматической сварки под флюсом. Это позволило высвободить несколько сотен высококвалифицированных сварщиков, которых заменили несколькими десятками неквалифицированных рабочих. Кроме работы по автоматической сварке сотрудники института наладили контроль качества электродов и сварки; решили ряд важнейших проблем газовой сварки и резки; предложили ускоренные методы подготовки сварщиков; разработали сопла с коническим каналом, позволившие резко повысить производительность при одновременном снижении расхода кислорода и повышении качества...

Были исследованы процессы, происходящие в мощной сварочной дуге, горящей под флюсом, разработаны новые сварочные флюсы и найдено местное сырье для их массового изготовления. Открытие явления саморегулирования дуги легло в основу новых упрощенных и надежных сварочных головок с постоянной скоростью подачи электродной проволоки. Широко проводилось изыскание способов многодуговой и многоэлектродной автоматической сварки под флюсом. Была разработана технология полуавтоматической сварки под флюсом и созданы первые сварочные полуавтоматы.

Разделение труда было таким: институт проектировал станки, давал сварочную и флюсовую аппаратуру проводил электромонтаж и пуск станков. Мастерская института к тому времени уже приобрела солидный и современный вид. Отдел готовил несущие конструкции, приспособления и кондукторы. Инструкторов теперь не хватало, и Патон снова пересмотрел личный состав института и перевел в цех всех, кто подходил по своим знаниям, складу характера, умению работать не только головой, но и руками.

Евгений Оскарович лично участвовал в монтаже и освоении каждой сварочной установки и следил за ними до тех пор, пока не изживались все трудности пускового периода. Работы Института электросварки сыграли важную роль в обеспечении армии достаточным количеством

боевых первоклассных машин – прославленных танков Т-34, самоходных артиллерийских установок и боеприпасов. Во второй половине 1942 года советская промышленность уже выпускала танков больше, чем промышленность Германии. В мае 1942 года советское правительство наградило Патона орденом Красной Звезды за внедрение скоростной автоматической сварки на танковых заводах страны. Это была высокая оценка работы не только Е. О. Патона, но и всего коллектива института, которым он руководил.

Со многих заводов в адрес Института электросварки поступали письма с просьбой прислать инструктивный материал, помочь в приобретении аппаратуры и в налаживании сварочного производства. Патон основательно переработал свою книгу «Скоростная автоматическая сварка под слоем флюса», которая вышла в свет в 1942 году третьим изданием. Эта книга стала пособием по внедрению скоростной автоматической сварки под флюсом на предприятиях страны. Кроме того, на заводы были посланы подробные инструкции. Для помощи оборонной промышленности во внедрении автоматической сварки под флюсом на заводы Челябинска, Свердловска, Сталинграда, Омска, Горького и других городов были направлены все сотрудники института, которые могли работать инструкторами. К концу 1942 года на танковых, минометных, артиллерийских заводах уже работало около 40 установок для автоматической сварки. Сотрудники Института электросварки внедрили сварку под флюсом в производство корпусов тяжелых танков ИС и САУ на Челябинском тракторном заводе, где были размещены эвакуированные Ленинградский завод имени Кирова и Харьковский дизельный завод. Этот комплекс стал крупнейшим предприятием по выпуску тяжелых танков. Широкое применение получила сварка в военное время на Уралмашзаводе в Свердловске.

В 1943 году Институт электросварки продолжал оказывать помощь военным заводам страны в деле освоения скоростной автоматической сварки под флюсом. В этом году только на заводах Наркомата танковой промышленности уже работало 50 автосварочных установок. С помощью скоростной автоматической сварки было организовано поточное производство фугасных авиабомб, реактивных снарядов для «катюш» и других видов вооружения и боеприпасов.

Ни в одной стране, кроме Советского Союза, автоматическая сварка под флюсом броневых сталей не была еще разработана, и лишь в последние месяцы войны по примеру СССР в США начали осваивать сварку под флюсом при постройке бронекорпусов танков и самоходных артиллерийских установок. В Германии автоматическая сварка танков так и не была создана до конца войны.

Применение автоматической сварки в оборонной промышленности дало исключительно большой эффект – позволило резко увеличить выпуск боевых машин, боеприпасов и вооружения высокого качества для армии. Только на базовом танковом заводе ИЭС с помощью автоматов для сварки под флюсом было выполнено 2400 км швов.

В июне 1944 года институт возвратился в Киев, где началось восстановление его научной и лабораторной базы. В ознаменование 75-летия со дня рождения Евгения Оскаровича Патона институту было присвоено его имя.

Послевоенный период характеризовался углублением и расширением теоретических и экспериментальных работ по изучению свариваемости различных классов сталей, по оценке прочности сварных соединений и конструкций, а также по разработке новых систем флюсов, проволок и сварочной аппаратуры. Еще на Урале Патон начал переориентировать работу коллектива на решение задач по восстановлению разрушенного войной народного хозяйства временно оккупированных районов.

В 1946–1953 годах Е. О. Патон комплексно разрабатывал проблемы сварного мостостроения, возглавлял работы по проектированию и изготовлению первых цельносварных мостов, в которых широко применялась автоматическая сварка. В 1946 году Совет министров СССР принял развернутое постановление с широкой программой применения сварки в строительстве мостов. Патон возглавил исследовательские, проектные, заводские и монтажные работы, связанные с постройкой крупнейшего в мире цельносварного шоссейного моста через Днепр в Киеве. Пятого ноября 1953 года состоялось торжественное его открытие.

Патон придумал машину, обгоняющую электроды Славянова и Бенардоса настолько же, насколько швейная машина обогнала иглу швеи. Электросварочная машина Патона и впрямь похожа на швейную. Слово нитка в швейной машине, непрерывно подается

проволочный электрод. На конце у «нитки» иголки нет. Вместо нее пылает дуга Василия Петрова. Но самой дуги не видно. Она скрыта под слоем флюса – порошка особого состава, сыплющегося из маленького бункера наверху.

Замечательный способ сварки под слоем флюса придумал советский изобретатель Д. А. Дульчевский. Флюс плавится в дуге и застывает каменной коркой шлака, защищая шов от доступа воздуха. Флюс, как теплым одеялом, укутывает дугу, и от этого ее зной возрастает и расходуется почти целиком на плавление металла: капли жидкого металла брызжут с проволоки дробной струей. Жар не пережигает металл: покрытие из флюса не пускает ко шву кислород. Головка машины резов двигается вдоль стыка броневых плит. Когда вслед за ней сбивали зубилом корку шлака, то под коркой открывался блестящий, как ртутный ручей, гладкий и прочный шов.

...Кончилась война, мечи перековывали на плуги. На решение задач мирного строительства обратилась и автоматическая электросварка. Новым автоматическим электросварочным машинам было дано необычное, но очень символичное имя: электросварочный трактор. Этот трактор передвигается по строительным конструкциям на колесиках, а за ним стелется сварочный шов, словно мирная борозда. Электрическая дуга совершает ныне тысячу мирных дел. Она бушует в металлургических печах, варит сталь... И кто знает, каким еще новым чудом она обернется?

Глава 15. Обыкновенное электрическое чудо

Работающему научному сотруднику чрезвычайно сложно, а скорее всего просто не под силу предсказать то, какой будет целая область науки в следующем столетии. Это сподручнее сделать писателям-фантастам... Научный же работник обременен грузом реальных и конкретных знаний, которые не позволяют ему делать очень смелые предсказания. Хотя в свое время Альберт Эйнштейн разъяснил, как делаются крупные открытия. Он сказал, что подавляющее большинство людей знает, что это невозможно. Затем находится один человек, который не знает, – вот он и делает открытие.

Ж. Алферов

В предыдущих главах мы познакомились с величественными и во многом загадочными явлениями природы, связанными в основном с атмосферным электричеством, стратосферной плазмой и космической радиацией. Однако чудеса, которые можно увидеть в лабораториях ученых, не менее поразительны. Это и удивительное явление сверхпроводимости, и тайны создания новых металлов и сплавов, и секреты обыкновенной воды. Во всех этих «чудесах» автору посчастливилось принимать самое непосредственное участие, и обо всем этом пойдет речь дальше.

Мир устроен так, что неживая природа стремится организовать себя в форме кристаллов. Структура кристалла с периодическим повторением атомов столь же однообразна, как проспекты

многоэтажек в новых микрорайонах. Но на деле в природе все в какой-то степени несовершенно, и реальные кристаллические соединения имеют куда более сложную структуру, чем учебные идеализированные кристаллы. Это особенно очевидно на примере высокотемпературных сверхпроводников и родственных им материалов.

Даже далекие от науки слышали о сверхпроводимости. Суть этого явления заключается в том, что у некоторых материалов при достаточно низких температурах отсутствует электрическое сопротивление и они отталкивают от себя магнитное поле.

Открытие высокотемпературной сверхпроводимости во многом уникально для современной физики. Во-первых, оно сделано всего двумя учеными и очень скромными средствами. Во-вторых, в состав обнаруженных соединений входят легкодоступные элементы, и в принципе такие сверхпроводники могут быть приготовлены за день работы в школьном кабинете химии. Какой разительный контраст с открытиями в других областях физики, скажем, физики высоких энергий! Здесь исследования ведутся большими коллективами ученых, перечисление авторов статьи иногда занимает целую журнальную страницу а используемое оборудование чрезвычайно дорогостояще. Новое открытие внушает оптимизм, ведь получается, что время исследователей-одиночек в современной физике еще не миновало! Наконец, несмотря на то что его так долго ждали, это открытие застало всех врасплох.

