

Из истории изобретения
и начального периода
развития радиосвязи

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «ЛЭТИ»
им. В. И. Ульянова (Ленина)

ИЗ ИСТОРИИ ИЗОБРЕТЕНИЯ И НАЧАЛЬНОГО ПЕРИОДА РАЗВИТИЯ РАДИОСВЯЗИ

Сборник документов и материалов

под редакцией
профессора В. Н. Ушакова

Санкт-Петербург
2008

УДК 621.37 (09)

ББК 3884 Г

И 32

Золотинкина Л. И., Лавренко Ю. Е., Пестриков В. М.

И 32 Из истории изобретения и начального периода развития радиосвязи: Сб. док. и материалов / Под. ред. проф. В. Н. Ушакова. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), 2008. 288 с., ил.

ISBN 5-7629-0932-8

Посвящен 150-летию со дня рождения изобретателя радио А. С. Попова. В сборник вошли переводы из работ М. Фарадея, Дж. К. Максвелла и Г. Герца, которые в своей совокупности заложили фундамент радиотехники. История развития представлений об электрических явлениях, связанная с именами этих гениальных ученых, есть по существу предыстория радио. Публикуются научные работы, доклады, письма, лекции и патенты известных ученых, изобретателей и предпринимателей, стоявших у истоков зарождения и развития радиотехники.

Приведены документы и материалы, свидетельствующие о пионерской роли А. С. Попова в изобретении радио, содержится описание патента Г. Маркони, внесшего значительный вклад в развитие беспроводной телеграфии.

Адресован широкому кругу читателей: ученым и инженерам электро- и радиотехникам, аспирантам и студентам, радиолюбителям – всем тем, кому интересна история науки и техники.

УДК 621.37(09)

ББК 3884 Г

Издано по заказу Комитета по науке и высшей школе Правительства Санкт-Петербурга в соответствии с Постановлением Правительства Санкт-Петербурга № 388 от 14 апреля 2008 г. «Об основных мероприятиях на 2008-2009 годы по подготовке и проведению празднования в Санкт-Петербурге 150-летия со дня рождения изобретателя радио А. С. Попова».

© Комитет по науке и высшей школе
Правительства Санкт-Петербурга, 2008

© Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В. И. Ульянова (Ленина), 2008

© Золотинкина Л. И., Лавренко Ю. Е., Пестриков В. М.,
составление, введение, краткий обзор, 2008

ISBN 5-7629-0932-8

СОДЕРЖАНИЕ

От составителей	6
Введение	8
Краткий обзор развития радиосвязи	18
I. Из предыстории радио (1864–1894)	
1.1 Начало экспериментального и теоретического исследований электромагнитного поля	18
1.2 Исследования Герца	21
1.3 Создание элементов будущей системы радиосвязи	23
II. Изобретение и первые шаги радио (1895–1897)	
2.1 А. С. Попов — создатель первой в мире системы радиосвязи	24
2.2 Работы Г. Маркони	27
III. Начальный период развития радиосвязи (1897–1910)	
3.1 Начало практического использования радиосвязи	29
3.2 Искровая техника	32
3.3 Дуговая техника	33
Документы и материалы	36
I. Из предыстории радио (1864–1894)	
М. Фарадей. Мысли о лучевых колебаниях	36
Дж. К. Максвелл. Трактат об электричестве и магнетизме. Предисловие к первому изданию	44
Г. Р. Герц. Исследования по распространению электрической силы. Вводный обзор	54
Г. Р. Герц. О весьма быстрых электрических колебаниях	82

Г. Р. Герц. О лучах электрической силы.....	110
Н. А. Умов. Уравнения движения энергии в телах.....	124
Дж. Г. Пойнтинг. О переносе энергии в электромагнитном поле.....	128
Э. Бранли. Изменения проводимости под различными электрическими воздействиями.....	136
Н. Тесла. О колебательных явлениях при высокой частоте	140
О. Лодж. Творение Герца	144

II. Изобретение и первые шаги радио (1895–1897)

Из протокола заседания Физического отделения РФХО о докладе А. С. Попова «Об отношении металлических порошков к электрическим колебаниям» от 25 апреля (7 мая) 1895 г.	156
А. С. Попов. Прибор для обнаружения и регистрирования электрических колебаний	158
В. Г. Прис. Передача сигналов на расстояние без проводов	172
Г. Маркони. Патент №12, 039. Полное описание, 2 марта 1897 г., приоритет от 2 июля 1897 г.	180

III. Начальный период развития радиосвязи (1897 –1910)

А. С. Попов. О телеграфировании без проводов. Сообщение в Электротехническом институте. 19 (31) октября 1897 г.	188
Э. Дюкрете. О герцевой телеграфии без проводов с радиокондуктором Бранли и приспособлениями А. Попова и Э. Дюкрете	204
В. Ф. Васильев, А. С. Попов, П. Н. Рыбкин. Отчет Комиссии об опытах электрической сигнализации без проводников, произведенных на Минном отряде в кампанию 1897 г. от 2 (14) декабря 1897 г.	210
А. С. Попов. Отчет об опытах телеграфирования без проводников, произведенных в кампанию 1898 г. на Минном отряде	216
Акт Комиссии о производстве опытов телеграфирования без проводов по способу А. С. Попова на Черном море от 13 (25) октября 1899 г.	220

А. С. Попов. Телеграфирование без проводов. Доклад на соединенном заседании VI отдела Русского технического общества и Первого Всероссийского электротехнического съезда	226
А. С. Попов. Телефонный приемник депеш. Описание. Приложение к заявлению о выдаче привилегии от 14 (26) июля 1899 г.	236
А. С. Попов. «Усовершенствование когереров». Английский патент. Заявлен 12 февраля 1900 г. Приоритет от 25 апреля 1900 г.	242
А. С. Попов. Докладная записка Главному инспектору минного дела контр-адмиралу Остелецкому о снабжении кораблей Балтийского и Черноморского флотов радиоприборами от 30 января 1901 г.	246
Б. И. Зубарев. Несколько слов о деятельности Александра Степановича Попова в Электротехническом институте.	248
К. Ф. Браун. Из речи Нобелевского лауреата 11 декабря 1909 г.	252
Э. Бранли, О. Лодж. Письма в Комиссию по вопросу о научном значении работ А. С. Попова	258
 СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	264
УКАЗАТЕЛЬ ИМЕН	266

ОТ СОСТАВИТЕЛЕЙ

Настоящий сборник выпускается в связи со 150-летним юбилеем ученого-физика, профессора Александра Степановича Попова. Самым ярким результатом его разносторонней деятельности явилось изобретение радио и практическая реализация этого изобретения.

Материалы, вошедшие в сборник, относятся к историческому периоду, охватывающему этапы создания необходимых теоретических предпосылок и проведения экспериментальных исследований, завершившихся разработкой систем радиосвязи с использованием незатухающих электромагнитных колебаний.

Прежде всего, в издание включены переводы оригинальных научных трудов, позволяющие воссоздать обстановку научного поиска второй половины XIX века, которая определила стремительное развитие электродинамической теории Фарадея–Максвелла–Герца.

Возникшая на этой основе идея беспроводной связи охватила умы и создала атмосферу состязательности в научном мире, и второй раздел нашей книги составили документы, демонстрирующие ее претворение в жизнь.

Дальнейший период развития радиосвязи представлен обзором наиболее значимых фактов и событий, характеризующих достижения этого нового направления. Развитию радиосвязи в мире на рубеже XIX–XX веков посвящено огромное количество публикаций. В данном сборнике приведены подлинные документы, свидетельствующие об активном развитии радиосвязи в России при непосредственном участии А. С. Попова в 1895–1906 гг.

При составлении книги были использованы в основном следующие источники: сборник оригинальных статей и материалов «Из предыстории радио» под редакцией академика Л. И. Мандельштама (составитель проф. Рытов, впоследствии член-корр. АН СССР, лауреат золотой медали им. А. С. Попова АН СССР), изданный в 1948 г. АН СССР, и сборник документов «Изобретение радио. А. С. Попов. Документы и материалы» под редакцией академика А. И. Берга (составители Е. А. Попова-Кьяндская, В. М. Родионов, М. И. Мосин, В. И. Шамшур), вышедший в 1966 г. в издательстве «Наука».

Ряд статей сборника публикуется в извлечениях, что продиктовано целью его создания и ограниченным объемом книги.

Ссылки к материалам книги образуют три уровня:

- без скобок приведены тексты ссылок, сделанных авторами оригинальных работ;
- в фигурные скобки заключены тексты ссылок в самих печатных источниках;
- в прямых скобках даны ссылки от составителей.

Выражаем благодарность кандидату технических наук, доценту А. А. Новожилову за сотрудничество в подготовке материалов, содержащих оригинальные тексты, вошедшие в сборник, а также выпускнику ЛЭТИ, члену Союза писателей России М. Е. Устинову за помощь в редактировании сборника.

ВВЕДЕНИЕ

Радиотехника как область знаний и практической деятельности человека за сто с лишним лет своего развития прошла огромный путь – от первой системы беспроводной передачи сигналов до современных наземных и космических радиосистем. Значение трудов Александра Степановича Попова для возникновения и развития этой сферы науки и техники трудно переоценить.

Признанный в России и за рубежом, талантливый физик и электротехник А. С. Попов внес вклад в разработку ряда положений теоретических основ радиосвязи, сделал первый шаг в создании отечественной радиопромышленности, заложил фундамент научной радиотехнической школы и радиотехнического образования.

В 1901 г. А. С. Попов, уже будучи известным в области электротехники ученым, возглавил кафедру физики в Санкт-Петербургском Электротехническом институте императора Александра III, а в сентябре 1905 г. Совет института избрал его директором. Педагогическая деятельность А. С. Попова оставила заметный след в становлении отечественной электротехнической и радиотехнической школы по подготовке как военных, так и гражданских специалистов.

Обладая глубокими знаниями в области теоретической и экспериментальной физики, полученными в период обучения на физико-математическом факультете Петербургского университета, используя накопленный опыт электротехника и располагая прекрасно оборудованным физическим кабинетом такого элитного учебного заведения, каким был Минный офицерский класс в Кронштадте, А. С. Попов проводил опыты по самым актуальным вопросам в области электротехники, демонстрировал последние физические открытия на своих учебных и популярных лекциях. Минный офицерский класс осуществлял переподготовку морских офицеров по минному делу и электротехнике, сюда же относились и вопросы электросвязи. Для флота вопрос обеспечения обмена информацией между удаленными объектами (корабль – корабль, корабль – берег) всегда был жизненно важным. И это стимулировало деятельность А. С. Попова в поисках пути практического применения результатов теоретических исследований.

Результаты работ А. С. Попова базировались на научном наследии великих физиков. С трудами М. Фарадея и Дж. К. Максвелла он познакомился, будучи еще студентом Санкт-Петербургского университета, на лекциях И. И. Боргмана, одного из немногих ученых в мире, признавших до работ Г. Герца справедливость физических взглядов Фарадея – Максвелла. Работы современных ему ученых А. С. Попов изучал, уже являясь преподавателем физики в Минном офицерском классе (1883–1901). Обратившись к гениальным работам Г. Герца по исследованию электромагнитных волн, свободно распространяющихся в пространстве через свет- и звуконепроницаемые преграды (1887–1889), А. С. Попов с 1890 г. повторял опыты немецкого ученого и исследовал физические процессы, связанные с электромагнитным полем. Изготовив генератор с вибратором Герца – источник электромагнитных волн и резонатор Герца – индикатор таких волн, он в 1890–1895 гг. неоднократно воспроизводил опыты немецкого ученого на своих лекциях в Кронштадте и в Петербурге. Надо отметить, что опыты Герца повторяли и изучали многие ученые разных стран (Лодж, Риги, Блондло, Лехер, Бозе, Пупин, Минчин, Тесла, Столетов, Егоров). Большое впечатление произвели на Попова опыты Н. Теслы по получению мощных высокочастотных колебаний. На Всемирной выставке в Чикаго (1893) он присутствовал при демонстрации таких опытов самим изобретателем. Идеи Н. Теслы о возможности передачи энергии и сигналов без проводов на значительные расстояния стимулировали поиск практического решения таких задач.

Над проблемой создания прибора, способного выявлять наличие высокочастотного электромагнитного излучения, работали многие ученые мира, в том числе и А. С. Попов. По словам проф. Н. Н. Георгиевского, который работал его ассистентом в Минном офицерском классе, «еще до 1891 г. А. С. Попов в тесном кругу близких ему лиц высказывал мысль о возможности использовать лучи Герца для передачи сигналов на расстояние» [2, С. 31].

В журнале «Электричество» за 1890 г. (№ 1–5) был напечатан обзор проф. О. Д. Хвольсона под заглавием «Об опытах Герца и их значении». В заключительных словах этого обзора было сказано: «Опыты Герца пока кабинетные; что из них разовьется дальше, и не представляют ли они зародыш новых отделов электротехники, — этого решить в настоящее время невозможно». Редакция журнала снабдила столь неопределенный вывод уточняющим примечанием:

«Например, телеграфия без проводов наподобие оптической»¹. Английский физик В. Крукс в «London Fortnightly Review» (1892) опубликовал статью, где предсказывал, что в недалеком будущем электромагнитные волны найдут применение для связи без проводов².

Наиболее плодотворными оказались работы, связанные с исследованием поведения проводящих веществ с зернистой структурой под действием электромагнитных волн. Видная роль в исследовании таких сред принадлежит французскому ученому Э. Бранли, создавшему в 1890 г. «радиокондуктор» – прибор, представляющий собой трубку с металлическими опилками, сопротивление которых изменялось под воздействием высокочастотных колебаний. Недостатком этого индикатора электромагнитного излучения являлась потеря чувствительности после одноразового облучения.

Работы Э. Бранли заинтересовали английского ученого О. Лоджа, увидевшего в этом открытии возможность получить более чувствительный индикатор электромагнитных волн, чем резонатор Герца. Лодж усовершенствовал прибор Бранли (1894), подсоединив к нему механическое устройство для периодического встряхивания опилок, назвав его «когерер» (от слова когезия – сцепление).

1 июня 1894 г. Лодж прочитал в Королевском институте лекцию «Творение Герца», посвященную его памяти (Герц умер 1 января того же года) и описанию работ некоторых его последователей³. Лодж демонстрировал перед слушателями опыты Герца, рассказал об устройстве когерера. Однако ни в лекции, ни в других выступлениях Лоджа не была показана возможность применения волн Герца для связи без проводов. Тем не менее публикация лекции Лоджа о работах Герца в английском журнале «The Electrician» способствовала появлению у А. С. Попова идеи технического осуществления приемника радиоволн с использованием когерера. Но здесь он пошел по своему собственному пути и вскоре добился возможности применения электромагнитных волн для передачи сигналов на расстояние.

Русский ученый изобрел когерерный приемник, оригинальная конструкция которого позволяла восстанавливать чувствительность когерера после каждого электромагнитного воздействия, обеспечивая устойчивый прием последовательности посылок высокочастотных электромагнитных колебаний различной длительности. Таким образом, он создал первую в мире систему беспроводной связи при помощи электромагнитных волн, положив начало новой научно-технической отрасли — радиотехнике.

¹ [1, С. 411–415].

² [1, С. 416–420].

³ [Наст. сб., С. 144–155].

Публичная демонстрация А. С. Поповым 7 мая 1895 г. созданной им системы передачи информации дала импульс к зарождению и развитию многих совершенно новых научных направлений и творческих идей. Это радиосвязь, обеспечившая огромный скачок в развитии человеческой цивилизации, радиовещание, радиоастрономия и телевидение, радиометеорология и радионавигация, радиоразведка и радиопротиводействие. Система, опробованная А. С. Поповым в действии, содержала все основные элементы связи, которые приущи современному понятию «радиотелеграфная передача сигналов».