Проследить логику открытия в современном материаловедении не так-то просто. Важнейшую роль здесь по сию пору играют интуиция, опыт, прозрение и... конечно, счастливый случай. Тут хочется позаимствовать пример из рассказа академика А. С. Боровика-Романова: «...Долгое время не удавалось напылить франций на германий. Тогда нидерландский физик Хендрик Казимир предложил в качестве промежуточного слоя использовать рений. Логика его предложения состояла в том, что... между Францией и Германией в качестве "скрепляющего" природного элемента протекает река Рейн. Результат превзошел все ожидания».

Приготовление сверхпроводников чем-то напоминает современную химическую алхимию, но есть и физическая. В тигель, опутанный мощными проводами, льется несколько раскаленных потоков совершенно несовместимых металлов, бурлит странное «варево»,

шумно выделяются остаточные газы, и вдруг все перекрывает пушечный выстрел, еще и еще. Канонада длится строго определенное время и неожиданно смолкает, обстрел электрическими молниями бурлящего металла закончен. Но что это? Остывающая масса совершенно однородна, она имеет вид нового металлического соединения! Чудо! Произошло настоящее научное чудо! Сверхвысокоэнергетический разряд создал новое металлическое соединение. Ну а может быть, на очереди не только металлы?

Приборы, основанные на эффекте сверхпроводимости, играют важную роль в научных исследованиях, транспорте и медицине. Важным элементом в них являются сверхпроводящие магниты, создающие магнитные поля в сотни раз больше, чем дают типичные охлаждаемые электромагниты. Низкотемпературные сверхпроводящие магниты используются в лабораториях и в клиниках для ядерно-магнитно-резонансной томографии. Например, при медицинской диагностике сложных заболеваний пациента укладывают внутрь мощного сверхпроводникового электромагнита. Благодаря изменениям в магнитном поле при его взаимодействии с тканями организма медики получают на экране образ тканей человеческого организма в разрезе.

В преддверии новых замечательных открытий возникает естественное желание поразмышлять над тем, что нас ожидает впереди, куда мы идем, какими путями. Это в полной мере относится как к научно-техническому прогрессу в целом, так и к технологии сверхпроводимости, металлургии, сварочной науке и технике, без которых просто невозможно представить себе современное производство, транспорт и строительство.

Сверхпроводимость – вещь странная и в некоторой мере даже противоречащая здравому смыслу. Когда электрический ток течет по обычному проводу, то, в результате электрического сопротивления, совершает некую работу, направленную на преодоление этого сопротивления со стороны атомов, в результате чего выделяется тепло. При этом каждое соударение электрона – носителя тока – с атомом тормозит электрон, а сам атом-тормоз при этом разогревается, вот почему спираль электрической плитки становится такой красной и горячей. Все дело в том, что спираль обладает электрическим

сопротивлением и вследствие этого при протекании по ней электрического тока выделяет тепловую энергию.

Впервые о сверхпроводимости как одном из самых ярких и необычных явлений физики твердого тела стало известно 28 апреля 1911 года. В этот день голландский физик Х. Камерлинг-Оннес на заседании Королевской академии наук в Амстердаме сообщил о только что обнаруженном им эффекте, связанном с полным исчезновением электрического сопротивления ртути, охлажденной жидким гелием.

Исчезновение электрического сопротивления может быть продемонстрировано возбуждением электрического тока в кольце из сверхпроводящего материала. Если кольцо охладить до нужной температуры, ток в кольце будет существовать неограниченно долго даже после удаления вызвавшего его источника тока. Магнитный поток – это совокупность магнитных силовых линий, образующих магнитное поле. Пока напряженность поля ниже некоторого критического значения, поток выталкивается из сверхпроводника.

Твердое тело, проводящее электрический ток, представляет собой кристаллическую решетку, в которой могут двигаться электроны. Решетку образуют атомы, расположенные в геометрически правильном порядке, а движущиеся электроны – это электроны с внешних оболочек атомов. Поскольку поток электронов и есть электрический ток, эти электроны называются электронами проводимости. Если проводник находится в нормальном (несверхпроводящем) состоянии, то каждый электрон движется независимо от других. Способность любого электрона перемещаться и, следовательно, поддерживать электрический ток ограничивается его столкновениями с решеткой, а также с атомами примесей в твердом теле. Чтобы в проводнике существовал ток электронов, к нему должно быть приложено напряжение; это значит, что проводник имеет электрическое сопротивление. Если же проводник находится в сверхпроводящем состоянии, то электроны проводимости объединяются в единое макроскопически упорядоченное состояние, в котором они ведут себя уже как «коллектив»; на внешнее воздействие реагирует также весь «коллектив». Столкновения между электронами и решеткой становятся невозможными, и ток, однажды возникнув, будет существовать и в отсутствии внешнего источника электричества.

К концу позапрошлого века ученые уже знали связь между электрическим сопротивлением, силой тока и напряжением и понимали, что носителями электрического тока в металлах являются отрицательно заряженные электроны. Оставалось составить описание электрического сопротивления на атомном уровне. Первую попытку такого рода предпринял в 1900 году немецкий физик Пауль Друде (1863–1906).

Смысл электронной теории проводимости сводится к тому, что каждый атом металла отдает валентный электрон из внешней оболочки и эти свободные электроны растекаются по металлу, образуя некое подобие отрицательно заряженного газа. Атомы металла при этом объединены в трехмерную кристаллическую решетку, которая практически не препятствует перемещению свободных электронов внутри нее. Как только к проводнику прикладывается электрическая разность потенциалов (например, посредством замыкания на два его конца двух полюсов аккумуляторной батареи), свободные электроны приходят в упорядоченное движение. Сначала они движутся равноускоренно, но длится это недолго, поскольку очень скоро электроны перестают ускоряться, сталкиваясь с атомами решетки, которые, в свою очередь, от этого начинают колебаться все с большей амплитудой относительно условной точки покоя, и мы наблюдаем термоэлектрический эффект разогревания проводника.

На электроны же эти столкновения оказывают затормаживающее воздействие аналогично тому, как, допустим, человеку тяжело с достаточно большой скоростью передвигаться в плотной людской толпе. В результате скорость электронов устанавливается на некоей усредненной отметке, которая называется скоростью миграции, и скорость эта отнюдь не высока. Например, в обычной бытовой электропроводке средняя скорость миграции электронов составляет всего несколько миллиметров в секунду, то есть электроны отнюдь не летят по проводам, а, скорее, ползут по ним темпами, достойными разве что улитки. Свет же в лампочке зажигается практически моментально лишь потому, что все эти медлительные электроны трогаются с места одновременно, как только вы нажимаете на кнопку выключателя, и электроны в спирали лампочки также приходят в движение сразу же. То есть, нажимая на кнопку выключателя, вы производите в проводах эффект, аналогичный тому, как если бы

включили насос, подсоединенный к поливочному шлангу, до отказа заполненному водой, – струя на противоположном от насоса конце хлынет из шланга незамедлительно.

Друде весьма серьезно подошел к описанию свободных электронов. Он предположил, что внутри металла они ведут себя подобно идеальному газу, и применил к ним уравнения состояния идеального газа, достаточно справедливо проведя аналогию между соударениями электронов и тепловыми соударениями молекул идеального газа. Это позволило ему сформулировать формулу электрического сопротивления как функции среднего времени между соударениями свободных электронов с атомами кристаллической решетки. Подобно многим простым теориям, электронная теория проводимости хорошо описывает некоторые основные явления из области электропроводности, но бессильна описать многие нюансы этого явления. В частности, она не только не объясняет явления сверхпроводимости при сверхнизких температурах, но, напротив, предсказывает неограниченный рост электрического сопротивления любого вещества при стремлении его температуры к абсолютному нулю. Поэтому сегодня электропроводящие свойства вещества принято интерпретировать в рамках квантовой механики.

Хотя открытия сверхпроводимости никто не ожидал, поскольку оно противоречило существующей в те времена классической электронной теории металлов, тот факт, что первооткрывателем стал Камерлинг-Оннес, был далеко не случаен. Дело в том, что именно он стал первым ученым, которому удалось решить труднейшую научную и техническую задачу того времени – получить жидкий гелий, работа с которым позволила заглянуть в неведомый мир температур, близких к абсолютному нулю.

Подчеркнем, что в сверхпроводящем состоянии сопротивление образца электрическому току равно нулю не приблизительно, а строго. Поэтому по сверхпроводящей замкнутой цепи ток может сколь угодно долго циркулировать не затухая. Самое длительное существование незатухающего сверхпроводящего тока, около двух лет, было зафиксировано впоследствии в Англии (этот ток циркулировал бы в кольце и поныне, если бы не перерыв в снабжении лаборатории жидким гелием, вызванный забастовкой транспортных рабочих). Даже спустя два года не было замечено никакого ослабления тока.

В короткое время после открытия сверхпроводимость обнаружили не только в ртути, но и в целом ряде других металлов. Перспективы практического применения открытого явления казались безграничными: линии передачи электроэнергии без потерь, сверхмощные магниты, электромоторы и трансформаторы новых типов и так далее. Однако два препятствия встали на пути реализации этих планов. Первое – это чрезвычайно низкие температуры, при которых явление сверхпроводимости наблюдалось во всех известных материалах. Для охлаждения сверхпроводников до столь низких температур приходилось пользоваться остродефицитным гелием (запасы его на Земле крайне ограничены, получение одного литра жидкого гелия даже сейчас обходится недешево). Это обстоятельство делало многие заманчивые проекты использования сверхпроводимости попросту нерентабельными. Второе препятствие – его вскоре обнаружил сам Камерлинг-Оннес – связано с тем фактом, что сверхпроводимость оказалась весьма чувствительной по отношению к магнитному полю (а следовательно, и к предельной величине протекающего тока): в сильных полях она разрушалась.

Сверхпроводящее состояние возникает скачкообразно при температуре, которая называется температурой перехода. Выше этой температуры металл или полупроводник находится в нормальном состоянии, а ниже ее – в сверхпроводящем. Температура перехода данного вещества определяется соотношением двух «противоположных сил»: одна стремится упорядочить электроны, а другая – разрушить этот порядок. Например, тенденция к упорядочиванию в таких металлах, как медь, золото и серебро, столь мала, что эти элементы не становятся сверхпроводниками даже при температуре, лежащей лишь на несколько миллионов кельвина выше абсолютного нуля. Абсолютный нуль ($0\text{ }^{\circ}\text{K} - 273,16\text{ }^{\circ}\text{C}$) – это нижняя граница температуры, при которой вещество теряет все свое тепло. Другие металлы и сплавы имеют температуры перехода в диапазоне от $0,000325$ до $23,2\text{ }^{\circ}\text{K}$.

Потребовалось почти полвека с момента открытия сверхпроводимости, прежде чем была понята природа удивительного явления и создана его последовательная теория. Этот период можно считать начальным этапом в изучении сверхпроводимости – этапом накопления информации о сложном явлении.

Следующим фундаментальным свойством сверхпроводящего состояния, обнаруженным в 1933 году, оказался так называемый эффект Мейснера: полное выталкивание массивным сверхпроводником магнитного поля из своего объема. Экспериментальное же изучение сверхпроводимости по-прежнему весьма затруднялось необходимостью работать с жидким гелием, поскольку его получали лишь в нескольких лабораториях.

Пятидесятые годы прошлого века можно считать началом второго этапа. В понимании природы сверхпроводимости к этому времени был достигнут качественный прогресс после того, как будущие нобелевские лауреаты Джон Бардин, Леон Купер и Дж. Роберт Шриффер предложили теоретическое объяснение явления сверхпроводимости.

Над загадкой сверхпроводимости работали лучшие умы, включая знаменитых физиков Ричарда Фейнмана, академика Ландау, Фрица Лондона. Фейнман писал, что «теория сверхпроводимости – это настолько сложная задача, что решить ее, скорее всего, невозможно». Возможно, теория сверхпроводимости появилась бы раньше, если бы Джона Бардина не отвлекла Нобелевская премия 1956 года за изобретение транзистора. Оставив студента Шриффера и аспиранта Купера, Бардин уехал в Стокгольм, а тем временем они показали, что два электрона в кристалле могут образовать связанные состояния за счет обмена фононами, названные в честь Леона Купера «куперовскими парами». Впоследствии это повлекло за собой создание теории Бардина – Купера – Шриффера, которая сделала Джона Бардина обладателем двух Нобелевских премий по физике.

Явление сверхпроводимости оказалось связанным с возникновением в металлах своеобразного притяжения между электронами. Природа этого притяжения носит сугубо квантовый характер. В качестве нестрогой аналогии можно привести пример двух шариков, лежащих на резиновом коврике. Если эти шарики далеки друг от друга, то каждый из них деформирует коврик, образуя вокруг себя лунку. Если же положить сперва один шарик, а затем невдалеке от него другой, то их лунки сольются в одну и шарики скатятся вместе на дно общей лунки.

Часть электронов при достаточно низких температурах как бы объединяется в связанные (куперовские) пары, которые, пребывая в

особом квантовом состоянии, переносят электрический ток без потерь энергии. Размеры таких пар в атомном масштабе весьма велики – они могут достигать сотен и тысяч межатомных расстояний. Поэтому следует представлять их не как два электрона, связанных друг с другом наподобие двойной звезды, а, скорее, как двух партнеров, пришедших вместе на дискотеку, но танцующих в разных концах зала, когда их разделяют десятки других танцоров. Таким образом, сверхпроводимость – не что иное, как макроскопическое квантовое явление.

А суть ее заключается в том, что при сверхнизких температурах тяжелые атомы металлов практически не колеблются в силу низкого теплового движения, их можно считать фактически стационарными. Поскольку любой металл только потому и обладает присущими металлу электропроводящими свойствами, что отпускает электроны внешнего слоя в «свободное плавание», мы имеем что имеем: ионизированные, положительно заряженные ядра кристаллической решетки и отрицательно заряженные электроны, свободно «плавающие» между ними. И вот проводник попадает под действие разности электрических потенциалов. Электроны – волей или неволей – движутся, будучи свободными, между положительно заряженными ядрами. Всякий раз, однако, они вяло взаимодействуют с ядрами (и между собой), но тут же «убегают».

Однако в то самое время, пока электроны проскакивают между двумя положительно заряженными ядрами, они как бы «отвлекают» их на себя. В результате, после того как между двумя ядрами проскочил электрон, они на недолгое время сближаются. Затем два ядра, конечно же, плавно расходятся, но дело сделано – возник положительный потенциал, и к нему притягиваются всё новые отрицательно заряженные электроны. Тут самое важное – понять: благодаря тому что один электрон проскакивает между атомами, он тем самым создает благоприятные энергетические условия для продвижения еще одного электрона. В результате электроны перемещаются внутри атомно-кристаллической структуры парами – по-другому они просто не могут, поскольку это им энергетически невыгодно. Чтобы лучше понять этот эффект, можно привлечь аналогию из мира спорта. Велосипедисты на трекке нередко используют тактику драфтинга (а именно, «висят на

хвосте» у соперника) и тем самым снижают сопротивление воздуха. То же самое делают и электроны, образуя куперовские пары.

Тут важно понять, что при сверхнизких температурах все электроны образуют куперовские пары. Теперь представьте себе, что каждая такая пара представляет собой связку наподобие вермишели-доширак, на каждом конце которой находится заряд-электрон. И вот перед вами целая миска подобной «вермишели»: она вся состоит из переплетенных между собой куперовских пар. Иными словами, электроны в сверхпроводящем металле попарно взаимодействуют между собой, и на это уходит вся их энергия. Соответственно, у электронов просто не остается энергии на взаимодействие с ядрами атомов кристаллической решетки. В итоге доходит до того, что электроны замедляются настолько, что им больше нечего терять (энергетически), а окружающие их ядра «остывают» настолько, что они более не способны «тормозить» свободные электроны. В результате электроны начинают перемещаться между атомами металла, практически не теряя энергии в результате соударения с атомами, и электрическое сопротивление сверхпроводника устремляется к нулю.

Долгое время физики не могли объяснить это явление, да и практического применения ему не находилось. Но к середине прошлого века ученые наконец-то смогли понять природу сверхпроводимости. Стала ясна и промышленная потребность таких материалов. Однако широко использовать сверхпроводимость не удавалось по техническим и экономическим причинам, поскольку вещества нужно было охлаждать до очень низких температур.

Создание теории сверхпроводимости послужило мощным импульсом к ее целенаправленным исследованиям. Без преувеличения, огромный прогресс был достигнут в эти годы в получении новых сверхпроводящих материалов. Важную роль сыграло тут открытие академиком А. А. Абрикосовым весьма необычного сверхпроводящего состояния в магнитном поле. Если раньше считалось, что магнитное поле не может проникнуть в сверхпроводящую фазу не разрушив ее, то Абрикосов теоретически показал, что существует и другая возможность: магнитное поле может проникать при определенных условиях в сверхпроводник в виде вихрей тока, сердцевина которых переходит в нормальную фазу, периферия же остается

сверхпроводящей! Согласно поведению сверхпроводников в магнитном поле их стали делить на сверхпроводники первого и второго рода. Важно, что и сверхпроводник первого рода можно перевести во второй, введя в него химические примеси или другие дефекты кристаллической решетки.

Среди сверхпроводников второго рода удалось найти соединения, способные нести токи большой плотности и выдерживать гигантские магнитные поля. И хотя для их практического использования пришлось решить ряд непростых технологических проблем (эти вещества были хрупкими, большие токи оказывались неустойчивыми), факт оставался фактом: одно из двух основных препятствий на пути широкого использования сверхпроводников в технике было преодолено.

Хуже обстояло дело с повышением критической температуры. Если критические магнитные поля удалось увеличить по сравнению с первыми опытами Камерлинг-Оннеса в тысячи раз, то рост критической температуры не вселял особого оптимизма – она достигала лишь 20 градусов Кельвина. Таким образом, для нормальной работы сверхпроводящих устройств все так же требовался дорогой жидкий гелий. И это было особенно обидно, поскольку как раз в это время обнаружили принципиально новый квантовый эффект Джозефсона, открывший сверхпроводникам обширное поле применения в микроэлектронике, медицине, измерительной и компьютерной технике.

В 1962 году Брайан Джозефсон, будучи тогда всего лишь студентом-старшекурсником, сообразил, что два сверхпроводящих слоя, разделенные ничтожно тонкой прослойкой изолятора всего в несколько атомов толщиной, будут вести себя как единая система. Применяв к такой системе принципы квантовой механики, он показал, что куперовские пары будут преодолевать этот барьер (теперь его принято называть переходом Джозефсона) даже при отсутствии приложенного к ним напряжения. Существование электрического тока подобного рода вскоре было подтверждено экспериментально, а сам эффект также получил название стационарного эффекта Джозефсона.

Если же приложить постоянное напряжение по обе стороны перехода, квантовая механика предсказывает, что куперовские пары электронов начнут перемещаться через барьер сначала в одном

направлении, а затем в обратном, в результате чего возникнет переменный ток, частота которого увеличивается по мере роста напряжения. Этот эффект получил название «нестационарного эффекта Джозефсона». Поскольку частоту тока можно измерить с большой точностью, эффект переменного тока теперь используется для высокоточной калибровки напряжений.