Однако Попов не взял патента на свое изобретение. Ограничившись публикацией в печати схемы своего радиоприемника и описав его устройство и работу, он следовал традициям, свойственным лучшим представителям мировой науки. В его статьях, речах, докладах, записках, рапортах и письмах видна исключительная скромность автора. На вершине своей славы, распространившейся далеко за пределы России, А. С. Попов продолжал считать себя рядовым науки, внесшим лишь скромную лепту в учение об электричестве и его применения. Он всегда отдавал должное заслугам своих предшественников, на основе достижений которых разработал свою аппаратуру. Некоторые из этих ученых подошли вплотную к изобретению радиосвязи, тем не менее никто из них – и это бесспорно – не может быть назван изобретателем радиосвязи.

Документами, доказывающими бесспорный приоритет А. С. Попова в изобретении радиосвязи, являются выписка «Из протокола заседания Физического отделения РФХО о докладе А. С. Попова «Об отношении металлических порошков к электрическим колебаниям» (25 апреля/7 мая 1895 г.)¹ и статья А. С. Попова «Прибор для обнаружения и регистрирования электрических колебаний», датированная декабрем 1895 г. и опубликованная в Журнале Русского физико-химического общества в январе 1896 г.²

Необходимо отметить, что работа в Морском ведомстве накладывала определенные ограничения на публикацию А. С. Поповым результатов своих исследований. В январе 1896 г. он продемонстрировал возможность практического использования созданной им системы радиосвязи на заседании Кронштадтского отделения Русского

¹ [Наст. сб. С. 156-157].

² [Наст. сб. С. 158-171].

технического общества, основными членами которого были морские офицеры. После этого доклада Попову было рекомендовано не публиковать свои работы на эту тему. Соблюдая данное им клятвенное обязательство о неразглашении сведений, составляющих секретную информацию, Попов в 1896 г. не публиковал новых результатов своих работ. В то же время аннотации и резюме его статьи появлялись в открытой печати.

Первой публикацией, посвященной практическому применению радио, стала опубликованная в журнале «The Electrician» статья, подготовленная на основе доклада В. Г. Приса «Передача сигналов на расстояние без проводов» в британском Королевском институте (4 июня 1897 г. — спустя *более двух лет* после доклада, сделанного Поповым 7 мая 1895 г.). В ней впервые было дано описание аппаратуры Маркони, о которой средства массовой информации Англии сообщали с середины 1896 г.¹

Выступление В. Приса и публикация патента Г. Маркони дали возможность А. С. Попову (с разрешения командования) прочитать в течение второй половины 1897 г. целый ряд лекций на тему «О телеграфировании без проводов» с демонстрацией системы радиосвязи перед различными аудиториями: на 4-м совещательном съезде железнодорожных электротехников в Одессе (сентябрь), в Императорском Русском техническом обществе (сентябрь), в Петербургском Электротехническом институте (октябрь), в Императорском Санкт-Петербургском университете (декабрь), а также специально для руководителей Морского ведомства России и офицеров Главного Морского штаба (январь 1898 г.). Текст этих выступлений близок к тексту сообщения в Электротехническом институте².

Весной 1897 г. началась подготовка опытов по сигнализации между судами без проводов. Испытания успешно завершились летом этого же года, о чем А. С. Поповым был представлен подробный отчет³.

Испытания аппаратуры под руководством А. С. Попова с участием все большего количества судов и с усложнением методики их проведения проходили с 1897 по 1903 гг. Отчеты об этих испы-

¹ [Наст. сб. С. 172-179].

² [Наст. сб. С. 188-203].

³ [Наст. сб. С. 210-215].

таниях за 1897, 1898 и 1899 гг., а также докладная записка А. С. Попова с предложениями по снабжению кораблей Балтийского и Черноморского флотов приборами телеграфирования без проводников и подготовке специалистов по работе с ними приведены в основной части сборника¹.

Информация о работах А. С. Попова была известна ученым на Западе и в САСШ (Североамериканских Соединенных Штатах). Поэтому претендовавшему на первенство в изобретении системы беспроводной телеграфии Г. Маркони было отказано в выдаче патента на изобретение не только во Франции, Германии и России, но и за океаном.

С 1897 г. активное участие в продвижении изобретения А. С. Попова принял французский предприниматель инженер Э. Дюкрете. Пользуясь указаниями Попова (интенсивная переписка велась с 1898 по 1904 гг.) и средствами своей прекрасной мастерской, Дюкрете выпускал аппаратуру для судов по заказам Морского ведомства России и для французского флота. На Международной промышленной выставке 1900 г. в Париже, где демонстрировались аппаратура под маркой «*Popoff-Ducrétet-Tissot*» и грозоотметчик, изготовленный в Кронштадте, Попов был награжден Большой именной золотой медалью.

Путь усовершенствования первых систем радиосвязи вплоть до применения в них резонансных цепей можно проследить по включенным в настоящий сборник статьям и докладам А. С. Попова.

Заметным событием в дальнейшем развитии радиотехники стало изобретение А. С. Поповым телефонного приемника депеш, на который он получил патенты России и Франции, а основной его элемент, усовершенствованный когерер — первый полупроводниковый кристаллический точечный диод, запатентовал в Англии.

На протяжении всей активной творческой жизни ученому сопутствовало определение «первый». Это первый когерерный радиотелеграфный приемник и первая искровая радиотелеграфная система (апрель 1895 г.); первый прибор для регистрации электромагнитных излучений атмосферного происхождения — грозоотметчик (июль 1895 г.); первый детекторный радиоприемник с приемом телеграфных

¹ *Надо отметить, что при разработке аппаратуры и оценке ее возможностей А. С. Попов всегда учитывал влияние окружающей электромагнитной обстановки на работу электротехнических средств, возможное влияние непреднамеренных помех, условия эксплуатации аппаратуры.*

сигналов на слух (сентябрь 1899 г.); первый аналог полупроводникового кристаллического точечного диода (июнь 1900 г.); первая радиотелефонная система (декабрь 1903 г., совместно с С. Я. Лифшицем).

Став профессором физики ЭТИ, А. С. Попов так определил для себя цели учебного курса физики: «Главная задача курса физики — дать основы учения об электричестве в таком изложении, чтобы те глубокие взгляды на природу электрических явлений, которые создались благодаря работам М. Фарадея и Дж. К. Максвелла, заняли первенствующее положение в науке и после знаменитых опытов Г. Герца не казались недоступными для обыкновенных смертных, а напротив, являлись руководящими началами в изучении электротехники.

В настоящее время эта задача становится все более и более осуществимой благодаря новейшим успехам учения об электромагнитных волнах, и об электрических колебаниях <...> изучение этого нового вида электрической энергии должно занять одно из главных мест в курсе физики <...> Систематическое изучение новых явлений становится возможным только тогда, когда явятся методы и приборы для измерения этого рода электрической энергии; таких почти нет еще, но многие пути для их разработки уже намечены <...> Таким образом, намечается ряд работ простых и доступных молодым начинающим специалистам — это будут испытания, сравнительная оценка новых измерительных методов и приборов <...> Наконец целый ряд открытых, но не объясненных еще явлений в этой области учения об электричестве дает обильный материал для сложных работ на многие годы...»¹.

Научно-исследовательским работам А. С. Попова в ЭТИ был посвящен доклад его ассистента Б. И. Зубарева на заседании Физического отделения РФХО, посвященного памяти А. С. Попова.²

Заканчивая в 1895 г. свою первую статью, Попов писал: «В заключение могу выразить надежду, что мой прибор при дальнейшем усовершенствовании его может быть применен к передаче сигналов на расстояния при помощи быстрых электрических колебаний, как только будет найден источник таких колебаний, обладающий достаточной энергией...».

¹ [ЖРФХО, т. XXXVIII, вып. 1, 1906, С. 28–29].

² [ЖРФХО, т. XXXVIII, вып. 1, 1906, С. 23].

Немецкий ученый К. Ф. Браун при получении Нобелевской премии в 1909 г., как бы переключаясь с этим утверждением А. С. Попова, обозначил главное направление своих исследований — создание значительно более мощного и более сложного по структуре радиопередающего устройства. В завершение своего выступления Браун сказал: «Я радуюсь тому, что при помощи только что упомянутых средств удалось ближе подойти к этой цели и таким образом сделать крупный шаг вперед в развитии сложного передатчика, без которого в настоящее время невозможна работа на большое расстояние, а тем самым и в развитии беспроволочной телеграфии». Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси так охарактеризовали значение работ Брауна, открывшего новые пути для беспроволочной телеграфии: «Браун пришел к убеждению, что задача создать мощный передатчик распадается на две отдельные задачи: на задачу получения токов высокой частоты и на задачу достижения рационального излучения электромагнитных волн. Заземленная антенна Маркони представляет собой хороший излучатель, в качестве же генератора (производителя) токов высокой частоты она мало пригодна. Нужно сначала получить мощные токи вне антенны, а затем поставлять эти токи антенне, предоставив ей исполнять свои функции: излучать электромагнитные волны. Передатчик Маркони нерационален постольку, поскольку антенна несет функцию как генератора, так и излучателя. В качестве генератора Браун ввел замкнутый колебательный контур. <...> Одним из существенных преимуществ такого разделения является возможность уменьшить вредное влияние искры»¹. В решение задачи «уменьшения вредного влияния искры» существенный вклад внес М. Вин, о работах которого также упоминает в своей речи К. Ф. Браун.

Вопрос о приоритете в изобретении радио обсуждался практически непрерывно в течение всего XX в. Финансовые возможности фирмы Маркони и доминирование ее на рынке радиоаппаратуры привели к замалчиванию роли и имени А. С. Попова после его трагической ранней кончины. Не только на Западе, но и в России стали появляться материалы, статьи о развитии радиосвязи, в которых имя А. С. Попова не упоминалось вообще. В связи с этим в 1908 г. Русским физико-химическим обществом была организована Комиссия по вопросу о научном значении работ А. С. Попова под руководством проф.

¹ [5, С. XVII–XVIII].

О. Д. Хвольсона. В настоящем сборнике приведены¹ письма Э. Бранли и О. Лоджа, направленные ими в адрес Комиссии РФХО по ее запросу. Э. Бранли выслал в адрес комиссии целую подборку выдержек из своих статей, отмечая, что в вопросе применения антенн в передающих и приемных устройствах первенство принадлежит именно ему.² О. Лодж в своем ответе отмечает, что именно А. С. Поповым впервые была решена проблема приема последовательности сигналов для передачи сообщений «телеграфными сигналами».

В Мемориальном музее А. С. Попова Санкт-Петербургского Государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» собраны документы, неопровержимо доказывающие приоритет А. С. Попова в изобретении радио. Неоднократно музей посещали президенты американского Института инженеров электротехники и электроники (IEEE). По их инициативе музей обратился в Исторический центр IEEE с просьбой рассмотреть вопрос об установке в Санкт-Петербурге мемориальной доски «Milestone» как свидетельство определенной вехи в развитии электротехники.

Такие документы были предоставлены Историческому центру IEEE, который принял решение об установке в Санкт-Петербурге бронзовой мемориальной доски «Milestone», на которой отлита надпись на английском языке, в переводе гласящая: **«Вклад А. С. Попова в развитие радиосвязи, 1895. 7 мая 1895 года А. С. Попов продемонстрировал возможность передачи и приема коротких и продолжительных сигналов на расстояние до 64 метров посредством электромагнитных волн с помощью специального переносного устройства, которое реагировало на электрические колебания, что стало определяющим вкладом в развитие беспроводной связи».**

В Швейцарии установлена мемориальная доска «Milestone», свидетельствующая о том, что Маркони начал свои опыты по беспроводной телеграфии 25 сентября 1895 г.

¹ [Наст сб., С. 144-155].

² Надо отметить, что защитники приоритета Маркони в изобретении радио подчеркивали, что отличительным признаком и существенным преимуществом аппаратуры Маркони от аппаратуры, описанной в статье А.С. Попова [Наст сб., С. 158-171], является применение антенны на передающей стороне. В мае 1897 г. в ходе опытов на море Попов применял антенны и на передающей и на приемной стороне [Наст сб., С. 210-215]

Заслуги А. С. Попова были отмечены государством и научно-общественными организациями. Он имел высокий чин статского советника (с 1901), был награжден орденами Св. Анны 3-й и 2-й степеней (1895, 1902), Св. Станислава 2-й степени (1897), серебряной медалью в память царствования Александра III на ленте ордена Александра Невского (1896), получил премию Императорского Русского технического общества (ИРТО) «за приемник для электрических колебаний и приборы для телеграфирования на расстоянии без проводов» (1898); был удостоен утверждаемого Министром внутренних дел звания Почетного инженер-электрика (1899), получил «по Высочайшему соизволению» вознаграждение в сумме 33 тысяч рублей «за *труды по применению телеграфирования без проводов на судах флота*» (1900). В 1902 г. он был избран почетным членом ИРТО, а с 1906 г. должен был стать председателем Физического отделения и президентом Русского физико-химического общества (РФХО).

Традиции глубокого изучения физики и практической реализации достижений науки, заложенные А. С. Поповым, сохраняются в Санкт-Петербургском Государственном электротехническом университете «ЛЭТИ» и в настоящее время. Именно в ЭТИ, при активном участии профессора физики, а затем директора А. С. Попова, были сформированы основные научные направления, связанные с электротехникой: электросвязь, промышленная электротехника, электроэнергетика и электрохимия. Эти направления с учетом современного уровня развития науки и техники, требований промышленности успешно развиваются и в наши дни. Особое место в учебном курсе занимает радиоэлектроника, достижения которой связаны с развитием микро-, а теперь уже и нанотехнологий. Радиоэлектроника стала катализатором всего научно-технического прогресса современного общества и во многом определяет вектор развития других отраслей экономики.

Составители сборника старались проследить ту связующую нить, которая протянулась от идей, высказанных выдающимися физиками в фундаментальных трудах по теории электромагнитного поля, — через поразительные по мощи научного познания эксперименты исследователей второй волны — к изобретению А. С. Попова, гениально простого, но такого востребованного в мире устройства, заслуженно определившего своим появлением начало новой эры — эры радио.

КРАТКИЙ ОБЗОР РАЗВИТИЯ РАДИОСВЯЗИ

I. ИЗ ПРЕДЫСТОРИИ РАДИО (1864–1894)

1.1. Начало экспериментального и теоретического исследований электромагнитного поля

В начале XIX в. датский физик Х. Эрстед обнаружил взаимодействие электрического тока с магнитным элементом. Это произошло в 1820 г., во время лекционного эксперимента, когда он демонстрировал студентам Копенгагенского университета нагревание проводника, по которому пропускается ток. На лабораторном столе случайно находился компас, и Эрстед заметил, что его стрелка отклоняется при прохождении тока по проводу. В дальнейшем он тщательно изучил взаимодействие тока и магнитной стрелки и, по существу, установил векторный характер магнитного поля, возбуждаемого током. Результаты его исследований были обобщены французским ученым А. Ампером (1825) в виде уравнения для тока, носящего его имя. Таким был первый шаг в создании электродинамики. За этим последовало множество работ, способствовавших появлению первых практических применений электричества. Исследования английского ученого М. Фарадея и американского физика Дж. Генри в первой половине XIX в. показали жесткую связь между электрическими и магнитными явлениями. Именно Фарадей и, почти одновременно с ним, Генри открыли явление электромагнитной индукции (1831), хотя двумя годами ранее взаимозависимость тока в замкнутой цепи и меняющегося во времени магнитного поля отметил итальянский физик, священник Ф. Зантедески. Фарадей также открыл явление взаимоин-

дукции, обнаружил поворот плоскости поляризации оптических лучей в магнитном поле (эффект Фарадея), создал прототип электрического генератора — «электрическое динамо». В это же время французский математик Пуассон и англичанин Грин¹ создали теорию потенциала, которая и поныне остается актуальной.