Однако, пожалуй, самое распространенное практическое применение эффекта Джозефсона вытекает из другого прогноза, даваемого квантовой механикой. Если сделать небольшой сверхпроводящий контур с двумя встроенными переходами Джозефсона на каждом конце, а затем пропустить по нему ток, мы получим прибор под названием «сверхпроводниковый квантовый интерферометр». В зависимости от интенсивности внешнего электромагнитного поля ток в его цепи может изменяться от нуля (когда токи, идущие от двух переходов, взаимно гасятся) до максимума (когда они однонаправлены и усиливают друг друга).

Проблема повышения критической температуры встала необычайно остро. Теоретические оценки предельно возможных ее значений показывали: в рамках обычной, фононной сверхпроводимости (то есть сверхпроводимости, обусловленной притяжением электронов друг к другу посредством взаимодействия с решеткой) эта температура не должна была превышать 40 градусов Кельвина. Однако и обнаружение сверхпроводника с такой критической температурой стало бы огромным достижением, так как можно было бы перейти на охлаждение сравнительно дешевым и доступным жидким водородом (его температура кипения 20 градусов Кельвина). Это открыло бы весьма важную эпоху «среднетемпературной» сверхпроводимости, и здесь велись активные поиски обработки существующих и создания новых сверхпроводящих сплавов традиционными материаловедческими методами. Голубой же мечтой оставалось создание сверхпроводника с критической температурой 100 градусов Кельвина (а еще лучше – выше комнатной), который можно было бы охлаждать дешевым и широко используемым в технике жидким азотом.

На протяжении последующих лет выдвигалось множество новых теорий, детально исследовались десятки, а то и сотни тысяч самых необычных веществ. Одно время внимание экспериментаторов

привлекли так называемые квазиодномерные соединения – длинные молекулярные проводящие цепи с боковыми отростками. Как следовало из теоретических оценок, здесь можно было ожидать заметного повышения критической температуры. Однако, несмотря на усилия многих лабораторий мира, синтезировать такие сверхпроводники не удалось. И все же на этом пути физики и химики совершили немало удивительных открытий: были получены органические металлы и синтезированы кристаллы органических сверхпроводников. Удалось также получить двухмерные «сэндвичи» вида металл – полупроводник, слоистые сверхпроводники, наконец, магнитные сверхпроводники, в них мирно сосуществуют сверхпроводимость и магнетизм, который, согласно совсем еще недавним представлениям, полностью ей антагонистичен. Но реальных указаний на высокотемпературную сверхпроводимость так и не было.

С тех пор прошло немало лет, и сверхпроводимость из разряда явлений уникальных и лабораторно-курьезных превратилась в общепризнанный факт и источник многомиллиардных доходов предприятий электронной индустрии. А все дело в том, что любой электрический ток возбуждает вокруг себя магнитное поле. Поскольку сверхпроводники долгое время проводят ток практически без потерь, если поддерживать их при сверхнизких температурах, они представляют собой идеальный материал для изготовления электромагнитов.

И если вы когда-нибудь подвергались медико-диагностической процедуре, которая называется электронная томография и проводится на сканере, использующем принцип ядерно-магнитного резонанса, то вы, сами того, возможно, не подозревая, находились в считанных сантиметрах от сверхпроводящих электромагнитов. Именно они создают поле, позволяющее получать высокоточные образы тканей человеческого тела в разрезе без необходимости прибегать к скальпелю.

Ситуация изменилась ближе к концу прошлого века, когда было открыто множество новых, необычных сверхпроводящих соединений, обладающих подчас удивительными свойствами. В некоторых из них, так называемых высокотемпературных сверхпроводниках, явление возникало при гораздо более высоких температурах, хотя все еще

намного ниже нуля по Цельсию. И тем не менее высокотемпературные сверхпроводники, с которыми было проще и дешевле работать, стали активно входить в нашу жизнь.

Ученые начали изучать металлокерамики еще в семидесятых годах прошлого столетия, однако ничего необычного не нашли и «отложили на полку», даже не подозревая о скрытых возможностях. Хотя температура в 30 °К может показаться довольно низкой, она намного выше, чем температура перехода в сверхпроводящее состояние для ниобиевых сплавов (примерно 23 °К), которые широко применяются в науке и промышленности.

Однако до сих пор природа необычной высокотемпературной сверхпроводимости во многом остается для ученых загадкой. В обычных сверхпроводниках сверхпроводимость характеризуется параметром порядка, который может зависеть только от координат.

Само же явление сверхпроводимости появляется в результате объединения электронов в особые пары, движущиеся без сопротивления между атомами и молекулами проводников. Что же касается необычных металлокерамических сверхпроводников, то в них механизм образования сверхпроводимости до сих пор не понят. И хотя в изучении необычной сверхпроводимости уже достигнут существенный прогресс, непонятого и неисследованного в этой области еще очень много.

В свое время автору посчастливилось, будучи аспирантом видного физика-материаловеда, профессора Льва Самойловича Палатника, заниматься теоретическим изучением высокотемпературных сверхпроводников – металлокерамик.

Вместе с другим замечательным физиком-теоретиком (руководителем моего диплома на кафедре теорфизики Харьковского университета) Игорем Ивановичем Фалько мы рассматривали неоднородные системы, состоящие из анизотропных и обычных сверхпроводников, нормальных металлов, диэлектриков и ферромагнетиков. При изучении таких систем нам удалось создать один из вариантов теории высокотемпературной сверхпроводимости, основанный на совершенно необычных представлениях о роли микроскопических пустот (вакансий) в теле проводника.

Профессор Палатник обратил наше внимание на то, что в составе всех сверхпроводящих высокотемпературных металлокерамик

обязательно присутствуют вакансии и ионы меди, которые служат как бы микроскопическими магнетиками. Но не следует думать, что все материалы, содержащие такие магнетики, – сверхпроводники. Достаточно вспомнить, что железо, состоящее из них целиком, – нормальный металл. Ионы-магнетики взаимодействуют друг с другом, образуя свою собственную упорядоченную структуру, куда и входят вакансионные узлы. В результате в кристалл из атомов оказывается как бы вложенным еще один кристалл из вакансий и связанных с ними атомов.

Электроны проводимости в магнитных материалах обладают любопытным свойством: их энергия зависит от типа магнитного упорядочения. Дело в том, что электрон – не только носитель электрического заряда, но еще и микроскопический магнетик. Если кристалл ферромагнитен, то электронный магнетик может выбрать, как ему сориентироваться относительно одинаково направленных магнетиков кристалла: параллельно или антипараллельно им, чтобы иметь наиболее низкую энергию. В антиферромагнитном же кристалле электрон не имеет возможности понизить свою энергию, поскольку при любой ориентации его окружает одинаковое число магнетиков кристалла, параллельных и антипараллельных ему. Зависимость энергии свободных электронов от свойств кристалла имеет далеко идущие последствия.

Итак, магнитное упорядочение в кристалле влияет на энергию электрона проводимости. Но и электрон может оказывать влияние на магнитное упорядочение. Разумеется, электрон – частица микроскопическая и не может изменить состояние всего кристалла макроскопических размеров. Но электрону вполне под силу изменить магнитное упорядочение в небольшой его части, где располагается одна из вакансий.

Допустим теперь, что число свободных электронов в кристалле достаточно велико, хотя и намного меньше полного числа атомов. Некоторые из них могут, преодолевая взаимное отталкивание, обусловленное одинаковым знаком их электрических зарядов, собраться вблизи вакансий. Это может быть энергетически выгодно, поскольку экономится энергия, затрачиваемая на преодоление тяготения близлежащих узлов кристаллической решетки.

Но в одной области не могут собраться все свободные электроны: этому препятствует электрическое отталкивание. В кристалле образуются отдельные ферромагнитные капли, в каждой из которых электронов будет не слишком много, около десятка. Результаты детального расчета показывают, что эти капли образуют периодическую структуру внутри изолирующей антиферромагнитной основной части кристалла. И несмотря на то что в кристалле много электронов, он ведет себя как полупроводник или даже изолятор при комнатной температуре.

Будущая теория высокотемпературной проводимости должна будет объяснить, как объединенные пары электронов проводимости могут без сопротивления преодолевать узлы кристаллической решетки. Невозможное на первый взгляд притяжение двух одинаково заряженных частиц возникает из-за того, что металлокерамики состоят не только из анионов, но и из положительных ионных вакансий. Движущийся электрон оставляет за собой след в виде кратковременных искажений кристаллической решетки, притягивающих другой электрон, образующий вместе с первым куперовскую пару. Здесь можно провести аналогию с детьми, прыгающими на батуте: хотя они напрямую не связаны, деформации батута во время прыжков будут способствовать их сближению. Куперовские электронные пары начинают накладываться друг на друга, при температуре ниже критической образуют электронное состояние, охватывающее весь проводник, и перестают испытывать электрическое сопротивление.

С понижением температуры и ростом концентрации электронов объем ферромагнитных капель возрастает. При некоторой ее величине капли приходят в контакт друг с другом, и ферромагнитная высокопроводящая часть кристалла начинает доминировать. Металлокерамика переходит в сверхпроводящее состояние.

Было известно, что высокотемпературная сверхпроводимость очень чувствительна к образованию кислородных вакансий, составляющих свой особый порядок внутри кристалла. Следует также учитывать, что заряд в некоторых сверхпроводящих материалах переносится не электронами, а дырками. Суть дела очень проста: на самом деле, конечно же, заряд переносят электроны. Но, когда электронов много,

удобнее говорить, что в некоторых состояниях электронов нет, и там образовались дырки.

Представим себе ряд пустых стульев в кино. Если с краю сел один человек и начал постепенно пересаживаться, мы увидим просто его движение. Но если в ряду есть только одно свободное место, с краю, и публика стала поочередно пересаживаться на соседний свободный стул, создается впечатление, что движется пустое место, своего рода дырка. Видимое ее движение обратно направлению, в котором пересаживаются зрители. Примерно то же самое происходит и в сверхпроводящих кристаллах. Когда свободные электроны начинают передвигаться под действием электрического поля, мы видим, как в противоположном направлении движется пустое место, дырка. А это значит, что у дырки другой знак заряда, она положительна.

Если удалить атом из узла кристаллической решетки, то образуется полость – вакансия. Подобные вакансии обязательно присутствуют в реальных высокотемпературных сверхпроводниках и, в соответствии с теорией Палатника – Фалько – Фейгина, играют определяющую роль в образовании сверхпроводящего состояния. Один из вариантов реализации высокотемпературного сверхпроводящего состояния можно представить в виде схемы объединения двух электронов проводимости в «сверхпроводящую» пару вблизи вакансии. Профессор Палатник при объяснении своей теории часто использовал очень наглядный и зримый образ двух шариков – электронов, скатывающихся в лунку, – вакансию с выпуклым дном.

Вот здесь и проявляются преимущества теории вакансионной сверхпроводимости, ведь вблизи вакансий одинаково эффективно концентрируются и электроны, и дырки.

Высокотемпературная сверхпроводимость обещала массу заманчивых перспектив как в области фундаментальной науки, так и для решения чисто технических задач. Усилия ведущих исследователей мира были направлены на получение все новых материалов и исследование их структуры. Казалось, еще немного, и будут созданы вещества, теряющие электрическое сопротивление почти при комнатной температуре. Сотни электростанций перестанут немалую часть выработанной энергии тратить на нагрев проводов линий электропередачи. Все, однако, оказалось не так просто. Природа неохотно расстается со своими секретами, и предстоит еще долгая

работа, прежде чем высокотемпературные сверхпроводники смогут стать сверхпроводящими хотя бы на холоде. Исследования продолжаются, ни одно из них пока не смогло решить проблему сверхпроводимости целиком, но каждое помогает глубже понять ее и обнаружить немало важного и интересного в самой кристаллической структуре вещества.

Так случайно или закономерно открытие Мюллера и Беднорца? Можно ли было синтезировать обнаруженное вещество со столь уникальными свойствами раньше? Как непросто дать ответ на эти вопросы! Мы давно привыкли к тому, что все новое получается на грани возможностей, с применением уникальных установок, сверхсильных полей, сверхнизких температур, сверхвысоких энергий. Здесь же ничего такого нет, создать высокотемпературный сверхпроводник не так уж сложно – с этим вполне мог бы справиться квалифицированный средневековый алхимик. Стоит вспомнить, что десяток лет назад во многих лабораториях мира интенсивно исследовалось весьма необычное сверхпроводящее соединение, так называемое «алхимическое золото». Это название соединение получило за свой желтый блеск и большой удельный вес, что делало его похожим на благородный металл. Синтезированное алхимиками еще в Средние века, оно, бывало, выдавалось за настоящее золото и рекламировалось как результат успешного применения философского камня. А ведь алхимическое золото – довольно сложное соединение, и как знать, не создали бы высокотемпературный сверхпроводник в Средние века, обладай он золотым блеском?

В середине семидесятых годов прошлого века среди многочисленных кандидатов в высокотемпературные сверхпроводники мелькнули и некие диковинные керамические соединения. Они, будучи при комнатных температурах по своим электрическим свойствам плохими металлами, не слишком далеко от абсолютного нуля переходили в сверхпроводящее состояние. Однако парадокс состоял в том, что новое соединение и металлом-то можно было называть с большой натяжкой. Согласно теоретическим представлениям, достигнутая в нем величина критической температуры оказывалась не малой, а поразительно большой для таких веществ.

Это обстоятельство и привлекло внимание к керамикам как к возможным кандидатам в высокотемпературные сверхпроводники.

Следует признать, что никаких серьезных теоретических оснований для этого интереса экспериментаторов не существовало. Мюллер и Беднорц, подобно средневековым алхимикам исследовали сотни различных окислов, варьируя их состав, количество, режимы синтеза. На этом непростом пути они в конце концов и подобрались к соединению бария, лантана, меди и кислорода, которое при измерениях проявило признаки сверхпроводимости при 35 градусах Кельвина.

При этом оказывается, что и сам поиск технологичных сверхпроводников велся весьма необычно, стартовав с чистых металлов, ученые в погоне за высокими критическими полями перешли к сплавам, а закончилось дело и вовсе металлооксидами, которые по своему внешнему виду плохо отвечают нашим обычным представлениям о металлах, скорее, это своеобразная глина.

С другой стороны, развитие шло от простого к сложному. Теория временами сильно отставала от эксперимента, временами, наоборот, давала мощные толчки дальнейшим исследованиям. Сегодня она снова в долгу перед экспериментом: новые высокотемпературные сверхпроводники были обнаружены в ходе случайного поиска, и пока нет удовлетворительного объяснения обнаруженному феномену.

После открытия первого высокотемпературного сверхпроводника исследователи нашли множество сверхпроводящих сложных оксидов меди. Однако до сих пор не было открыто никаких низкотемпературных сверхпроводников с аномально высокой критической температурой. На этом фоне обнаружение высокотемпературной сверхпроводимости сложных оксидов меди напоминает открытие нового неисследованного континента, а выявление сверхпроводимости диборида магния больше похоже на открытие отдаленного острова в хорошо исследованном архипелаге. Станет ли диборид магния последним звеном в цепи традиционных сверхпроводников, или нас еще ждут удивительные открытия?

Перспективы применения высокотемпературных сверхпроводников поистине фантастичны. На повестку дня ставятся многие из предложенных ранее глобальных проектов – высокотемпературные сверхпроводники делают их рентабельными.

Известно, что, несмотря на все инженерные ухищрения, значительная часть генерируемого электричества безвозвратно

теряется, не производя никакой полезной работы. Так, сейчас в линиях электропередачи исчезает до 30 процентов всей вырабатываемой в мире электроэнергии. Применение высокотемпературных сверхпроводников в силовых кабелях может существенно улучшить ситуацию, а в далекой перспективе почти полностью эти потери исключить.

С технической точки зрения наиболее перспективны различные магнитные подвесы над сверхпроводящей поверхностью для движущихся устройств. Это позволит избежать трения и нагревания различных осей и подшипников. Такие составы считаются одним из самых быстрых транспортных средств в мире, в них используется технология магнитной левитации, запатентованная еще в 1930-х годах. Успешные испытания первого прототипа таких поездов состоялись в 1987 году. Скорость ранних модификаций монорельсового поезда составляла 450 км/ч, а современные модели способны развить скорость до 550 км/ч.

Самая быстрая и единственная работающая линия таких «летающих» поездов построена в Китае, и крейсерская скорость на этом маршруте составляет 430 км/ч.

Все дело в том, что по непреложным законам физики электроток обязательно будет разогревать проводник, а вместе с ним и окружающую среду. Между тем уже почти 100 лет минуло с тех пор, как было открыто явление сверхпроводимости – путь к тому, как обойтись без потерь в проводах. Путь, однако, непростой. Для того чтобы некоторые (не все) проводящие материалы потеряли свое электрическое сопротивление, их необходимо охлаждать до очень низких температур, а это ставит серьезные технические задачи. Тем не менее уже на десятки лет идет счет практическому использованию в разнообразных научных приборах сверхпроводящих электромагнитов, работающих при температуре жидкого гелия и применяющихся в производстве современных гигантских ускорителей элементарных частиц – коллайдеров и экспериментальных термоядерных реакторов. Сверхпроводящие элементы и конструкции находят все более широкое использование на высокоскоростном транспорте (монорельсовые поезда) и в медицинских магниторезонансных томографах со сверхпроводящими магнитами в гелиевых криостатах (включая различные датчики, снимающие магнитокардиограммы и

магнитоэнцефалограммы). Несомненно, использование сверхпроводимости будет в ближайшие годы расширяться – взять хотя бы квантовые компьютеры, в которых без сверхпроводимости не обойтись.

Что до энергетики, то высокая стоимость сверхпроводящих материалов и необходимость охлаждения до весьма низких температур существенно тормозит их массовое применение. Однако ученые многих стран ведут интенсивные исследования, нацеленные на смягчение, а в перспективе – устранение этих препятствий. Так, благодаря фундаментальным исследованиям ученых атомной отрасли наша страна сегодня находится на стадии освоения и полупромышленного внедрения высокотемпературных сверхпроводников.

Все проекты термоядерного синтеза базируются на использовании гигантских сверхпроводящих магнитов для удержания высокотемпературной плазмы от касания стенок камеры. Для поддержания их в сверхпроводящем состоянии расходуются огромные объемы жидкого гелия. В недалеком будущем их можно будет перевести на азотное охлаждение.

Огромные сверхпроводящие катушки смогут служить накопителями электроэнергии, снимающими пиковые нагрузки в ее потреблении.

Эффективная медицинская помощь – это прежде всего точный и быстрый диагноз. Основанная на применении сверхпроводящих джозефсоновских элементов сверхчувствительная аппаратура для снятия магнитокардиограмм и магнитоэнцефалограмм может прийти во все больницы.

Остался еще один очень интересный вопрос, касающийся сверхпроводимости в целом и высокотемпературных керамик в частности: существуют ли естественные состояния сверхпроводящих материалов в природе и как они могут проявляться? На первый взгляд вопрос простой – если есть в космосе металлические минералы, то многие из них должны находиться при средней температуре вакуума – 4 °К – в сверхпроводящем состоянии.