Основной вклад в теорию электромагнетизма был сделан английским (точнее, шотландским) физиком Дж. К. Максвеллом. Он был хорошо знаком с работами Фарадея и в конце 1864 г. сделал доклад на заседании Королевского общества, который в следующем году был опубликован в Трудах Королевского общества (т. CLV) под названием «Динамическая теория электромагнитного поля». В этой работе он сформулировал 20 дифференциальных уравнений относительно такого же количества неизвестных. В своих построениях ученый исходил из понятия магнитного векторного потенциала, рассматривая его как основную переменную, а магнитное поле как вторичную. Из этой работы следовало, что скорость распространения электромагнитного поля равняется скорости света, и Максвелл сделал следующий вывод:

«...похоже, что согласие этих результатов показывает, что свет и магнетизм есть влияние на одну и ту же субстанцию, что свет есть электромагнитное возмущение, распространяющееся в соответствии с законами электромагнетизма». В 1873 г. Максвелл публикует свой основной труд «Трактат об электромагнетизме», где обобщает полученные результаты. К сожалению, у него не было ни учеников, ни коллег, которые могли бы продолжить его работу. После смерти Максвелла (1879) в этом направлении пытался работать Дж. Ф. Фитцджералд, профессор колледжа Святой Троицы в Дублине, сторонник теории «эфира» как среды, в которой (по предположению) распространяется электромагнитное поле. Немного позже с Фитцджералдом стал сотрудничать О. Лодж, профессор Университетского колледжа в Ливерпуле. Однако они так и не

¹ Дж. Грин стал математиком несколько необычным образом. В детстве он учился в школе всего один год (с 8 до 9 лет), а затем трудился на мельнице, принадлежавшей его отцу (после смерти отца он унаследовал ее). Свою первую и основную научную работу под названием «Эссе о приложении математического анализа к теориям электричества и магнетизма» он опубликовал в 1826 г. в возрасте 31 года. В 1840 г., когда ему было уже 45 лет, по настоянию своего соседа — землевладельца и математика Э. Бромхеда, он поступил в Кембриджский университет, который блестяще окончил, и остался там как преподаватель.

смогли получить решений уравнений Максвелла. Это удалось другому английскому ученому и инженеру — О. Хевисайду, который изучал трактат Максвелла сразу после его выхода в свет. В процессе этой работы он создал математический аппарат векторного анализа (1884; практически одновременно и независимо от американского ученого Дж. У. Гиббса) и с его помощью свел число уравнений до четырех, придав им современный вид. Для обеспечения их полной дуальности он даже ввел понятие фиктивного магнитного тока. В 1887–1889 гг. молодой немецкий ученый Генрих Герц экспериментально подтвердил теорию Максвелла (он также, независимо от Хевисайда, получил дуальную форму уравнений Максвелла).

Таким образом, понадобилось 24 года для доказательства истинности теории, перед которой открывалось блестящее будущее.

В своем введении к сборнику «Из предыстории радио» Л. И. Мандельштам отмечает: «Изобретение радио, равно как и его развитие, сделались возможными только благодаря тому перевороту в представлениях об электрических явлениях, который связан с именами Фарадея, Максвелла и Герца. История развития этих представлений есть по существу предыстория радио <...> Редко можно встретить в истории науки такой яркий пример преемственности работы ряда гениальных исследователей, какой мы видим здесь, в создании той замечательной картины электромагнитных явлений, которая вплоть до сегодняшнего дня — я думаю, это можно сказать, не забывая о квантовой теории — пронизывает все наше физическое мирозерцание. Для нас в особенности интересна одна, правда основная, сторона этой картины, которая главным образом и придала ей ее революционный характер. Я, конечно, имею в виду роль и значение в этой картине непроводящей среды и, в особенности, вакуума, тесно связанную с этим конечность скорости распространения электромагнитных импульсов и волн и, наконец, электромагнитную теорию света».

Мандельштам далее отмечает, что «каждый из этих замечательных ученых **сам** совершенно четко указывает, в чем и в какой мере он опирается на своих предшественников <...> Первый, кто понял и оценил идеи Фарадея, кто на основе этих не совсем ясных, но по своему направлению достаточно определенных идей создал это новое направление, был Максвелл. В своем знаменитом «Treatise» Максвелл

очень ясно высказывает свое мнение о направлении Ампера, с одной стороны, и о направлении Фарадея, с другой. Слова Максвелла чрезвычайно ярко характеризуют тогдашнюю ситуацию и его собственное отношение к ней <...> Громадное познавательное значение взглядов Фарадея — Максвелла, и в особенности теории Максвелла, заключалось именно в том, что эта теория, наряду с объяснением уже известных фактов, предсказывала — и не только в общих чертах, а весьма конкретно, вплоть до количественной стороны — существование новых, до тех пор неизвестных явлений: существование электромагнитных волн — одно из них, хотя, может быть, и самое главное. И это вышло как-то помимо самих авторов. Несомненно, ни Фарадей, ни Максвелл первоначально вовсе не имели в виду *ту* связь между оптикой и электромагнитными явлениями, которая так ярко выявилась в качестве результата теории, создававшейся первоначально только для электрических явлений. Это придает теории Максвелла громадную эвристическую силу. «Нельзя изучать эту чудесную теорию, — говорит Герц, — без того, чтобы порою не возникало ощущения, что математическим формулам присущи самостоятельная жизнь и собственный разум, что они умнее нас, умнее даже открывшего их, что они дают больше, чем в них было ранее вложено»¹.

1.2. Исследования Герца

Во время обучения на физико-математическом факультете Берлинского университета Генрих Герц работал под руководством выдающегося физика Г. Гельмгольца. После окончания университета в 1883 г. Герц в звании приват-доцента читал лекции по курсу теоретической физики в Кильском университете, а с 1885 г. стал профессором экспериментальной физики Высшей технической школы в Карлсруе. Именно здесь он выполнил исследования, прославившие его имя. Еще в 1879 г. по инициативе Гельмгольца Берлинская Академия наук объявила премию за работы по теме «Доказательство существования связи между электродинамическими силами и диэлектрической поляризацией». Гельмголец сразу предложил Герцу заняться этой темой, однако последний приступил к ней только в Карлсруе.

¹ [1, с. 23, 26].

Не получив быстрых результатов по заявленной теме, Герц углубился в исследование явлений, неожиданно проявившихся в процессе экспериментирования. Его внимание привлекла ярко выраженная связь между искрой колебательного разряда в разряднике, питаемом катушкой Румкорфа, и искрой, возникающей в искровом зазоре проволочного кольца (резонатора) с включенным в него искровым микрометром Рисса¹. Возникновение искорок свидетельствовало о появлении электромагнитных волн в пространстве. Проведя серию блестящих исследований, Герц подтвердил единую природу излучаемых разрядником электромагнитных волн со световыми. На своей установке, оснащенной фокусирующими зеркалами и призмами, Герц наблюдал прямолинейное распространение, отражение, интерференцию, преломление и наличие поляризации у открытых им электромагнитных волн. Дальность связи излучателя и детектора на усовершенствованной установке Герца была более 20 метров. Лучи Герца распространялись сквозь стены помещений и отражались от проводящих объектов.

В обобщающей работе Герца «Силы электрических колебаний рассматриваемые с точки зрения теории Максвелла» теория Максвелла была подтверждена объективными данными экспериментов. В конце 1888 г. на заседании Берлинской Академии наук Герц сделал доклад о результатах своих исследований. Публикация работ Герца вызвала большой резонанс в научном мире. Очевидной стала возможность связи на расстоянии посредством электромагнитных волн.

По существу, установка Герца содержала основные элементы радиотехнической системы. Они были просты, маломощны и неэффективны, однако полностью соответствовали своему назначению. Сам Герц, отвечая на вопрос своего современника Губера о возможности использования электромагнитных волн для «телеграфирования без проводов», писал: «...электрические колебания в трансформаторах и телефонах слишком медленные <...> Если бы Вы были способны построить вогнутые зеркала размером с материк, то Вы могли бы поставить намеченные опыты, но практически сделать ничего нельзя: с обычными зеркалами Вы не обнаружите ни малейшего действия. По крайней мере, я так думаю». Этот ответ говорит о том, что Герц предполагал осуществление связи без проводов как излучение и прием непосредственно информационного (низкочастотного) сигнала.

¹ [Наст. сб. С. 82-109].

1.3. Создание элементов будущей системы радиосвязи

Полученные Герцем результаты дали мощный толчок к поискам возможностей реализации «беспроводной связи». Для этого нужно было создать достаточно эффективные элементы системы. Передающее устройство на основе катушки Румкорфа с конструктивно усовершенствованным разрядником, питаемое от гальванической батареи через прерыватель, было достаточно действенным, несмотря на то, что генерируемые им колебания затухали и имели малую мощность. Приемное устройство в установке Герца нужно было заменить на более эффективное, способное устойчиво принимать и регистрировать слабые сигналы. Поэтому актуальной задачей стал поиск нового высокочувствительного приемного устройства,

Французский физик Э. Бранли предложил использовать для регистрации наличия электромагнитного излучения не искровой индикатор, а специальный прибор в виде стеклянной трубки с металлическими опилками внутри, названный им «радиокондуктором» (прообраз будущего когерера)¹. Действие «радиокондуктора» основывалось на явлении резкого перехода в проводящее состояние металлических порошков при облучении электромагнитными волнами. Недостатком прибора Бранли являлась потеря чувствительности после одноразового облучения и неустойчивость обратных переходов под воздействием случайных факторов.

Английский ученый О. Лодж предложил использовать специальное устройство для встряхивания порошка с целью восстановления чувствительности «радиокондуктора», срабатывание которого, однако, не зависело от наличия или отсутствия электромагнитного излучения. Своему изобретению он дал название «когерер». Так же как и радиокондуктор Бранли, когерер являлся только индикатором наличия электромагнитного излучения, не позволяя достоверно регистрировать принимаемые сигналы различной длительности и/или их последовательности.

¹ Надо заметить, что первые работы по проводимости порошков железа были сделаны итальянским физиком Фемистоклом Кальцески-Онести между 1884–1886 гг.

II. ИЗОБРЕТЕНИЕ И ПЕРВЫЕ ШАГИ РАДИО (1894–1905)

2.1. А. С. Попов — создатель первой в мире системы радиосвязи

Александр Степанович Попов родился в семье священника 4 (16) марта 1859 г. в горняцком селении Турьинские Рудники Верхотурского уезда Пермской губернии. Окончил физико-математический факультет Петербургского университета (1882). В 1882 г. защитил диссертацию на тему: «О принципах магнито- и динамоэлектрических машин постоянного тока». В 1883–1901 гг. преподавал высшую математику, физику и электротехнику в Минном офицерском классе (МОК) в Кронштадте, в 1890–1900 гг. — в Техническом училище морского ведомства там же. Одновременно в 1889–1898 гг. в летнее время заведовал главной электростанцией Нижегородской ярмарки.

В конце 1880-х гг., под влиянием работ Дж. Максвелла и особенно Г. Герца, он начал изучать электромагнитные явления. В 1890 г. изготовил аппаратуру для экспериментальных исследований, прочел серию лекций о свойствах электромагнитных волн и о связи между световыми и электрическими явлениями. Он стал убежденным сторонником идеи о возможности передачи сигналов на расстояние без проводов. Надо отметить, что все исследователи, занимавшиеся проблемой «связи без проводов», рассматривали ее исключительно как «телеграфию без проводов», в которой для передачи информации использовалась бы азбука Морзе. В этом случае сигналы (короткие и продолжительные) должны были передаваться в виде пачек затухающих колебаний, возбуждаемых в передатчике–разряднике катушки Румкорфа. Говоря современным языком, поток затухающих колебаний модулировался посылками азбуки Морзе. Использование модуляции снимало ограничения, выдвинутые Герцем в его ответе Губеру.

В своей аппаратуре в качестве передающего устройства Попов применил модернизированный им вибратор Герца. Ему удалось решить проблему построения приемного устройства, способного принимать и регистрировать сигналы различной длительности. «Прибор для обнаружения и регистрирования электромагнитных колебаний» включал в себя чувствительный к электромагнитным волнам элемент — «радиокондуктор» (когерер) Бранли–Лоджа. В цепь с когерером Попов включил реле, обеспечивавшее подключение исполнительного устройства — электрического звонка, молоточек которого ударял одновременно по чашке звонка и по трубочке когерера, встряхивая опилки и восстанавливая чувствительность прибора после приема каждого сигнала. Пришедший сигнал система регистрировала прерывистым звонком соответственной длительности.

Попов провел кропотливую работу по исследованию свойств различных материалов (порошков, металлических опилок, свинцовой дроби и пр.), добившись значительной чувствительности при достаточном постоянстве когерера.

Весной 1895 г. Попов с помощью ассистента П. Н. Рыбкина проводил опыты по передаче и приему сигналов на расстоянии до 64 м в саду Минного офицерского класса. При этом в качестве антенны для повышения чувствительности приемника использовалась вертикальная проволока длиной 2,5 м.

На заседании Физического отделения Русского физико-химического общества (РФХО) 25 апреля (7 мая) 1895 г. Александр Степанович прочитал доклад об изобретенной им системе связи без проводов и продемонстрировал возможность передавать и принимать короткие и продолжительные сигналы. Информация о докладе была напечатана в газете «Кронштадтский вестник» 30 апреля (12 мая) 1895 г. и в Журнале РФХО (1895. Т. 27, вып. 8). Полностью доклад был опубликован в Журнале РФХО (1896. Т. 28, вып. 1), в сокращенном виде — в журналах «Электричество» и «Метеорологический вестник». Журнал РФХО имел международную рассылку. Аннотация данной статьи была переведена на основные европейские языки (английский, французский и немецкий). Создав когерерный приемник, Попов построил первую в истории систему беспроводной связи. На момент создания его схема обладала **мировой новизной**.

При испытаниях была обнаружена чувствительность приемника к атмосферным разрядам, и Попов сконструировал специальный прибор, позднее названный «грозоотметчиком», для приема электромагнитных колебаний атмосферного происхождения с автоматической записью на бумажную ленту самопишущего прибора. С июля 1895 г. грозоотметчик использовался для метеорологических наблюдений в Лесном институте в Петербурге и для изучения атмосферных помех радиоприему в лаборатории Минного офицерского класса в Кронштадте.

Результаты исследований 1895 г. нашли свое отражение в статье «Прибор для обнаружения и регистрирования электрических колебаний»¹.

Поскольку при поступлении на службу в Техническое училище Морского ведомства А. С. Попова дал клятвенное обязательство о неразглашении сведений, представляющих военную тайну, то после доклада в январе 1896 г. о созданной им системе передачи сигналов без проводов перед чинами Морского ведомства публикаций по этому вопросу у Попова не было, однако работы в этом направлении велись.

В марте 1896 г., используя передатчик своей конструкции, радиоприемник и телеграфный аппарат Морзе, Попов осуществил передачу и прием слов «Heinrich Hertz» азбукой Морзе между зданиями Петербургского университета на расстоянии 250 м. В марте 1897 г. в Морском собрании Кронштадта он прочитал лекцию «О возможности телеграфирования без проводов», сопровождая ее наглядными опытами.

Весной 1897 г. он совместно с ассистентом П. Н. Рыбкиным добился устойчивой радиотелеграфной связи на расстоянии 600 м между берегом и кораблями в Кронштадтской гавани, летом — на расстоянии до 5 км между кораблями. При этом в ходе испытаний было обнаружено отражение радиоволн посторонним металлическим телом (кораблем), попавшим на прямую линию между передатчиком и приемником, что нашло отражение в отчете об опытах 1897 г. В дальнейшем Попов предложил способ определения направления на источник электромагнитного излучения.

¹ [Наст. сб., С. 158-171].

В 1897 г., уже после появления в июле этого года информации о получении Г. Маркони патента и раскрытии технической сути его изобретения, Попов прочел ряд лекций о возможности телеграфии без проводов.

В 1898–1904 гг. Александр Степанович консультировал французского инженера и владельца мастерской физических приборов в Париже Э. Дюкрете, начавшего производство радиоаппаратуры по схеме Попова для военно-морских флотов Франции и России. В мае 1899 г. Попов передал ему заказ российского Морского ведомства на поставку 25 корабельных радиотелеграфов в течение 5 лет.

Для увеличения дальности связи в августе 1899 г. Попов при поддержке начальника Воздухоплавательной школы А. М. Кованько проводил в Воздухоплавательном парке под Петербургом опыты по радиосвязи с использованием высокоподнятой антенны в виде покрытого металлической фольгой воздушного шара. Осенью 1899 г. А. С. Попов и П. Н. Рыбкин провели обширные опыты на судах Черноморского флота, получив дальность действия радиотелеграфа более 30 км.

2.2. Работы Г. Маркони

Одновременно в Италии, а с 1896 г. в Англии, проводил подобного рода опыты Гульельмо Маркони. Он родился в Италии в 1874 г. в богатой семье. Отец его был итальянским землевладельцем, а мать происходила из семьи производителей виски в Англии. По окончании школы он поступил в университет, где лекции читал профессор Болонского университета Аугусто Риги, научные интересы которого были связаны с электромагнетизмом. В сентябре 1895 г. Маркони начал эксперименты с аппаратурой для осуществления беспроводной связи, но никаких документальных свидетельств об этих экспериментах и их результатах, кроме воспоминаний не вполне надежных свидетелей, не существует. Попытка Маркони запатентовать в Италии созданную им систему беспроволочной телеграфии не привела к успеху. Существует мнение, что А. Риги, знавший о работах

Попова и переписывавшийся с ним, воспрепятствовал этому. В начале 1896 г. Маркони переехал в Англию и в июне 1896 г. подал заявку на патент. Через год, в июле 1897 г., он получил патент № 12039 — «Усовершенствование в передаче электрических импульсов и сигналов в аппаратуре для этого». В течение этого времени он интенсивно совершенствовал свою аппаратуру с помощью инженеров Почтового ведомства Великобритании, в результате чего в 1897 г. ему удалось добиться дальности связи до 16 км. В этом же году была образована «Компания беспроволочного телеграфа» (Wireless Telegraph Co), приобретающая патент Маркони, в рамках которой Маркони продолжал дальнейшую работу над системами радиосвязи. В конце 1901 г. он заявил, что им была установлена связь (односторонняя) между Полдью в Корнуэлсе (западная оконечность Великобритании) и Сент-Джоном на острове Ньюфаундленд (около восточного берега Канады). Узнав об этом, Никола Тесла заявил, что Маркони использовал 17 принадлежащих ему (Тесла) патентов. В докладе об изобретении Маркони летом 1897 г. главный инженер телеграфного ведомства Великобритании В. Прис сказал: «Г. Маркони не сделал ничего нового. Он не открыл каких-либо новых лучей; его передатчик сравнительно не нов, его приемник основан на когерере Бранли. Колумб не изобрел яйца, но показал, как его поставить на острый конец. Маркони, пользуясь известными средствами, создал «электрический глаз», более тонкий, чем все известные электрические инструменты, и новую систему телеграфии, которая сделает доступными до сих пор недосыгаемые места». Попытки Маркони получить патенты в США, Франции, Германии и России были неудачны. Однако его вклад в развитие «беспроволочной связи» нельзя недооценивать. Маркони был прекрасным «менеджером» и способным инженером, и за свою долгую жизнь (он умер в 1937 г.) успел много сделать для развития радиотехники. В 1909 г. ему, вместе с немецким ученым Карлом Фердинандом Брауном (создателем электронно-лучевой трубки и кристаллического детектора), была присуждена Нобелевская премия по физике — «как признание их вклада в развитие беспроволочной телеграфии».

III. НАЧАЛЬНЫЙ ПЕРИОД РАЗВИТИЯ РАДИОСВЯЗИ (1906–1910)

3.1. Начало практического использования радиосвязи

В 1899 г. А. С. Попов разработал детекторный приемник телеграфных сигналов на слух, так называемый телефонный приемник депеш (детекторный эффект открыт его помощниками П. Н. Рыбкиным и Д. С. Троицким), и впервые использовал его (при участии П. Н. Рыбкина и морских офицеров А. А. Реммерта и И. И. Залевского) на радиолинии длиной 47 км, построенной в 1900 г. для ведения аварийных работ на броненосце «Генерал-адмирал Апраксин», севшем на камни у острова Гогланд в Финском заливе. За 3 месяца работы по линии было передано 440 радиোগрам (свыше 10 тысяч слов).

По результатам этой операции аппаратура беспроводного телеграфа была принята на вооружение кораблей российского флота. Попов был назначен ответственным наблюдающим за вооружением кораблей флота средствами беспроводной телеграфии.

В 1900 г. А. С. Попов получил патенты в Великобритании «на усовершенствование когереров для телеграфии и телефонии» и во Франции «на телефонный приемник депеш», в 1901 г. им был получен патент в России. В 1899–1904 гг. радиоприемники этого типа под маркой «Попов–Дюкрете» выпускались в России и Франции.

Отдельным пунктом патентов было описание детектора — контакта «угольная шайба — металлические иглы» (полупроводникового диода в современном представлении). Таким образом, 1900 г. можно считать началом практического использования радиосвязи. В том же году под руководством Попова создана радиомастерская в Кронштадте — первое предприятие отечественной радиопромышленности, организованы курсы для подготовки радиотелеграфистов, разработаны программы занятий.

В мае 1900 г. в МОК началось преподавание радиотелеграфного дела. В 1901–1905 гг. Попов, ставший профессором физики Электротехнического института (ЭТИ), разработал ряд курсов по радиотехнике, создал радиолaborаторию, руководил работой аспиранта С. Я. Лифшица по радиотелефонированию (передаче по радио звуков речи и музыки), консультировал военных и гражданских специалистов по вопросам беспроволочной телеграфии. В августе 1903 г. в составе российской делегации (4 человека) от Морского ведомства участвовал в первой международной (предварительной) конференции по вопросам регламентации работы радиостанций, проходившей в Берлине.

Гражданскому использованию радиосвязи в России стали уделять внимание в начале XX в. С 1904 г. Попов активно работал с фирмами «АО Русские электротехнические заводы «Сименс и Гальске» и германским Обществом беспроволочной телеграфии «Telefunken», признавшими значение его идей и организовавшими в Петербурге «Отделение беспроволочной телеграфии по системе профессора А. С. Попова и общества беспроволочной телеграфии “Telefunken”».

В октябре 1901 г. по заказу Комитета донских гирл Попов и Рыбкин построили радиолинию в устье реки Дон с целью оперативного информирования об уровне воды для обеспечения безопасного судоходства между Таганрогским рейдом и портом Ростова-на-Дону. Менее удачной оказалась построенная почтово-телеграфным ведомством в 1902 г. линия радиосвязи между Херсоном и Голой Пристанью (ее сотрудник, не имевший опыта, не сумел наладить устойчивую связь). В конце 1906 г. станции были закрыты, а их имущество передано в ЭТИ. В 1904 г. начали действовать радиостанции в С.-Петербурге (на Крестовском острове, построена под наблюдением Попова), в Ораниенбауме и Сестрорецке, оснащенные аппаратами, приобретенными с разрешения Министерства внутренних дел в Германии и Франции, «для ознакомления с ними почтово-телеграфных чинов». На проведение опытов было ассигновано 20 тысяч рублей.

Первый опыт боевого применения систем радиосвязи А. С. Попова был получен в ходе Русско-японской войны 1904–1905 гг. Все броненосцы и крейсера, участвовавшие в ней, имели радиостанции, две станции были смонтированы на берегу (все-

го было установлено 20 станций системы Попова, изготовленных фирмой Дюкрете и Кронштадтской мастерской). 9 марта 1904 г. в Порт-Артур прибыл вице-адмирал С. О. Макаров, назначенный командующим Тихоокеанской эскадрой. 20 марта он отдал вошедший в историю приказ № 27, определивший принципы использования радио на войне. На первый план выдвигалось соблюдение скрытного радиообмена и ведение радиоразведки. Мощные радиостанции Золотой горы (Порт-Артур) и броненосца «Победа» создавали искусственные помехи работе японских радиостанций, пытавшихся вести корректировку огня при обстрелах Порт-Артура.

При подготовке 2-й Тихоокеанской эскадры к походу на Дальний Восток для оснащения кораблей были заказаны 25 радиостанций фирме «Телефункен», 12 радиостанций Кронштадтской мастерской (для миноносцев) и 2 приобретены у фирмы Маркони. Работы по их установке велись в спешке, персонал не был надлежащим образом обучен. 15 октября 1904 г. 2-я Тихоокеанская эскадра вышла из Либавы. В пути разрабатывались инструкции и правила применения радиоаппаратуры, проводилось обучение радиотелеграфистов, делались попытки поддерживать радиосвязь между кораблями. 8 мая 1905 г. на эскадре приняли по радио сообщение о приближении 3-й Тихоокеанской эскадры. 26 мая 1905 г. объединенная эскадра подошла к Цусимскому проливу. По интенсивному радиообмену японских кораблей стало ясно, что противник обнаружил ее и готовится нанести удар. Командир крейсера «Урал» запросил разрешения адмирала З. П. Рожественского пустить в ход свой мощный передатчик, чтобы мешать неприятельскому радиообмену, но командующий разрешения не дал. На другой день с утра на российской эскадре все сигналы передавались только с помощью сигнальных флагов, в то время как японский флот активно использовал радиотелеграф. В ходе самого Цусимского сражения российские корабли почти не использовали радиосвязь: от сотрясений, вызванных стрельбой и попаданиями неприятельских снарядов, регулировка приемников нарушилась, радиорубки, не имевшие броневой защиты, при обстреле выходили из строя. В результате российская эскадра лишилась управления, из 37 кораблей, имевших радиостанции, 28 погибли или оказались в плену, 3 прорвались во Владивосток, остальные были интернированы в нейтральных портах.

Еще хуже обстояло дело с использованием радиосвязи для управления в армии. Сухопутные войска к началу войны вообще не имели радиовооружения. И только в ходе военных действий на Дальнем Востоке в С.-Петербурге под руководством капитана И. А. Леонтьева были сформированы две Восточно-Сибирские искровые (радиотелеграфные) роты, которые прибыли на Дальний Восток в мае 1905 г. Каждая рота имела 6 действующих и 2 запасных станции, закупленных у фирмы Маркони и предназначавшихся для связи штаба Главнокомандующего со штабами армий и отдельных отрядов. С помощью этих станций было организовано 6 радиолиний протяженностью от 25 до 80 км. В июле 1905 г. введена должность начальника радиотелеграфа при Главнокомандующем. Опыт использования радиосвязи в сухопутных войсках в конце войны подтвердил целесообразность ее применения в боевых условиях. После окончания Русско-японской войны продолжалось укрепление армейской радиосвязи.

3.2. Искровая техника

Начиная с экспериментов Герца, в течение начального периода развития беспроводной связи, в качестве передатчика использовался искровой разрядник, питаемый катушкой Румкорфа. Поскольку искра представляет собой последовательность коротких импульсов, то ток, возбуждаемый в антенне, имеет достаточно широкий спектр, ширина которого может быть ограничена только резонансными свойствами антенны. Немецкий физик К. Ф. Браун, будущий нобелевский лауреат, предложил возбуждать антенну через систему связанных контуров. С современной точки зрения, эта система представляла собой полосовой фильтр, пропускавший в антенну только часть спектра. Передатчики по схеме Брауна позволили значительно увеличить дальность связи.

Однако использование простых разрядников ввиду их низкой эффективности (большие потери при возбуждении искры, большое время гашения искры) тормозило дальнейшее развитие техники передачи. В 1902 г. немецкий физик Макс Вин предложил использовать разрядник из нескольких последовательно включенных искровых промежутков. Это позволило существенно

уменьшить время гашения искры и потери в антенной цепи. Было также предложено питать первичную обмотку катушки Румкорфа от генератора переменного тока с частотой порядка нескольких сотен герц, что обеспечивало «модуляцию» передаваемого сигнала и более комфортные условия приема сигналов. Такие передатчики получили название «радиостанций со звучащей искрой». Другим способом быстрого гашения разряда стало использование вращающихся разрядников, запатентованных в США ученым и изобретателем Николой Тесла в 1896 г. Такой разрядник представлял собой металлический диск с зубцами, вращавшийся относительно двух неподвижных металлических контактов, расположенных на линии, проходящей через ось диска. Здесь имелось два искровых промежутка: между неподвижными контактами и диаметрально противоположными зубцами диска, находящимися в данный момент около контактов. Гашение искры происходило за счет быстрого увеличения длины искрового промежутка при вращении диска. Такие разрядники нашли широкое применение. Однако в начале XX в. на повестку дня встала передача звуковых сигналов (прежде всего речевых). Попытки использовать для этого искровую технику были предприняты в России и в других странах. Под руководством А. С. Попова его аспирантом С. Я. Лифшицем был разработан телефонный приемник, в котором посылки затухающих электромагнитных колебаний модулировались звуковыми сигналами. Способ беспроводного телефонирования с демонстрацией передачи звуковых сигналов на расстояние 2 км был доложен на Третьем всероссийском электротехническом съезде. Дальнейшего развития эти работы не получили, начинался переход на передатчики с незатухающими колебаниями.

3.3. Дуговая техника

Электрическая дуга была изобретена в 1802 г. русским ученым В. В. Петровым.

Первые технические применения дуги были связаны с системами электрического освещения. Одним из сопутствующих явлений в таких системах являлся звук, создаваемый дугой при ее работе.

Частота его находилась в спектре частот, воспринимаемым человеческим ухом, и вызывала у людей неприятные ощущения. Попытки убрать этот звук или сместить его частоту за пределы чувствительности человеческого уха предпринимались многими учеными и инженерами. Исследования эффектов поющей электрической дуги в России появились уже через два года после публикации первой статьи Г. Симона в 1899 г., посвященной этой проблеме.

В 1899 г. этим вопросом занялся английский физик и инженер Вильям Дуддель. Он установил, что частота звука, издаваемого дугой, зависит от напряжения, питающего ее, и предложил на этой основе конструкцию электромузыкального инструмента, которую и продемонстрировал в этом же году. Годом позже, продолжая исследования дуги, он сделал замечательное открытие: включив последовательный колебательный контур в цепь питания дуги, он определил, что частота звука, создаваемого дугой, точно соответствует резонансной частоте контура; это означало, что дуга генерирует незатухающие электрические колебания. С помощью электромеханического осциллографа собственной конструкции он показал, что ток дуги имеет синусоидальную форму.