Однако в действительности все не так просто: массивные образцы чистых металлов в пробах лунного грунта (риголита) и метеоритах не обнаружены, исключение составляют редко встречаемые железно-никелевые образцы.

Тем не менее будущим исследователям спутников газовых гигантов вполне может встретиться фантастическая картина парящих магнитных скал над островами металлических руд (или перовскитов), омываемых морем какого-либо жидкого газа.

Кибернетики давно проектируют использование разнообразных сверхпроводящих электронных элементов для создания «думающих» роботов и электронно-вычислительных систем. Здесь вспоминается очень любопытный, но несколько мрачноватый рассказ известного американского фантаста Поля Андерсона. Действие его происходит в поясе астероидов между орбитами Марса и Юпитера. Космический корабль терпит крушение после столкновения с ледяной горой своеобразного космического «айсберга». После разгерметизации корпуса вырвавшийся поток воздуха разбрасывает экипаж космонавтов среди облака летящих обломков скал (существует гипотеза, что пояс астероидов – это остатки планеты Фазтон, разорванной притяжением Юпитера). Один из несчастных ударяется о поверхность подвернувшегося астероида и навечно оказывается его пленником. Однако волею фантазии автора через некоторое время подобие жизни начинает периодически возвращаться к космонавту. Дело в том, что астероид принадлежал к внутреннему поясу и, вращаясь, периодически попадал под слабые лучи бледного на таком расстоянии солнца. Этого было достаточно для появления электрических импульсов в сверхпроводящих сосудах головного мозга и возникновения сознания...

Глава 16. Загадки электрических артефактов

...верхний конец стержня примерно на сантиметр выступал над цилиндром и был покрыт тонким, светло-желтым, но полностью окисленным слоем металла, по виду похожего на свинец. Нижний конец железного стержня не доставал до днища цилиндра, на котором находился слой асфальта толщиной примерно три миллиметра.

В. Кениг. В потерянном раю

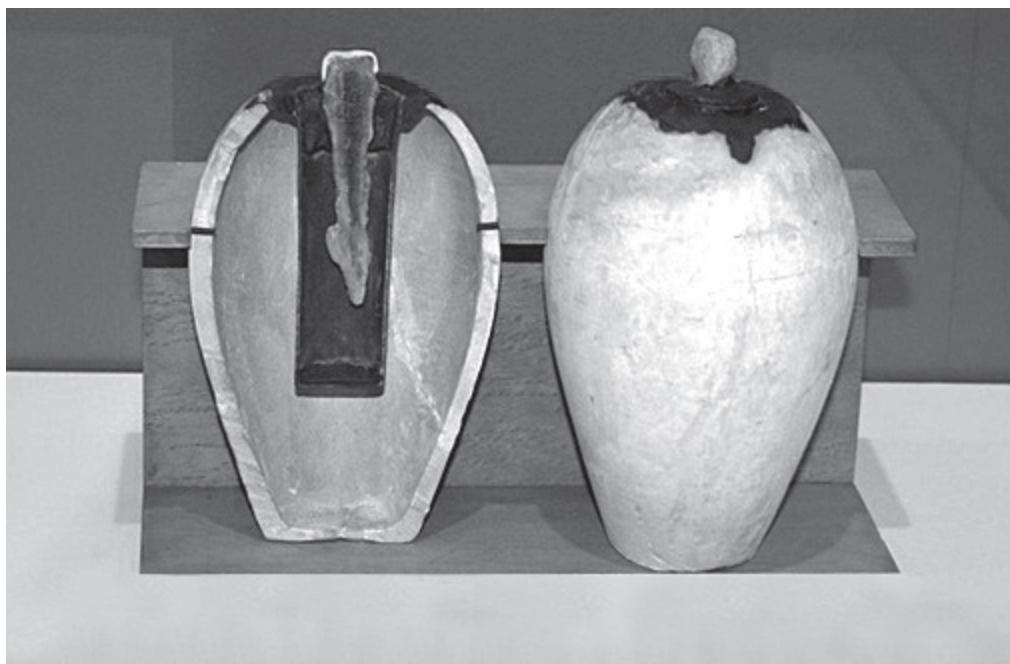
Археологи давно уже находят странные «палеоэлектрические» артефакты, а биологи бьются над разгадкой «живой электроэнергии». И это далеко не все тайны и загадки, которые приготовила нам удивительная янтарная субстанция.

Долгое время исследования Фалеса считались верхом экспериментального искусства с янтарной субстанцией. Однако в 1936 году во время строительства юго-восточного участка Багдадской железнодорожной магистрали была вскрыта парфянская гробница 2000-летней давности. В ней были найдены небольшие сосуды из желто-коричневой глины. Внутри находились свернутые в цилиндр листки меди, изъеденные коррозией железные стержни и кусочки битума – природного асфальта. Похоже, что асфальт покрывал верхнюю и нижнюю части медного цилиндра, внутри которого помещался железный стержень. Битумный герметик и следы коррозии наводят на мысль, что в сосудах находилась какая-то едкая жидкость, например, винный уксус.

Пару лет загадочные артефакты пылились в подвалах багдадского музея, пока на них не обратил внимание немецкий археолог Вильгельм Кениг. Проведя детальное исследование, он пришел к сенсационному

выводу о том, что содержимое сосудов очень напоминает гальванические элементы. Вскоре Кениг опубликовал статью, в которой описал «древнейший электрический элемент» и высказал гипотезу, что несколько соединенных вместе сосудов могли использоваться для гальванического нанесения тончайшего слоя золота или серебра на медные и бронзовые предметы.

В конце прошлого века энтузиасты «багдадских батареек» построили несколько их копий, наполнив крепким винным уксусом. Элементы действительно дали ток! Оказалось, что таким образом можно при слабом токе получить напряжение в 1–2 В.



Багдадская батарейка. Артефакт очень напоминает гальванический элемент, то есть является прототипом современной электрической батарейки.

Появились версии, что кроме древних ювелиров Месопотамии подобные маломощные источники тока применялись в лечебных целях или магических ритуалах. Может быть, «багдадская батарея» служила источником тока для своего рода электроакупунктуры, ведь рядом с артефактами были найдены и наборы бронзовых и железных игл. И здесь нет ничего особо необычного, ведь иглоукалывание как метод лечения применялся задолго до этого в Китае.

Впрочем, большинство археологов уверено, что тут они просто столкнулись с обычными футлярами для хранения папирусных свитков, ведь похожие артефакты были найдены возле городов Селевкия на Тигре (Тель-Умар) и столице Парфянского царства Ктесифоне. Там в подобных кувшинах нашли свиток папируса и скрученные листы бронзы, больше напоминавшие пенал для свернутых листов папируса. В «селевкийских вазах» могли храниться священные свитки из пергамента или папируса, на которых записывались некие ритуальные тексты. При их разложении могли выделяться органические кислоты, разъедающие медь и железо, что и объясняет следы коррозии на внутренних металлических деталях. При этом асфальтовый «герметик» позволял хранить содержимое кувшина длительное время.

Палеоэлектричество

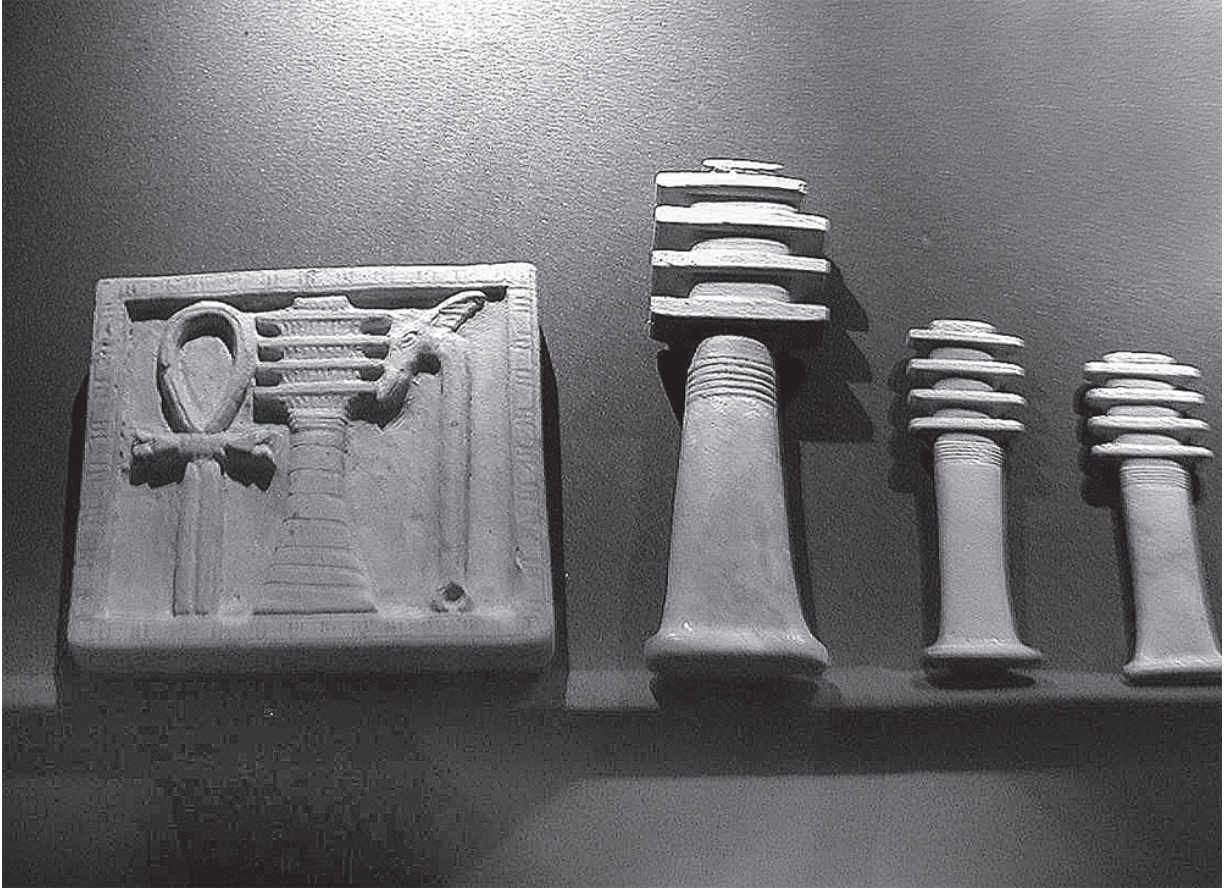
Колоссальные детали пирамидальных древнеегипетских «радиотелескопов» состоят из гранита и базальта, поэтому им никак не подходит электропитание. Тем не менее ступенчатые пирамиды вызывают большой интерес и у энтузиастов поиска палеоэлектричества. Однажды исследователи разглядели нечто странное и на древнеегипетских фресках. Там слуги фараона держат в руках какие-то таинственные аппараты, имеющие форму колбы и напоминающие гигантские электролампы с причудливыми извивающимися змеями внутри. Эти колбы или пузыри очень напоминают прожекторы, соединенные проводами с рядом сосудов-аккумуляторов. Головы змей увенчаны цветками лотоса, и при хорошем воображении можно представить их некими светящимися элементами. А вблизи находится аккумулятор энергии – «джед-столб», также соединенный со змеями. Примечателен демон с двумя ножами в руках, символизирующими защищающую силу, возможно, это древнейший аналог веселого Роджера, предупреждающего о смертельной опасности.

Версии по поводу «палеоэлектрических артефактов» самые различные, но прояснить их природу весьма затруднительно, ведь изображение сопровождают лишь иероглифы какого-то религиозного

гимна, посвященного солнечному богу Ра. Это позволило египтологам отбросить все неформальные гипотезы и уверенно объяснить пиктограммы изображением храмовой мистерии с небесной ладьей бога солнца Ра. По верованиям египтян, солнце каждый день умирает вечером и воскресает на рассвете. Здесь его символизирует змея, которая, как считали в стране фараонов, возрождается всякий раз, когда сбрасывает кожу.

На других древнеегипетских фресках также можно встретить загадочные клубки переплетающихся зигзагообразных линий. КRYPTOархеологи предполагают, что это своеобразные символы электричества. Свою идею они подтверждают находками ковеной медной проволоки, которая могла бы служить проводником тока, и обширными глиняными сосудами-батареями с остатками смолянистой массы электролита.

Однако кто и для чего мог научить народы древности получать электричество? Это пока остается тайной Древнего Египта.



Джед-столбы в экспозиции Лувра.

Электрические эффекты, по мнению криптоегиптологов, также могли быть связаны с головными уборами фараонов, украшенных фигуркой кобры. Может быть, часто встречающееся в иероглифических текстах выражение «горящие от гнева глаза змеи фараона» соответствовало действительности?

Живые молнии

Между тем некоторые историки считают, что разгадка электрических артефактов может быть скрыта... в животном мире. Например, древние египтяне наряду с крокодилами и цаплями почитали электрических сомов, которые якобы обладали магической силой, способной излечивать многие болезни, в том числе ужасную болотную лихорадку. Эта разновидность малярии, как считают

современные медики, выкашивала целые селения в дельте Нила и вызывала массовые переселения в верховья реки, что в свою очередь вело к долгим кровопролитным войнам с аборигенами.

Между тем отдельные представители нильских электрических сомов действительно способны поражать четырехсотвольтовыми импульсами при амперном токе, что весьма существенно и для современной электромедицины. Существуют описания европейских этнографов XVIII века, в которых свидетельствуется, что абиссинцы необычным образом и весьма успешно использовали электрошоковую терапию. Во время тяжелых приступов болотной лихорадки они крепко привязывали больного к деревянному помосту обливали его солевым раствором и касались его пупка живым электрическим сомом, завернутым в сухой папирус. Электрические удары следовали до тех пор, пока приступ лихорадки не прекращался.

Из дошедших до нас древнегреческих и римских текстов можно узнать о различных приемах животной (а точнее – рыбной) электротерапии. Так, еще во времена Александра Македонского греки лечили спазмы и судороги с помощью электрических угрей, которых сменяли у пораженной конечности. Для этих же целей использовали средиземноморских электрических скатов, вырабатывающих электрический ток силой 50 А и напряжением от 50 до 200 В. А вот лекари древнего Междуречья использовали электрических скатов для своеобразной местной анестезии.

Заключение

Страх и любопытство пробуждались у наших далеких предков, встречающихся с электричеством и магнетизмом, каждый раз скрывавшимся под новой, еще более таинственной маской. Но каждая маска была замечена, распознана зоркостью и памятью поколений... Маски кружились, кружились вокруг в диком хороводе, пока человек не сказал им: «Откройтесь!» И осталось только две маски: Электричество и Магнетизм, а все остальные были порождением их...

В. Карцев. Приключения великих уравнений

Мы буквально плывем в океане электрической энергии, купаясь в электромагнитных волнах. Иногда бушующее электрическое море выплескивает такие необычные сюжеты, что они составят честь перу завязанного романиста. Вот, к примеру максимум грозовой активности в средних широтах часто приходится на праздник Ивана Купалы – 7 июля. В это время нередки сильные молниевые разряды, а воздух кажется насыщенным атмосферным электричеством. Часто именно тогда можно наблюдать редкое природное явление – шаровую молнию. А с другой стороны, народное поверье гласит, что в купальную ночь легко найти сокрытые в сырой земле клады, и поможет в этом сказочная Жар-птица или огненный цветок распустившегося папоротника.

Так из глубины седых веков наши предки изустной традицией могли передавать важные закономерности различных природных явлений, ведь электрофизика легко может объяснить повышенную электрическую активность над местом, где находятся металлические предметы – монеты и украшения. Ведь любая молния, будь то шаровая

или всем нам привычная линейная – это пучок электричества. А к чему тянется электричество? Конечно же, к предметам, являющимся хорошими проводниками. В данном случае роль проводника и исполняет наш пресловутый клад. Давно известны случаи, когда во время грозы удары молний приходились именно в места скрытых сокровищ – курганов и древних захоронений. Поэтому на поверхности курганов часто можно видеть выжженные проплешины от ударов молний.

Но и сегодня не иссякает поток загадок стрел Перуна. Примером может служить таинственная «темная молния». Предполагают, что эти невидимые разряды происходят на самой границе атмосферы и выводят из строя оборудование космических аппаратов.

Согласно предлагаемой исследователями модели, в противоположность обычным молниям, когда перенос электрических зарядов либо с облака на землю, либо в другую часть облака производится медленными электронами, в темной молнии перенос заряда осуществляется высокоскоростными электронами. При их столкновениях с молекулами воздуха рождаются гамма-кванты, которые в свою очередь рождают электрон-позитронные пары. В свою очередь при столкновении позитронов с молекулами воздуха они аннигилируют и порождают новые гамма-кванты, которые регистрируются датчиками как гамма-вспышки земного происхождения, а также являются причиной временного выхода из строя датчиков на спутниках. Процесс разряда накопившейся электростатической энергии в атмосфере Земли с помощью «темных молний» происходит значительно быстрее, чем с помощью обычных.

Все это позволяет с учетом последних экспериментальных данных и основанных на них компьютерных моделях создать новое описание глобальной атмосферной электрической цепи. Установлено, что электрическая энергия генерируется преимущественно в областях пониженного атмосферного давления и в зонах холодных фронтов и на два порядка выше энергии, сосредоточенной в глобальном сферическом конденсаторе земля-ионосфера.

Так перед нами возникает парадоксальная картина бушующего океана электрической энергии, подпитываемого грозами с молниевыми штормами и потоками космической плазмы, подгоняемой порывами солнечного ветра.

Словарь терминов

Аннигиляция – процесс, при котором частица и ее античастица, сталкиваясь, взаимно уничтожают друг друга.

Антициклон – область в атмосфере, характеризующаяся повышенным давлением воздуха. На картах распределения давления он представляется концентрическими замкнутыми изобарами (линиями равного давления) неправильной, приблизительно овальной формы. Наивысшее давление – в центре антициклона, оно убывает к периферии.

Античастица – у каждой частицы материи есть соответствующая античастица. При соударении частицы и античастицы происходит их аннигиляция, в результате которой выделяется энергия и рождаются другие частицы.

Атмосфера Земли (от греч. *atmos* – пар и *sphaira* – шар) – газовая оболочка, окружающая Землю. Атмосферой принято считать ту область вокруг Земли, в которой газовая среда вращается вместе с Землей как единое целое. Атмосфера обеспечивает возможность жизни на Земле и оказывает большое влияние на разные стороны жизни человечества.

Атмосферное давление – гидростатическое давление, оказываемое атмосферой на все находящиеся в ней предметы. Атмосферное давление – важнейшая характеристика состояния атмосферы; в каждой точке атмосферы оно определяется весом вышележащего воздуха.

Атмосферное электричество – совокупность электрических явлений и процессов в атмосфере. Раздел физики атмосферы, изучающий электрические явления в атмосфере и ее электрические свойства. При исследовании атмосферного электричества изучают электрическое поле в атмосфере, ее ионизацию и проводимость, электрические токи в ней, объемные заряды, заряды облаков и осадков,

грозовые разряды и многое другое. Все проявления атмосферного электричества тесно связаны между собой, и на их развитие сильно влияют метеорологические факторы – облака, осадки, метели и т. п. К области атмосферного электричества обычно относят процессы, происходящие в тропосфере и стратосфере.