Большое значение исследованию работы электродуговых генераторов придавал и А.С. Попов. На кафедре физики, которой он заведовал, как явствует из его пояснительной записки «Общее направление курса физики в ЭТИ», датированной 1902 г., проводились научные исследования, связанные с дуговыми генераторами. Выпускник Санкт-Петербургского университета аспирант А. С. Попова в ЭТИ Д. А. Рожанский проработал у профессора Г. Симона в Геттингенском университете два летних семестра — в 1905 и 1906 гг.

Дуддель высказывал мнение о том, что верхняя граница частоты, генерируемой дугой, не превышает 10 кГц, однако в 1907 г. американский ученый Р. Фессенден получил частоты генерации порядка 100 кГц.

Одним из первых отечественных исследователей, который проводил практические опыты по использованию незатухающих колебаний дуговых генераторов, был будущий основатель Русского общества беспроволочных телеграфов и телефонов (РОБТиТ) С. М. Айзенштейн. Его работы носили пионерский характер, о чем

свидетельствует полученный им в 1904 г. патент на «способ увеличения интенсивности электрических колебаний, которые создаются методом Дудделя».

Исследование дуговых генераторов показало, что возможны разные режимы их работы: режим колебаний *первого рода*, когда постоянная составляющая тока дуги больше переменной и колебания имеют гармонический характер; режим колебаний *второго рода*, когда ток течет только в одном направлении, колебания периодические, но не гармонические (присутствуют высшие гармоники); режим колебаний *третьего рода*, когда характер колебаний напоминает искровой генератор. Эти режимы напоминают режимы работы ламповых генераторов: сильно *недонапряженный*, с небольшой положительной обратной связью, *перенапряженный* с сеточными токами и высоким КПД и *сильно перенапряженный*, когда возможны релаксационные колебания.

Для дуговых генераторов чаще всего использовался режим *второго рода*. Позже, в 10-х гг. XX в., ученик А. С. Попова профессор ЛЭТИ Н. А. Скрицкий опубликовал статью, в которой показал, что вольтамперная характеристика дуги имеет падающий участок и таким образом вносит отрицательное сопротивление в колебательный контур, компенсируя потери в нем и потери на излучение. Используя современную терминологию, дуговой передатчик представляет собой негatronный автогенератор. С этой точки зрения искровой передатчик являлся генератором с внешним возбуждением, а дуговой передатчик — генератором с самовозбуждением. Последующее развитие радиосвязи в течение недолгого времени базировалось на использовании высокочастотных электромашинных генераторов, а затем наступила эпоха электронных ламп, которая продолжалась 50 лет.

ДОКУМЕНТЫ И МАТЕРИАЛЫ

I. ИЗ ПРЕДЫСТОРИИ РАДИО (1864–1894)

М.¹ Фарадей
Мысли о лучевых колебаниях²

Ричарду Филиппсу (Richard Phillips), эсквайру
Дорогой сэръ!

По Вашей просьбе я попытаюсь изложить Вам идею того, о чем я рискнул сказать в конце последнего из происходящих по пятницам вечерних заседаний, посвященного докладу, который я сделал об электромагнитном хроноскопе Уитстона [Wheatstone]; но условимся с самого начала, что я дал в качестве материала для спекулятивного размышления лишь мои собственные неясные представления, а потому я не дал ничего, что явилось бы результатом достаточно серьезного рассмотрения, установившегося убеждения или даже вероятного заключения, к которому я пришел.

Вопрос, который я имел в виду представить на рассмотрение слушателей, был следующий: нельзя ли предположить, что колебания, которые в известной теории принимаются за основу излучения и связанных с ним явлений, происходят в линиях силы, соединяющих частицы, а следовательно массы материи, в одно целое? Эта идея, если ее допустить, освободит нас от эфира, являющегося с другой точки зрения той средой, в которой происходят эти колебания.

¹ [{Михаил Фарадей} в 1, с. 53].

² [I, С. 53–57. Там же приведен источник: {Phil. Mag., 28, 345, 1846; Exper. Res., vol III, p. 446}].

Вы знаете о предположении¹, которое я некоторое время тому назад высказал относительно этого взгляда на природу материи, взгляда, который рассматривает ее первичные атомы как центры силы, а не как многочисленные маленькие тела, окруженные силами, причем эти тела мыслятся теоретически как независимые от силы и способные существовать без них. Согласно последней точке зрения эти маленькие частицы имеют определенную форму и известные ограниченные размеры; согласно первому мнению, этого в действительности нет, ибо то, что представляется размерами частиц, может рассматриваться как нечто, определяемое теми расстояниями, до которых простираются линии силы частицы; предполагается, что частица существует только через посредство этих сил и только там, где они есть. Рассмотрение материи с этой точки зрения постепенно привело меня к взгляду на эти линии силы как на возможные носители колебаний, лежащих в основе явлений излучения.

Другое соображение, основывающееся на этом гипотетическом воззрении как на материю, так и на радиацию, возникает из сравнения скоростей, с которыми передается лучистое действие и некоторые силы материи. Скорость света в пространстве составляет около 190 000 миль в секунду. Скорость распространения электричества, согласно опытам Уитстона, близка к этой величине, если не превосходит ее; свет, как предполагают, передается колебаниями через эфир, который, так сказать, лишен тяготения, но обладает бесконечной упругостью; электричество передается по тонкой металлической проволоке и, как часто считают, также передается колебаниями. Тот факт, что перенос электричества зависит от сил или свойств вещества проволоки, едва ли подлежит сомнению, если мы примем во внимание различную проводимость разных металлических и других тел, возможность воздействия на проводимость тепла и холода, возможность комбинаций, при которых проводящие тела входят в состав непроводящих веществ и наоборот, и существование одного элементарного тела, углерода как в проводящем, так и в непроводящем состоянии. Способность проводить электри-

¹ *Phil. Mag.*, 24, 136, 1844.

чество (заключающаяся в передаче силы со скоростью, равной скорости света) является связанной с материей, зависит от ее свойств и как бы существует в них.

Я полагаю, мы можем сравнивать друг с другом вещество эфира и обычную материю (как, например, медь проволоки, по которой проводится электричество) и считать их подобными друг другу по основному их строению, т. е. либо рассматривать каждое из них как составленное из маленьких ядер, принимаемых в абстракции за материю, и из сил или энергии, связанных с этими ядрами, либо состоящими только из центров сил, согласно теории Босковича [Boscovich] и взгляду, выставленному в моей умозрительной гипотезе, так как нет оснований полагать, что ядра в одном случае более необходимы, чем в другом. Правда, медь обладает тяготением, а эфир им не обладает и поэтому медь весома, а эфир нет, но это не может указывать на присутствие ядер в меди в большей мере, чем в эфире, потому что из всех свойств материи тяготение является тем свойством, в котором сила достигает наибольшего возможного расстояния от предполагаемого ядра; оно является бесконечным по отношению к размерам последнего и сводящим это ядро просто к центру силы. Мельчайший атом материи на Земле действует непосредственно на мельчайший атом материи на Солнце, хотя они находятся на расстоянии 95 000 000 миль. Далее, атомы, находящиеся согласно нашим познаниям в массах комет, на расстоянии в девятнадцать раз превышающем указанное выше, подобным же образом связаны друг с другом линиями силы, распространяющимися от них и принадлежащими каждому из них. Если бы между нами и солнцем была даже только *одна* частица предполагаемого эфира, то что же в ней должно было быть особого, чтобы она могла по тонкости и протяженности сравниться с тяготением?

Не будем смущаться *весомостью* и *тяготением* тяжелой материи из-за того, что они как бы доказывают существование ядер, о которых шла речь. Они являются следствием не наличия ядер, если эти ядра вообще существуют, а приложенной к ним силы. И если на *эфирные* частицы эта сила не действует, что по предположению имеет место, то тогда именно поэтому они бо-

лее материальны в теоретическом смысле, чем материя нашего земного шара, ибо, согласно этому допущению, материя состоит из ядер и силы, а эфирные частицы имеют пропорционально больше ядер и меньше силы.

С другой стороны, бесконечная упругость, принимаемая как свойство, принадлежащее частицам эфира, является такой же замечательной и реальной присущей ему силой, как тяготение весомых частиц, и по-своему производит столь же большие эффекты. Свидетельством этого является все многообразие лучистых агентов, проявляющихся в световых, тепловых и актинических явлениях.

Быть может я ошибаюсь, считая, что обычное представление об эфире состоит в том, что его ядра почти бесконечно малы и что та сила, которой он обладает, а именно его упругость, почти бесконечно велика. Но если таково принятое представление, что же тогда остается в эфире кроме силы или центров силы? Так как тяготение и твердость не свойственны эфиру, то вероятно многие согласятся с этим заключением; но что такое тяготение и твердость? Конечно, не вес и не контакт принимаемых в теории ядер. Одно является следствием силы *притяжения*, которая может действовать на таких больших расстояниях, какие только может себе представить и постичь человеческая мысль, а другое является следствием силы *отталкивания*, которая иногда не допускает контакта или соприкосновения двух ядер; так что эти силы или свойства ни в какой мере не должны заставить тех лиц, которые понимают эфир как нечто, состоящее только из силы, считать весомую материю чем-либо иным, за исключением того, что она имеет большее число и других сил, связанных с ней, нежели эфир.

В экспериментальной науке мы можем на основании имеющихся налицо явлений признать различные виды линий силы; так, имеются линии сил тяготения, линии электростатической индукции, линии магнитного действия и, может быть, могут быть включены и другие, принимающие участие в явлениях динамического характера. Линии электрического и магнитного действия многими рассматриваются как линии, действующие через пространство, подобно линиям силы тяготения. Что касается меня, то я склонен считать, что, когда имеются промежуточные

частицы материи (являющиеся сами по себе только центрами силы), они принимают участие в переносе силы по линии, но что, когда их нет, линия проходит через пространство¹. Каково бы ни было мнение, принятое в отношении их, мы можем во всех случаях воздействовать на эти линии силы способом, который может рассматриваться нами как имеющий характер толчка или поперечного колебания.

Предположим, что имеются два тела А и В, находящиеся на некотором расстоянии друг от друга и во взаимодействии друг с другом, и вследствие этого связанные линиями силы; фиксируем наше внимание на слагающей силы, имеющей определенное направление в пространстве; если одно из тел незаметно сдвинется вправо или влево, или если источник его силы будет на мгновение перемещен внутри массы тела (любой из этих случаев нетрудно осуществить, если А и В являются электрическими или магнитными телами), тогда будет иметь место действие, эквивалентное поперечному возмущению слагающей, на которой мы фиксируем наше внимание; потому что либо она увеличится по силе, в то время как соседние результирующие уменьшаются, либо она уменьшится по силе, в то время как другие будут увеличиваться.

Можно спросить, какие имеются в природе линии силы, которые способны передавать такое действие и занять в теории колебаний место эфира? Я не претендую на то, чтобы ответить на этот вопрос с какой-либо уверенностью. Все, что я могу сказать, это то, что я не представляю себе, чтобы в какой-либо части пространства, будь оно (пользуясь обычным выражением) пустым или заполненным материей, было что-либо, кроме сил и линий, по которым они действуют. Линии тяготения, конечно, достаточно протяженны, чтобы удовлетворить в этом отношении любому требованию, предъявляемому к ним лучистыми явлениями. Таковы же, вероятно, и линии магнитной силы; и затем кто же может забыть при этом, что Моссоти [Mossotti] показал, что тяготение, сцепление, электрическая сила и электрохимическое действие могут иметь взаимную связь или общее происхождение. Поэтому все они могут иметь в

¹ *Experimental Researches in Electricity, pars, 1161, 1613, 1663, 1710, 1723, 1735, 2443.*

их действию на расстоянии тот бесконечный диапазон, которым некоторые из этих действий, как известно, обладают.

Мнение, которое я имею смелость высказать, рассматривает, поэтому, излучение как некий высший тип колебания в линиях силы, которые, как известно, связывают частицы, а также массы материи воедино. Это мнение пытается устранить эфир, но не колебания. Этот род вибраций, который, я полагаю, один может объяснить чудесные, разнообразные и прекрасные явления поляризации, не является тем же самым, который происходит на поверхности выведенной из равновесия воды, или в звуковых волнах в газах или жидкостях, потому что колебания в этих последних случаях являются прямыми или происходят в направлении к центру и от центра действия, в то время как первые являются поперечными. Мне кажется, что совокупность [resultant] двух или более линий силы находится в подходящих условиях для действия, которое может считаться эквивалентным *поперечному* колебанию, в то время как однородная среда, подобная эфиру, не кажется для этого подходящей или более подходящей, чем воздух или вода.

Появление изменения в одном конце силы заставляет предполагать последующее изменение на другом. Распространение света, а поэтому, вероятно, всех лучистых действий, требует *времени*, и чтобы колебание линии силы могло объяснить явления излучения, необходимо, чтобы такое колебание также занимало время. Мне неизвестно, имеются ли данные, на основании которых было бы определено или могло бы быть определено, что такая сила, как тяготение, действует мгновенно, или что в существующих линиях силы те поперечные возмущения на одном их конце, на которые я указал выше, потребуют времени для того, чтобы пройти до другого конца, или же будут восприняты там в то же мгновение.

Что касается того свойства линий силы, которое обуславливает предполагаемую высокую упругость эфира, то оно не может быть в этом отношении недостаточным. По-видимому, вопрос здесь скорее в том, достаточно ли линии медлительны в своих действиях, чтобы быть эквивалентными эфиру в отношении времени, которое, как известно из опытов, необходимо для передачи лучистой силы.

Эфир предполагается наполняющим как все тела, так и пространство. В высказываемом мною мнении принимается, что силы атомных центров наполняют (и образуют) все тела, а также пронизывают все пространство. В отношении пространства разница заключается в том, что эфир состоит из последовательных частей или центров действий, а в моем предположении существуют только линии действия; что касается материи, то разница в том, что эфир расположен между частицами и, таким образом, передает колебания, между тем как в моем предположении колебания передаются посредством линии силы между центрами частиц. Что касается разницы в интенсивности действия внутри материи согласно этим двум воззрениям, то, я полагаю, будет очень трудно вывести какое-либо заключение, потому что как только мы возьмем наиболее простое состояние обычной материи и такое, которое заставляет ее возможно ближе подходить к свойствам эфира, а именно – состояние разреженного газа, то мы тотчас же обнаружим в ее упругости и во взаимном отталкивании ее частиц отклонение от закона, по которому действие обратно пропорционально квадрату расстояния.

Теперь, мой дорогой Филипп, я должен закончить. Я не думаю, что я позволил бы себе высказать эти замечания, если бы я не был вызван на это неожиданно и без предварительной подготовки, в силу обстоятельств, сложившихся на том вечере, когда я должен был внезапно выступить и заменить другого. Сейчас, когда я изложил их на бумаге, я чувствую, что должен бы задержать их более долго для изучения, обсуждения и, возможно, для окончательного отклонения; только потому, что они все равно попадут тем или иным путем в свет в результате моего выступления на том вечере, я придаю им данную форму, если это может быть названо формой, в настоящем ответе на Ваш вопрос. Одно несомненно: любой гипотетический взгляд на излучение, который будет признан или сохранен как удовлетворительный, не может в дальнейшем относиться только к тем или иным световым явлениям, а должен охватывать также явления теплоты и актинические явления, и даже сопутствующие явления ощутимой теплоты и химической силы, производимой ими. В этом отношении взгляд, который в той или иной

степени основан на обычных силах материи, мог бы, таким образом, заслужить лишь малое внимание среди других взглядов, которые, вероятно, возникнут. Я считаю возможным, что я допустил много ошибок на предшествующих страницах, потому что даже мне самому мои идеи по этому вопросу кажутся только тенью рассуждения или одним из таких представлений ума, которые позволительны порой как направляющие нити в размышлении и исследовании. Тот, кто занимается экспериментальными исследованиями, знает, как эти представления многочисленны и как часто их кажущаяся пригодность и красота исчезают перед лицом прогресса и развития действительной истины.