Атом – наименьшая частица обычного вещества. Атом состоит из крошечного ядра (составленного из протонов и нейтронов) и обращающихся вокруг него электронов.

Аэрномия (от аэро- и от греч. – *nomos* – закон) – наука, изучающая физические и химические процессы в верхних слоях атмосфер планет, в том числе и земной ионосферы на высотах от пятидесяти до пятисот километров, где процессы диссоциации и ионизации газов имеют доминирующее значение.

Вихревые токи или токи Фуко (Фуко, Жан Бернар Леон (1819–1868) – знаменитый французский физик и астроном) – замкнутые электрические токи в массивном проводнике, которые возникают при изменении пронизывающего его магнитного потока.

Воздушные массы – части нижнего слоя атмосферы – тропосферы, горизонтальные размеры которых соизмеримы с большими частями материков и океанов. Каждая воздушная масса обладает определенной однородностью свойств и перемещается как целое в одном из течений общей циркуляции атмосферы. При этом они разделены пограничными зонами – фронтами. Расчленение тропосферы на воздушные массы непрерывно меняется: в сложной системе воздушных течений они перемещаются из одних областей Земли в другие, меняя при этом свои свойства, исчезая и формируясь заново.

Гром – звуковое явление в атмосфере, сопровождающее разряд молнии; вызывается колебаниями воздуха под влиянием мгновенного повышения давления на пути молнии. Раскаты грома объясняются тем, что молния имеет большую длину, и звук от разных ее участков доходит до уха наблюдателя неодновременно, а также отражениями

звука от облаков.

Ионы – электрически заряженные частицы, образующиеся при потере или присоединении электронов (или других заряженных частиц) атомами или группами атомов. Такими группами атомов могут быть молекулы, радикалы или другие ионы. Понятие и термин «ион» ввел в 1834 году Майкл Фарадей, который, изучая действие электрического тока на водные растворы кислот, щелочей и солей, предположил, что электропроводность таких растворов обусловлена движением ионов. Положительно заряженные ионы, движущиеся в растворе к отрицательному полюсу (катоде), Фарадей назвал катионами, а отрицательно заряженные, движущиеся к положительному полюсу (аноду), – анионами.

Ионизация – образование положительных и отрицательных ионов и свободных электронов из электрически нейтральных атомов и молекул.

Ионосфера – ионизированная часть верхней атмосферы; расположена выше 50 км. Верхней границей является внешняя часть магнитосферы. Представляет собой природное образование разреженной слабоионизированной плазмы, находящейся в магнитном поле Земли и обладающей благодаря своей высокой электропроводности специфическими свойствами, определяющими характер распространений в ней радиоволн и различных возмущений.

Квант – минимальная порция, которой измеряется испускание или поглощение энергии. Квант электромагнитного поля – фотон.

Магнитное поле – поле, создающее магнитные силы. Магнитное поле и электрическое объединяются в единое понятие – электромагнитное поле.

Молния – гигантский электрический искровой разряд в атмосфере, проявляющийся обычно яркой вспышкой света и сопровождающим ее громом. Наиболее часто возникает в кучево-дождевых облаках, тогда они называются грозовыми; иногда образуются в слоисто-дождевых

облаках, а также при вулканических извержениях, торнадо и пылевых бурях.

Парниковый эффект – свойство атмосферы пропускать солнечную радиацию, но задерживать земное излучение и тем самым способствовать аккумуляции тепла Землей. Земная атмосфера сравнительно хорошо пропускает коротковолновую солнечную радиацию, которая почти полностью поглощается земной поверхностью. Нагреваясь за счет поглощения солнечной радиации, земная поверхность становится источником земного, в основном длинноволнового, излучения, прозрачность атмосферы для которого мала и которое почти полностью поглощается в атмосфере.

Плазма – частично или полностью ионизованный газ, в котором плотности положительных и отрицательных зарядов практически одинаковы. При достаточно сильном нагревании любое вещество испаряется, превращаясь в газ. Если увеличивать температуру и дальше, резко усилится процесс термической ионизации, т. е. молекулы газа начнут распадаться на составляющие их атомы, которые затем превращаются в ионы. Ионизация газа, кроме того, может быть вызвана его взаимодействием с электромагнитным излучением (фотоионизация) или бомбардировкой газа заряженными частицами.

Плазменный реактор (плазмотрон) – узел плазмохимического или плазменного металлургического агрегата, в котором осуществляются процессы тепло- и массообмена и химические реакции с участием низкотемпературной плазмы. Плазмотроном называют не только отдельные узлы, но и плазменные агрегаты в целом. Основные требования к плазмотронам состоят в получении достаточно полного смешения реагентов; в обеспечении требуемой протяженности зоны взаимодействия; в создании условий эффективного тепло- и массообмена при минимальных тепловых потерях. Если для генерации плазмы применяются высокочастотные индукционные плазмотроны, то возможно совмещение реакционной зоны с объемом разряда, струйные плазмотроны, в которых плазму получают в виде сформированной струи, подразделяются на прямоточные и со встречными струями. Увеличение времени контакта реагирующих

веществ и интенсификация тепло- и массообмена по сравнению с простейшими струйными прямоточными плазмотронами достигается при схеме встречных струй, а в плазмотронах так называемого циклонного типа – при наложении на объемный высокочастотный разряд постоянных электрического и (или) магнитного поля.

Поле – нечто, существующее во всех точках пространства и времени, в отличие от частицы, которая существует только в одной точке в каждый момент времени.

Протон – положительно заряженная частица. Протоны образуют примерно половину всех частиц, входящих в состав ядер большинства атомов.

Сверхпроводимость – состояние, в которое при низкой температуре переходят некоторые твердые электропроводящие вещества. Сверхпроводимость была обнаружена во многих металлах и сплавах и в некоторых полупроводниковых и керамических материалах, число которых все возрастает. Два из наиболее удивительных явлений, которые наблюдаются в сверхпроводящем состоянии вещества, – исчезновение электрического сопротивления в сверхпроводнике и выталкивание магнитного потока из его объема. Первый эффект интерпретировался ранними исследователями как свидетельство бесконечно большой электрической проводимости, откуда и произошло название сверхпроводимость.

Солнечный ветер – постоянно существующий поток солнечной плазмы, заполняющий все межпланетное пространство вплоть до границ гелиосферы.

Спектр – расщепление волны (например, электромагнитной) на частотные компоненты.

Стратосфера – слой атмосферы между тропосферой и мезосферой (от 8–16 до 45–55 км), температура в стратосфере в общем растет с высотой. Газовый состав воздуха в стратосфере сходен с тропосферным, но в нем меньше водяного пара и больше озона с

наибольшей концентрацией в слое от 20 до 30 км. Тепловой режим стратосферы в основном определяется лучистым теплообменом, в меньшей степени – вертикальными движениями и горизонтальным переносом воздуха.

Стримеры – узкие светящиеся каналы, образующиеся внутри газа в электрическом поле при давлениях, близких к атмосферному и более высоких, в стадии, предшествующей электрическому пробоем этого газа. Возникнув, они удлиняются с большой скоростью, во много раз превосходящей скорость движения заряженных частиц между электродами. Объясняется это фотоионизацией, происходящей в сильном электрическом поле, создаваемом пространственным зарядом. По структуре стримеры во многом сходны с лидерами молний.

Тропосфера – нижняя, преобладающая по массе часть земной атмосферы, в которой температура понижается с высотой, простирается в среднем до высот 8–10 км в полярных широтах, 10–12 км в умеренных, 16–18 км в тропических. Над тропосферой располагается стратосфера, от которой она отделена сравнительно тонким переходным слоем – тропопаузой. В тропосфере сосредоточено более всей массы атмосферного воздуха. Среднее атмосферное давление на верхней границе в умеренных широтах менее атмосферного давления у земной поверхности. Самые высокие горы остаются в пределах тропосферы, вся деятельность человека проходит в тропосфере, только космический и воздушный транспорт выходит за ее пределы – в стратосферу.

Турбулентность – явление, наблюдаемое во многих течениях жидкостей и газов и заключающееся в том, что в этих течениях образуются многочисленные вихри различных размеров, вследствие чего их гидродинамические и термодинамические характеристики (скорость, температура, давление, плотность) испытывают хаотические флуктуации и потому изменяются от точки к точке и во времени нерегулярно. Этим турбулентные течения отличаются от так называемых ламинарных течений. Большинство течений жидкостей и газов в природе (движение воздуха в земной атмосфере, воды в реках и морях, газа в атмосферах Солнца и звезд и в межзвездных туманностях

и т. п.) и в технических устройствах являются турбулентными.

Ускоритель частиц – устройство, которое с помощью электромагнитов дает возможность ускорять движущиеся заряженные частицы, постоянно увеличивая их энергию.

Фотоионизация – ионизация атома или молекулы при их взаимодействии с одним или несколькими фотонами.

Фотоэлектрические явления – электрические явления, происходящие в веществах под действием электромагнитного излучения.

Фотоэффект – испускание электронов веществом под действием электромагнитного излучения (фотонов).

Электрический заряд – свойство частицы, благодаря которому она отталкивает (или притягивает) другие частицы, имеющие заряд того же (или противоположного) знака.

Электромагнитное взаимодействие – взаимодействие, которое возникает между частицами, обладающими электрическим зарядом. Второе по силе из четырех фундаментальных взаимодействий.

Олег Фейгин

ПРОСТО

Электричество