Остаюсь, мой дорогой Филиппс, всегда преданный Вам
Фарадей

Королевский Институт,
15 апреля 1864 г.

Дж. К. Максвелл
Трактат об электричестве и магнетизме¹

ПРЕДИСЛОВИЕ К ПЕРВОМУ ИЗДАНИЮ

Тот факт, что некоторые тела, будучи потертыми обо что-либо, начинают притягивать другие тела, был известен еще в древности. В наши времена наблюдалось большое количество других явлений, связанных, как было установлено, с этими явлениями притяжения. Они были выделены под названием электрических явлений, так как янтарь, ἤλεκτρον, был тем веществом, для которого эти явления были описаны впервые.

Другие тела, особенно магнитный железняк и куски железа и стали, подвергнутые определенной обработке, также, как давно было известно, проявляют способность действовать на расстоянии. Эти явления вместе с другими явлениями, относящимися к ним, отличаются, как было установлено, от электрических явлений и были выделены под названием магнитных явлений, так как магнитный железняк μάγνησ, был найден в фессальской магнезии.

С тех пор было установлено, что эти два класса явлений связаны между собой, и эти связи между различными явлениями обоих классов, насколько их удалось выявить, составили содержание учения об электромагнетизме.

В настоящем трактате я намерен описать наиболее важные из этих явлений, показать, как они могут быть подвергнуты измерению, и проследить математические соотношения между измеренными величинами. Получив, таким образом, данные для математической теории электромагнетизма и показав, как эта теория может быть приложена к расчету явлений, я попытаюсь насколько смогу яснее осветить соотношения между математической фор-

¹ [1, С. 105–109].

мой этой теории и математической формой основной науки—динамики, дабы мы могли быть до некоторой степени подготовлены к тому, чтобы указать те динамические явления, среди которых мы можем искать иллюстраций или объяснений для электромагнитных явлений.

При описании этих явлений я выберу те, которые наиболее ясно иллюстрируют основные идеи теории, опуская другие явления или откладывая их рассмотрение до того момента, когда читатель будет более подготовлен.

С математической точки зрения наиболее важной стороной любого явления нужно считать наличие измеримой величины. Поэтому я буду рассматривать электрические явления главным образом имея в виду их измеримость, описывая методы измерения и определяя эталоны, с которыми они связаны.

В приложении математики к вычислению электрических величин я буду пытаться прежде всего сделать наиболее общие выводы из данных, имеющихся в нашем распоряжении, а затем уже применять полученные результаты к расчету выбранных наиболее простых случаев. Я буду по возможности избегать тех вопросов, которые, хотя и могут выявить искусство математиков, но не расширяют наших научных познаний.

Внутренние соотношения различных отраслей науки, подлежащей нашему изучению, более многочисленны и сложны, чем у любой другой из развитых до сих пор наук. Ее внешние соотношения, с одной стороны, с динамикой, а с другой стороны — с теплотой, светом, химическим действием и строением тел указывают, по видимому, на особую важность науки об электричестве как науки, помогающей интерпретировать природу.

Мне кажется поэтому, что всестороннее изучение электромагнетизма приобрело в настоящее время первостепенное значение, являясь средством для ускорения прогресса науки.

Математические законы различных классов явлений были достаточно удовлетворительно установлены.

Были также исследованы связи между различными классами явлений и вероятность того, что эмпирические законы являются строго точными, значительно повысилась благодаря более расширенным знаниям об их соотношениях друг с другом.

Наконец, был достигнут некоторый прогресс в сведении электромагнетизма к динамике путем показа, что ни одно электромагнитное явление не противоречит предположению, что оно зависит от чисто динамического действия.

Однако то, что было сделано до сих пор, ни в какой мере не исчерпало поля исследований по электричеству. Оно скорее открыло это поле, указывая объекты для изучения и снабжая нас средствами исследования.

Едва ли нужно распространяться о полезности результатов магнитных исследований для навигации, о важности знания истинного направления компаса и о влиянии железа на корабле. Но труды тех, кто старался посредством магнитных наблюдений сделать навигацию более надежной, в то же время значительно способствовали и прогрессу чистой науки.

Гаусс, являясь членом Германского магнитного объединения, направил свой мощный ум на создание теории магнетизма и методов магнитных наблюдений. Он не только многое внес в наше знание теории притяжения, но и реконструировал все учение о магнетизме в отношении применяемых инструментов, методов наблюдения и вычисления результатов, так что его работы по земному магнетизму могут быть приняты за образец физического исследования для всех, кто занимается измерениями любых сил природы.

Важные приложения учения об электромагнетизме к телеграфии также оказали свое воздействие на чистую науку, придав коммерческую ценность точным электрическим измерениям и предоставив электрикам возможность пользоваться аппаратами в таких масштабах, которые далеко превосходят масштабы любой обычной лаборатории.

Последствия этой потребности в знаниях в области электричества и использование этих экспериментальных возможностей для приобретения знаний были очень значительны как в отношении стимулирования усилий передовых электриков, так и в распространении среди практиков известного количества точных знаний, что, по всей вероятности, должно привести к общему научному прогрессу всей инженерной профессии.

Имеется несколько трактатов, в которых электрические и магнитные явления описаны популярно. Однако это не то, что нужно для тех, кто сталкивается лицом к лицу с подлежащими измерению величинами и чей ум не удовлетворяется экспериментами в лекционном зале.

Имеется также значительное число математических работ, весьма важных для науки об электричестве, но они запрятаны в объемистых трудах ученых обществ, не образуют связанной системы, очень неравноценны по своему значению и по большей части недоступны для понимания только профессиональным математикам.

Поэтому я полагал, что будет полезным трактат, который имел бы своей главной целью методический охват всего предмета и который указал бы, как каждая часть этого предмета делается доступной проверке путем действительных измерений.

Общее построение этого трактата значительно отличается от построения нескольких прекрасных работ по электричеству, опубликованных большей частью в Германии, и может показаться, что в нем лишь в ограниченной степени отдается дань работам ряда знаменитых электриков и математиков. Одной из причин этого является то, что, прежде чем я начал изучать электричество, я решил не читать математических трудов по этому предмету до тех пор, пока я досконально не прочту фарадеевских Экспериментальных исследований по электричеству [Experimental Researches in Electricity]. Я был уверен, что следует предполагать наличие разницы между фарадеевским путем к пониманию явлений и путем математиков, в силу чего ни он, ни они не были удовлетворены языком друг друга. Я был также убежден в том, что это расхождение не вытекает из того, что одна из сторон не права. Впервые меня убедил в этом сэр Виллиам Томсон¹, чьи советы и помощь в равной мере, как и опубликованные работы, дали мне большую часть того, что я изучил по данному вопросу.

В процессе изучения работ Фарадея я понял, что его метод понимания явлений был также и математическим, хотя он и не был выражен в условной форме математических символов. Я также нашел, что его метод может быть выражен в обычных математических формах изложения и, таким образом, его можно сравнить с теми формами изложения, которые даются профессиональными математиками.

¹ Я пользуюсь случаем выразить свою признательность сэру В. Томсону и профессору Тэту [Tait] за многие ценные указания, сделанные во время подготовки к печати этого труда.

Например, Фарадей своим мысленным взором видел линии силы, проходящие через все пространство там, где математики видели центры силы, притягивающиеся на расстоянии. Фарадей видел среду там, где они не видели ничего, кроме расстояния. Фарадей искал источник явлений в реальных процессах, происходящих в среде, они же были удовлетворены тем, что нашли его в действующей на расстоянии силе, приложенной к электрическим флюидам.

Когда я облек то, что я считал фарадеевскими идеями, в математическую форму, я нашел, что результаты обоих методов вообще совпадают, так что ими объясняются одни и те же явления и обоими методами выводятся одни и те же законы. Но фарадеевские методы походили на те методы, в которых мы начинаем с общего и приходим к частностям посредством анализа, тогда как обычные математические методы были основаны на принципе начинать с частных и строить целое путем синтеза.

Я нашел также, что некоторые из наиболее плодотворных методов исследования, открытых математиками, могут быть выражены в терминах представлений, заимствованных у Фарадея, много лучше, чем в их первоначальной форме.

Например, вся теория потенциала, рассматриваемого как величина, которая удовлетворяет определенному дифференциальному уравнению в частных производных, в основном относится к методу, названному мною методом Фарадея. Согласно другому методу, потенциал, если он вообще вводится в рассмотрение, должен пониматься как результат суммирования электрических зарядов частиц, каждый из которых поделен на его расстояние от данной точки. Отсюда многие из математических открытий Лапласа [Laplace], Пуассона, Грина [Green] и Гаусса находят свое настоящее место в этом трактате и соответствующее свое выражение на языке концепций, взятых, главным образом, у Фарадея.

Большой прогресс был достигнут в учении об электричестве, главным образом в Германии, благодаря лицам, культивирующим теорию действия на расстоянии. Важные электрические измерения В. Вебера интерпретируются им в соответствии с этой теорией, а электромагнитные воззрения, которые начал создавать Гаусс и которые были развиты затем Вебером, Риманом, И. и С. Нейманами, Лоренцем [Lorenz] и другими, основаны на теории действия на расстоянии, действия, зависящего, однако, либо непосредственно от относитель-

ной скорости частиц, либо от постепенного распространения чего-то — потенциала или силы — от одной частицы к другой. Большой успех, которого достигли эти выдающиеся люди в приложении математики к электрическим явлениям, придает, естественно, дополнительный вес их теоретическим построениям, так что те, кто, изучая электричество, обращается к ним как к величайшим авторитетам в математической теории электричества, возможно усваивают вместе с их математическими методами также и их физические гипотезы.

Эти физические гипотезы, однако, совершенно чужды способу рассмотрения, который принят мною, и цель, которую я преследовал, состоит в том, чтобы дать возможность тем, кто хочет изучать электричество, увидеть, читая этот трактат, что имеется другой способ рассмотрения предмета, не менее пригодный для объяснения явлений. Этот путь, хотя он и может показаться в некоторых своих частях менее определенным, находится, как я думаю, в более верном соответствии с нашими действительными познаниями как в том, что он утверждает, так и в том, что он оставляет нерешенным.

Более того, с научной точки зрения чрезвычайно важно, что можно сравнить оба метода, поскольку оба они успешно объяснили основные электромагнитные явления, оба стремились объяснить распространение света как электромагнитное явление и действительно позволили вычислить его скорость, в то время как основные их представления о том, что имеет место в действительности, равно как и более второстепенные представления о рассматриваемых величинах, коренным образом различаются.

Поэтому я принял на себя роль скорее защитника, чем судьи, и больше стремился пояснить примерами один метод, чем дать беспристрастное описание обоих. Я не сомневаюсь в том, что метод, который я назвал немецким, также найдет своих сторонников и будет изложен с мастерством, достойным его остроумия.

Я не пытался дать исчерпывающий охват электрических явлений, опытов и аппаратов. Тот, кто пожелает прочесть все, что известно по этим вопросам, найдет большую помощь в «Трактате об электричестве» [Trait é d' Electricité] профессора А. де ля Рива и в некоторых немецких трактатах, как, например, «Гальванизм» Видемана [Wiedemann's Galvanismus], «Электричество трения» Рисса [Riess' Reibungselectricität], «Введение в электростатику» Бира [Beer's Einleitung in die Electrostatic] и др.

Я ограничился почти исключительно математическим изложением предмета, но я рекомендовал бы изучающему — после по возможности экспериментального изучения подлежащих наблюдению явлений — внимательно прочесть фарадеевские *«Экспериментальные исследования по электричеству»*. Там он найдет вполне современный исторический отчет о некоторых из величайших электрических открытий и исследований, приведенных в порядок и последовательность, которые едва ли можно было бы улучшить, даже если бы результаты были известны заранее и были выражены языком человека, уделившего много внимания методам точного описания научных экспериментов и их результатов¹.

Чтение оригинальных научных трудов по какому-либо предмету дает большие преимущества изучающему этот предмет, ибо наука усваивается всегда наиболее полно в состоянии ее возникновения, а в отношении фарадеевских *«Исследований»* это сравнительно легко, так как они опубликованы отдельными изданиями и могут быть прочтены последовательно. Если чем-либо из написанного мною в этом трактате я смогу облегчить изучающему понимание фарадеевских способов мыслить и выражаться, я буду рассматривать это как выполнение одной из своих главных целей — передать другим то восхищение, которое я сам испытал, читая фарадеевские *«Исследования»*.

Описание явлений и элементарные части теории по каждому предмету находятся в первых главах каждой из четырех частей, на которые разделен этот трактат. В этих главах изучающий найдет достаточный материал для первоначального ознакомления со всем учением.

Остальные главы каждой части посвящены более сложным частям теории, процессам численных расчетов и инструментам и методам экспериментального исследования.

Соотношения между электромагнитными явлениями и явлениями излучения, теория молекулярных электрических токов и результаты обсуждения природы действия на расстоянии рассматриваются в последних четырех главах второго тома.

Джеймс Клерк Максвелл

1 февраля 1873 г.

¹ Жизнь и письма Фарадея, том I, стр. 395.

ОБ ИНДУКЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОКОВ¹

528. Открытие Эрстедом магнитного действия электрического тока привело путем прямого рассуждения к открытию намагничивания электрическими токами и механического взаимодействия между ними. Однако условия возникновения магнитоэлектрической индукции не были найдены вплоть до 1831 года, когда их открыл Фарадей, долгое время старавшийся получить электрические токи посредством магнитных или электрических воздействий. Метод, которым пользовался Фарадей в своих исследованиях, состоял в том, чтобы постоянно обращаться к опыту как средству проверки правильности своих идей и постоянно развивать свои идеи дальше под прямым влиянием опыта. В опубликованных им исследованиях мы находим его идеи изложенными на языке, который является наиболее подходящим для рождающейся науки, ибо он в достаточной мере чужд стилю физиков, привыкших облекать свою мысль в математические формы.

Экспериментальное исследование, посредством которого Ампер установил законы механического взаимодействия между электрическими токами, является одним из наиболее блестящих достижений науки.

Все в этом исследовании — и теория, и эксперимент — производит такое впечатление, как будто бы оно сразу же, в совершенно развитом и законченном виде, вышло из головы «Ньютона электричества». Все совершенно по форме, непревосходимо по точности и резюмировано формулой, из которой могут быть выведены все явления и которая должна навсегда остаться основной формулой электродинамики.

Однако метод Ампера, хотя он и облечен в индуктивную форму, не позволяет нам проследить ход руководивших Ампером идей. Едва ли мы можем поверить тому, что Ампер открыл закон взаимодействия действительно посредством тех опытов, которые он описывает. Мы вынуждены подозревать — как, впрочем, он и сам говорит² — что он пришел к этому закону неким путем, который он нам не сообщает, а затем, когда он создал совершенную теорию, он убрал все следы тех лесов, благодаря которым он ее построил.

¹ {*A Treatise on Electricity and Magnetism. Vol. II, Chapt. III, §§528, 529*}.

² *Théorie des phénomènes Electrodynamiques, p. 9.*

С другой стороны, Фарадей показывает нам как свои успешные опыты, так и безуспешные, как вполне развитые идеи, так и незрелые, и читатель, сколько бы он ни уступал Фарадею по силе индуктивного мышления, испытывает чувство симпатии даже в большей степени, чем восхищения, и начинает верить, что если бы ему представился случай, то и он сам делал бы открытия. Поэтому каждый изучающий должен прочесть «Исследования» Ампера как блистательный пример научного стиля при изложении какого-либо открытия, но он должен также изучать Фарадея для того, чтобы путем взаимодействия, которое установится между новооткрытыми фактами, сообщенными ему Фарадеем, и возникающими у него самого идеями, культивировать в себе научный дух.

Для науки, возможно, пошло на пользу то, что Фарадей, владея в совершенстве основными понятиями пространства, времени и силы, не был профессиональным математиком. Он не стремился к тому, чтобы углубляться в многочисленные и интересные изыскания в области чистой математики, которые могли бы возникнуть на основе его открытий, если бы эти последние были облечены в математическую форму, и он не ощущал потребности ни в том, чтобы придать своим результатам форму, отвечающую математическим вкусам эпохи, ни в том, чтобы выразить эти результаты в таком виде, который позволил бы математикам заняться ими. Но тем самым он сохранил более широкую свободу для своей собственной работы, для согласования своих идей с открытыми им фактами и для выражения своих мыслей естественным, не техническим языком.

Главным образом в надежде сделать его идеи основой математической теории я и предпринял написание этого трактата.

529. Мы привыкли представлять себе вселенную состоящей из частей, и поэтому математики начинают обычно с рассмотрения единичной частицы, затем стараются понять ее взаимоотношение с другой частицей и т. д. Этот метод считался вообще наиболее естественным. Однако, для того чтобы представить себе частицу, необходим процесс абстрагирования, ибо все наши восприятия относятся к протяженным телам, так что идея о *целом*, содержащаяся в данный момент в нашем сознании, возможно является в той же степени первичной, как и представление об отдельном предмете. Следовательно, возможен и такой математический метод, в котором мы переходим от целого к части, а не от частного к общему. Например,

в своей первой книге Эвклид представляет линию как след, очерченный точкой, поверхность — как результат движения линии и тело — как результат движения поверхности. Но вместе с тем он определяет поверхность как границу тела, линию — как край поверхности и точку — как конец линии.

Подобным же образом мы можем либо представлять себе потенциал какой-нибудь материальной системы как некоторую функцию, находимую, посредством определенного процесса интегрирования, распространенного на все находящиеся в поле тела, либо же мы можем считать, что сами массы не имеют никакого иного математического содержания, чем объемный интеграл от $\frac{1}{4\pi} \nabla^2 \Psi$, где Ψ — потенциал.

При исследовании электрических явлений мы можем пользоваться формулами, в которых фигурируют такие величины, как расстояния между телами, заряды этих тел и текущие в них токи, или же мы можем пользоваться формулами, в которых фигурируют другие величины, непрерывные во всем пространстве.

Математическая операция, употребляемая при первом методе, это интегрирование вдоль линий, по поверхности и по конечным объемам; при втором же методе применяют дифференциальные уравнения в частных производных и интегрирование, распространенное на все пространство.

Метод Фарадея является более близким ко второму из этих двух способов рассмотрения. Фарадей никогда не считает, что между телами нет ничего кроме их расстояния, и что они действуют друг на друга соответственно некоторой функции от этого расстояния. Он представляет себе все пространство как поле силы, причем силовые линии, вообще говоря, искривлены и, будучи порождены каким-либо телом, расходятся от него во все стороны, изменяя свое направление благодаря присутствию других тел. Он даже говорит¹ об этих силовых линиях, принадлежащих какому-нибудь телу, как в некотором роде о части самого этого тела, так что о действии этого тела на удаленные тела нельзя сказать, что оно действует там, где его нет. Однако это не основная идея Фарадея. Я думаю, что он хотел выразить скорее то, что в поле все пространство заполнено силовыми линиями, расположение которых зависит от расположения находящихся в поле тел, и что механическое и электрическое действие на каждое тело определяется окружающими его линиями.

¹ *Experimental Researches*, vol. II, p. 293, vol. III, p. 447.

Г. Р. Герц
Исследования по распространению
электрической силы¹

1. ВВОДНЫЙ ОБЗОР

а. К опытам

Меня очень часто спрашивали, каким образом я впервые пришел к описанным ниже опытам. Общим поводом к ним было следующее: В 1879 году Академия Наук в Берлине объявила в качестве работы на премию задачу — доказать экспериментально наличие какой-либо связи между электродинамическими силами и диэлектрической поляризацией изоляторов — будь то электродинамическая сила, которая возбуждается процессами в непроводниках, или же поляризация непроводника силами электродинамической индукции. Так как я был занят тогда в Физическом институте в Берлине работами по электродинамике, господин фон Гельмгольц обратил мое внимание на указанную задачу и обещал мне поддержку Института в случае, если я решусь заняться ее разработкой. Я обдумал задачу и вычислил результат, который можно было бы ожидать при наиболее благоприятных условиях при использовании колебаний лейденской банки или открытых индукционных аппаратов. Результат был, правда, неблагоприятный; оказалось, что едва ли можно надеяться на достаточно выраженный эффект, а скорее лишь на такой, который лежит на границе доступного наблюдению. Поэтому я отказался от разработки этой задачи; мне не стало известным, был ли найден какой-либо другой путь ее решения. Однако делом моего честолюбия оставалось все же найти решение заданной тогда задачи каким-нибудь новым путем, и в то же время мое внимание было обострено в

¹ [1, С. 112–130. Там же приведен источник: {*Gesammelte Werke von Heinrich Hertz, Band II, Leipzig. Verl. von Johann Ambrosius Barth. 1914. VI + 296*}].

отношении всего, что связано с электрическими колебаниями. Вряд ли было возможно, что бы я проглядел какую-нибудь новую форму таких колебаний, если бы счастливый случай дал мне ее в руки.

Подобный случай, и тем самым повод к описанным ниже исследованиям, представился мне осенью 1886 года. В физической коллекции Высшей технической школы в Карлсруэ, где я проводил свои опыты, я разыскал и использовал для лекционных надобностей пару так называемых риссовых или кнохенгауэровских катушек. Меня поразило, что для получения искр в одной обмотке не было необходимости разряжать большие батареи через другую и, более того, что для этого достаточны небольшие лейденские банки и даже разряды небольшого индукционного аппарата, если только разряд пробивал искровой промежуток. Когда я изменил соотношения, мне бросилось в глаза явление побочных искр [Nebenfunkeln], с которого и берут свое начало последующие исследования.

Вначале я считал электрические движения слишком бурными для того, чтобы их далее можно было использовать, но как только я обнаружил по середине вторичного проводника [Nebenleitung] появление нейтральной точки [Indifferenzpunkt] и тем самым — ясное и чистое явление, я убедился, что задача Берлинской Академии теперь может быть решена и дальше мое честолюбие в то время не шло. Мое убеждение, естественно, укрепилось, когда я убедился, что я имею дело с регулярными колебаниями. Первая перепечатанная ниже статья «О весьма быстрых электрических колебаниях»¹ передает это исследование в основных чертах, в правильной последовательности во времени, как оно было выполнено к концу 1886 и началу 1887 года.

В то время как эта работа находилась в печати, мне довелось узнать, что ее содержание не так ново, как я полагал. Съезд географов в апреле 1887 года привел г-на В. фон Бецоляда [W. von Bezold] в Карлсруэ и в мой Институт; когда я рассказал ему о моих опытах, он ответил, что он наблюдал подобные явления уже несколько лет тому назад и обратил мое внимание на свою статью «Исследования электрических разрядов» в томе 140 Pogg. Annalen. Я совсем не обратил внимания на эту статью, поскольку, во всяком случае с внешней стороны, казалось, что она касается вещей, совершенно отличных от электрических колебаний, а именно — лихтенберговых фигур, — и вообще эта статья не встретила того внимания, которое

¹ [Наст. сборн., С. 82-109].

она заслуживала ввиду важности ее содержания. В добавлении к указанной мной выше работе я признал приоритет г-на фон Бецоляда в целом ряде наблюдений. Вместо этого добавления здесь под вторым номером приводится с дружеского разрешения г-на фон Бецоляда та часть его статьи, которая относится к интересующему нас здесь вопросу¹. Сейчас, пожалуй, с удивлением можно спросить, как оказалось возможным, чтобы столь важные и столь определенно высказанные результаты не оказали большого влияния на развитие науки. Возможно, этому способствовало то обстоятельство, что г-н фон Бецольд назвал свое сообщение предварительным.

Я позволю себе упомянуть здесь также заслуги двух английских коллег, которые одновременно со мной стремились к той же цели. Профессор Оливер Лодж в Ливерпуле в том же году, когда я выполнил описанную здесь работу, занимался теорией громоотвода и поставил при этом ряд опытов над разрядом очень маленьких конденсаторов, которые привели его к наблюдению колебаний и волн в проводах. Так как он стоял полностью на почве максвелловских воззрений и ревностно стремился доказать эти воззрения, то едва ли можно сомневаться, что если бы я не опередил его, он тоже пришел бы к наблюдению волн в воздухе и — тем самым — к доказательству того, что для распространения электрической силы требуется время. Профессор Фитцджеральд в Дублине много лет трудился над тем, чтобы теоретически предсказать возможность таких волн и изыскать условия их получения.

На мои собственные опыты работы этих ученых, конечно, не оказали никакого влияния, так как я узнал о них лишь позднее. Кроме того, я не думаю, чтобы при помощи одной лишь теории можно было подойти к этим явлениям, ибо их действительное возникновение в наших опытах зависит, кроме их теоретической возможности, еще от одного особого и неожиданного свойства электрической искры, которое не предусматривалось никакой теорией.

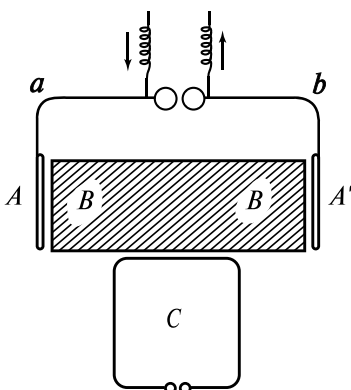
Благодаря упомянутым опытам я нашел средство возбуждать электрические движения более быстрые, чем те, которыми физики располагали до тех пор. Но прежде чем я смог применить это средство к исследованию явлений в изоляторах, оказалось необходимым выполнить другое исследование. Тотчас после начала опытов мне бросилось в глаза замечательное взаимодействие между одновременными

¹ [I, С. 149].

электрическими искрами. Я не был намерен позволить себе отвлечься из-за этого явления от моей основной цели; однако оно выступало в слишком определенной и загадочной форме для того, чтобы я мог полностью им пренебречь. Я даже сомневался в течение некоторого времени, не имею ли я перед собой совершенно новую форму электрического дальнего действия. Казалось исключенным, чтобы действие оказывал свет, так как стеклянные пластинки прерывали это действие, и, естественно, прошло некоторое время, прежде чем я пришел к тому, чтобы поставить опыты с пластинками из горного хрусталя. После того как я убедился, что имею дело только с ультрафиолетовыми лучами, я оставил эти опыты с тем, чтобы снова обратиться к основному вопросу. Так как для исследования колебаний нельзя обойтись без известного знакомства с этим явлением, здесь под № 4 также помещено относящееся к нему мое сообщение «О влиянии ультрафиолетовых лучей на электрический разряд».

Более точное ознакомление с этим явлением с тех пор необычайно продвинуто работами целого ряда исследователей, прежде всего гг. Риги, Гальвакса [Hallwachs], Эльстера [Elster] и Гайтеля [Geitel], но его механизм, конечно, еще полностью не раскрыт.

Лето 1887 года прошло в напрасных попытках доказать при помощи нового класса колебаний электродинамическое влияние изоляторов. Простейший метод заключался бы в том, чтобы определить влияние диэлектрика на положение нейтральной точки вторичной цепи. Но тогда пришлось бы обременить себя учетом электростатических сил, в то время как задача заключалась именно в том, чтобы исследовать только силы индукции. План, которого я придерживался, заключался в следующем. Первичному проводнику¹ была придана форма, указанная на фиг. 1; между его конечными пластинками А и А' вводился и затем быстро удалялся брусок ВВ из серы или парафина. Я



Фиг 1

¹ Предполагается, что читателю уже знакомы вышеупомянутые статьи.

ожидал, что во вторичном проводнике C , которому я придал то же самое положение по отношению к первичному, какое я всегда применял и до того, без этого бруска будут появляться лишь очень слабые искры, а с бруском искры будут очень сильные. Первая часть этого ожидания основывалась на том предположении, что в почти замкнутом проводнике C электростатические силы никогда не смогут вызвать искру, ибо эти силы имеют потенциал, так что их интеграл вдоль почти замкнутой цепи исчезает. Таким образом, в отсутствие изолятора надо было бы принимать во внимание лишь индукционное влияние далеко расположенного провода ab . Опыт не удался, так как я неизменно получал во вторичном проводнике очень сильные искры и, таким образом, то умеренное усиление или ослабление, которое должен был приносить изолятор, не обнаруживалось. Лишь постепенно мне удалось уяснить себе, что предпосылка, положенная в основу моего опыта, здесь неприменима; что при наличии столь большой скорости движения искры могут быть вызваны в почти замкнутом проводнике и такими силами, которые обладают потенциалом; что здесь вообще следует соблюдать чрезвычайно большую осторожность при применении общих понятий и положений, проистекающих из обычного учения об электричестве. Все эти положения относятся к статическим или стационарным состояниям, на деле же я имел перед собой изменяющиеся состояния. Я понял, что я до известной степени слишком прямолинейно подходил к своей цели. Существовало ведь бесконечное разнообразие других положений вторичного проводника по отношению к первичному, в числе которых могли, вероятно, находиться и такие, которые для моих намерений были более благоприятными. Необходимо было сначала испробовать это разнообразие. Так я нашел те приведшие меня в удивление исключительно регулярные и крайне разнообразные явления, которые описаны под номером пятым — «О влиянии прямолинейного электрического колебания на близлежащую цепь». Открытие и распутывание этих исключительно регулярных явлений доставили мне особую радость. Сообщение отнюдь не исчерпывает все тонкости, которые можно заметить; тот, кто пожелает варьировать этот опыт с другими формами проводников, вероятно найдет еще благодарный материал. Наблюдения на больших расстояниях, вероятно, также очень не точны, поскольку они затуманены еще не разгаданными тогда отражениями. Впрочем, особенно

приводили меня в изумление все бóльшие расстояния, вплоть до которых я мог обнаружить действие. До тех пор привыкли считать, что электрические силы убывают по закону Ньютона и, следовательно, с увеличением расстояния быстро становятся незаметно малыми.

Таким образом, благодаря этим исследованиям, я нашел такие положения вторичного проводника, при которых приближение изолятора могло вызвать возникновение и исчезновение искр вместо того, чтобы только изменять их величину. Решение задачи, которое я преследовал, удалось получить в том виде, как это изложено в сообщении № 6 «Об индукционных явлениях, вызываемых в изоляторах». К 10 ноября 1887 года я мог сделать сообщение Берлинской Академии о достигнутом успехе.

Та задача Академии, которой я руководствовался до сих пор, была, очевидно, поставлена в свое время г-ном фон Гельмгольцем в следующей связи. Если исходить из положений той электродинамики, которая пользовалась в то время всеобщим признанием, то можно прийти к уравнениям максвелловской теории, признававшейся тогда отнюдь не всеми, сделав следующие предположения: во-первых, что изменения диэлектрической поляризации весомых непроводников вызывают такую же электродинамическую силу, как и ток той же величины; во-вторых, что электродинамические силы точно так же в состоянии вызывать диэлектрическую поляризацию, как и силы электростатические; в-третьих, что воздух и даже пустое пространство ведут себя в этих отношениях так же, как и всякие другие диэлектрики. Вывод максвелловских уравнений из старых воззрений и из предпосылок, которые равносильны приведенным, дал фон Гельмгольц в заключении своей работы «Об уравнениях движения электричества для покоящихся проводящих тел»¹. Так как доказательство всех трех предположений — и тем самым правильности всей максвелловской теории — казалось непосильной задачей, Академия ограничилась предложением доказать правильность одного из двух первых.

Правильность первого предположения отныне была доказана. Я долгое время размышлял над тем, как приняться за второе. Его проверка теперь мне ни в коем случае не казалась неосуществимой. Для этой цели я отлил замкнутые тороиды из парафина. Но во время работы мне бросилось в глаза, что основной интерес новой теории

¹ в. *Helmholtz, Ges. Abhandl., I. 545.*

связан, собственно говоря, не с выводами из двух первых предпосылок. Если бы для какого-либо определенного изолятора первая и вторая предпосылки оказались верны, то это показывало бы, что в этом изоляторе могут распространяться волны предполагавшегося Максвеллом типа с конечной скоростью, которая, возможно, весьма сильно отличается от скорости света. Это было бы, однако, не очень удивительно, не более, чем, скажем, давно известное обстоятельство, что в проволоках электрическое возбуждение распространяется с большой, но конечной скоростью. Я должен был признать, что центральный пункт, смысл и особенность фарадеевского и тем самым максвелловского воззрения лежит в третьем предположении и что, следовательно, будет достойным делом, если я обращусь прямо к нему. Проверить отдельно первое и второе предположение для воздуха¹ я не видел никакой возможности; однако правильность обеих предпосылок была бы установлена одновременно, если бы удалось доказать наличие конечной скорости распространения и наличие волн в воздушном пространстве. Первые попытки в этом направлении, которые я предпринимал при коротких расстояниях и которые упомянуты в предыдущих статьях, оказались, правда, неудачными. Все же мне тогда удалось воспринять индукционные влияния на расстоянии до 12 м; на этом расстоянии фаза движения должна уже больше одного раза обернуться, и оставалось только доказать наличие этого обращения. Так возник план, выполнение которого изложено в работе «О скорости распространения электродинамических действий». Первые шаги при выполнении этого плана удались легко. В натянутых прямых проволоках с поразительной четкостью получались, вследствие отражения, стоячие колебания, с узлами и пучностями, которые позволяли точно определять длину волны и устанавливать изменение фазы вдоль проволоки. Так же быстро удалось заставить интерферировать действия, распространяющиеся по проволоке и через воздух, и, следовательно, сравнить их фазы. Если бы оба действия обладали, как я ожидал, конечной и одинаковой скоростью, то они должны были бы интерферировать на всех расстояниях с одинаковой фазой. Простой качественный опыт, который при имевшемся тогда у меня навыке был делом одного часа, должен был решить это и

¹ Выражения «воздух» и «пустота» употребляются здесь как синонимы, так как влияние весомого воздуха в этих опытах исчезающе мало.

сразу же привести к цели. Однако, когда я тщательно установил аппарат и произвел опыт, я обнаружил, что фазы интерференции явно различны на разных расстояниях и это различие в фазах примерно такое, какое соответствовало бы бесконечной скорости распространения в воздухе. Обескураженный, я прервал опыты. Лишь через несколько недель я возобновил их снова. Я сказал себе, что будет одинаково важно как установить, что электрическая сила распространяется с бесконечной скоростью и что максвелловская теория тем самым неверна, так и, наоборот, убедиться в том, что эта теория правильна, лишь бы результат был определенным и надежным.

Таким образом, не обращая внимания на результаты, я с наибольшей тщательностью установил сами явления таковыми, каковы они есть и как они описаны в статье. Когда я затем стал продумывать полученный материал, я увидел, что ход интерференции все же нельзя согласовать с предположением о бесконечной скорости распространения, но что необходимо принять конечную скорость, которая, однако, больше, чем скорость в проводе.

Я пытался согласовать различные возможности, как это описано в статье, и хотя различие скоростей мне казалось неправдоподобным, я полагал все же, что нельзя не доверять опытам. Ведь было отнюдь не невозможно и то, что движение в проводах замедляется неизвестными причинами, как, например, собственной инерцией свободного электричества.

Я рассказываю здесь все это так подробно, ибо я хотел бы убедить читателя, что этим исследованием я отнюдь не стремился подтвердить предвзятое мнение подходящим толкованием опытов. Напротив, эти нелегкие опыты я провел вопреки предвзятому воззрению, с наибольшей возможной тщательностью, и все же, при всей удаче, именно в этих опытах я явным образом потерпел решительную неудачу. Вместо того, чтобы без лишних хлопот достигнуть истинной цели, на что правильно намеченный план, пожалуй, давал мне право, я, как оказалось, с большими трудностями шел к заблуждению.

Во-первых, работа была искажена ошибкой в расчете. Период колебаний был вычислен слишком большим в отношении $\sqrt{2} : 1$. На эту ошибку впервые обратил внимание г-н Пуанкаре¹. Ошибка эта как будто должна была существенно повлиять на содержание работы, в дей-

¹ H. Poincaré. *Comptes rendus*, III, p. 322 [см., впрочем, I, С. 383].

ствительности же она, пожалуй, повлияла больше на ее форму. Мое доверие к надежности расчета основывалось существенным образом на мнимом его согласии с опытами Сименса [Siemens] и Физо и с моими собственными¹. Если бы я использовал правильное значение емкости и нашел, таким образом, противоречие между расчетом и опытом, я придал бы расчету меньшее значение и работа приняла бы несколько другую форму, но по сути была бы написана без изменений.

Во-вторых, — и это более важный пункт — едва ли возможно настаивать на главном результате работы, согласно которому скорости в воздухе и в проволоке различны. Вместо того чтобы подтвердить этот результат, дальнейшие опыты с волнами в проволоках делали его все менее и менее вероятным. Сейчас представляется довольно ясным, что если бы опыт был поставлен вполне правильно и без мешающих влияний, он, конечно, должен был бы дать примерно тот результат, который я ожидал с самого начала. Фаза интерференции, конечно, должна была один раз переменить знак (чего я заранее не ожидал), но вторая перемена знака интерференции (на которую указывали все опыты) не должна была бы более появляться. Трудно указать такое мешающее влияние, которое могло так поразительно имитировать эффект различия скоростей. Но точно так же никоим образом не кажется невозможным допустить наличие такой вводящей в заблуждение причины. При выполнении этих опытов я ни в малейшей степени не подозревал о влиянии соседней стены; я вспоминаю, например, что проволоку, по которой проходили волны, я провел на расстоянии всего лишь 1.5 м от железной печки. Возможно, что подобное, действующее постоянно в одном и том же месте возмущение приводило ко второй перемене фазы интерференции. Как бы то ни было, я позволю себе высказать надежду, что эти опыты будут повторены и другим наблюдателем при возможно более благоприятных условиях, т. е. в возможно более обширном помещении. Если план опыта, как я думаю, верен, то опыт, будучи правильно выполненным, должен был бы каждый раз давать тот результат, который ему следовало дать с самого начала; он должен тогда без измерений одновременно доказать и конечность скорости распространения волн в воздухе, и ее совпадение со скоростью волн в проволоке.

¹ Ср. с замечанием в заключении второго раздела самой работы. [См. также 1, СС. 307 и 310].

Я хочу, впрочем, привести еще некоторые соображения, которые укрепляли меня тогда во мнении, что волны в проволоке замедлены. Если волны в проволоке распространяются с такой же скоростью, как и волна в воздухе, то электрические силовые линии должны быть направлены перпендикулярно к поверхности проволоки. В таком случае несущая волны прямая проволока не может оказать никакого индукционного действия на соседнюю, параллельную ей, проволоку. Однако я обнаруживал такое действие, хотя оно и было слабым. Поэтому я заключил, что силовые линии расположены не перпендикулярно к проволоке и что скорость волн не совпадает со скоростью света. Далее, простой расчет показывает, что если силовые линии перпендикулярны к направлению проволоки, то в случае одного провода энергия, распространяющаяся в волне, будет логарифмически бесконечна. Отсюда я заключил, что подобная волна заведомо невозможна. Наконец, мне казалось, что на скорость распространения в прямом проводнике не должно оказывать влияния, будет ли это гладкая проволока, или проволока с боковыми ответвлениями, или с изломами, равно как и проволока, навитая в виде катушки, с маленькими витками — поскольку все эти отклонения от прямой линии малы по сравнению с длиной волны и их сопротивлением можно пренебречь. Однако я нашел, что все эти отклонения оказывают на скорость очень заметное влияние. Поэтому я заключил, что здесь действует некоторая, еще непонятная замедляющая причина, которая проявляется даже в случае простой гладкой проволоки. Эти и подобные им основания теперь мне уже более не кажутся имеющими решающее значение, но в то время они меня настолько успокаивали, что я без удержу отстаивал различие скоростей и в этом открытии видел основной интерес опыта. Мне предстояло найти вскоре кажущееся, но тогда для меня столь желанное подтверждение моего взгляда.

В то время как я исследовал действие моего первичного колебания на больших расстояниях, передо мной отчетливо выступило нечто вроде образования тени позади проводящих масс, что не показалось мне очень странным. Несколько позже я заметил также своеобразное усиление действия перед такими затеняющими массами и перед стенами помещения. Когда мне вначале пришла мысль, что это усиление происходит от своего рода отражения электрической силы от проводящих масс, мне это показалось почти недопустимым — настолько сильно это отклонялось от тогдашнего привычного для нас представления об электрической силе — невзирая на все знакомство с крутом представлений максвелловской тео-

рии. Однако после того как я твердо установил наличие действительных волн, я снова обратился к объяснению, от которого отказался вначале, и пришел таким образом к явлениям, описанным в работе «Об электродинамических волнах в воздухе и об их отражении»¹. С качественной стороны против содержания этой работы ничего не приходится возразить, ибо опыты были много раз повторены и всегда подтверждались. Но что касается измерений, то содержание и этой работы сомнительно, так как она равным образом ведет к тому в высшей степени невероятному результату, что скорость волн в воздухе существенно больше, чем в проволоке. Если предположить, что этот результат неверен, то как можно объяснить полученную ошибку? Наверно не простой неточностью наблюдения. Неточность наблюдения могла, возможно, составить дециметр, но уж ни в коем случае не метр. Я могу также лишь в самом общем смысле считать здесь ответственными особенные резонансные соотношения использованного помещения. Может быть возникали собственные колебания этого помещения, и я наблюдал узлы таких собственных колебаний, полагая, что наблюдаю узлы волн первичного проводника? Расстояние между узлами, которое я измерял в воздухе, было наверняка существенно отлично от длины волны в проволоке; я специально обратил внимание на этот вопрос. Правда, что касается совпадения с первой серией опытов, я охотно соглашаюсь, что при толковании опытов я мог поддаться желанию установить совпадение между обоими измерениями. Я поместил первый узел позади стены, на некотором расстоянии, для величины которого из опытов нельзя было получить твердого предписания. Если бы я скомбинировал опыты по-иному, я мог бы, пожалуй, вычислить отношение скоростей, более близкое к единице, но я никогда бы не мог вывести из этих опытов равенство скоростей.

Но если мои тогдашние опыты все согласно приводили к заключению о различии скоростей, то, естественно, возникает вопрос: какие же основания побуждают меня теперь охотнее приписывать опытам неизвестные источники ошибок, чем держаться прежнего утверждения о различии этих скоростей. Руководжусь ли я при этом отмеченным многими отклонением результатов опыта от теории? Безусловно нет: теория была мне известна и в то время, но она должна подчиняться опыту. Или, может быть, этому дает повод относящийся сюда опыт г-на

¹ [I, С. 156].

Лехера¹? При всем признании больших заслуг г-на Лехера в этой области я должен все же ответить на этот вопрос отрицательно. Г-н Лехер при обработке своих опытов предположил правильность расчета, а тем самым в известном смысле и правильность теории². Тогда это, быть может, результат г-д Саразена и де ля Рива³, которые точно повторили эти опыты и получили полное согласие с теорией? В известном смысле да, в другом смысле нет. Женевские физики работали в помещении значительно меньшем, чем мое; наибольшее расстояние, которое они имели в своем распоряжении, составляло лишь 10 м и, само собой, на таком расстоянии волны не могли распространяться вполне свободно. Их зеркало имело лишь 2.8 м в высоту. Тщательность наблюдения не может компенсировать неблагоприятных пространственных соотношений. В моих опытах волны все-таки имели совершенно свободное пространство, примерно в 15 м. Мое зеркало имело 4 м в высоту. Поэтому, если бы решение зависело единственно от результатов опытов, я мог бы придать опытам г-д Саразена и де ля Рива не больше веса, чем моим собственным, и постольку на поставленный выше вопрос я отвечаю отрицательно⁴. Но женевские опыты во всяком случае указывают, что произведенные мною измерения подтверждаются не полностью; они показывают, что перед другими отражающими стенами и в других помещениях явления получаются в количественном отношении иные и что длины волн при известных условиях имеют величину, требуемую теорией. Но если опыты дают двусмысленные и противоречивые сведения, то они, очевидно, содержат еще не раскрытые источники заблуждения и, конечно, не могут свидетельствовать против теории, которая опирается на столь многие правдоподобные основания. Таким образом, женевские опыты лишают убедительности мои собственные и постольку снова восстанавливают равновесие в пользу теории.

Я должен, однако, признаться, что решающими для меня были основания скорее косвенного характера. Так как вначале я думал, что обнаружил замедление волн в проволоках, я надеялся вскоре открыть при-

¹ E. Lecher. *Eine Studie über elektrische Resonanzerscheinungen*. Wied. Ann. 41, 850. [См. впрочем, 1, С. 334].

² Это же замечание сохраняет силу и по отношению к совсем недавно появившейся работе г-на Блондло [Blondlot]. *Comptes Rendus* 113, 628. [1, С. 339].

³ E. Sarasin et L. de la Rive *Comptes rendus*, 112, 658.

⁴ В помещении, размеры которого не указаны, г-н Трутон [Trouton] определил длину волны моего первичного проводника в воздухе, так же как и я, примерно в 10 м. *Nature*, 39, 391.

чину этого замедления и найти переходы между обеими скоростями. Эта надежда не осуществилась. Я не нашел никаких переходов и вместо объяснения натолкнулся при увеличении числа опытов на растущие противоречия, пока, наконец, последние не показались мне неразрешимыми, и я не был вынужден отказаться от убеждения в правильности моего первого наблюдения. К этому привело сделанное мною самим наблюдение, что для коротких волн разница в скоростях почти исчезает. Раньше, чем кто-либо из физиков вступил в эту область исследования, я резюмировал свое убеждение в следующих словах:¹ «Таким образом оказалось, что в случае длинных волн длина волны в воздухе больше, чем в проволоке, в то время как в случае коротких волн длины обеих волн оказываются почти равными. Этот результат является слишком странным для того, чтобы его можно было считать достоверным. Решение должно быть отложено до последующих опытов». Из этих последующих опытов должны быть приняты во внимание лишь опыты г-д Саразена и де ля Рива, да и то, поскольку они проведены были в малом помещении, их можно с большим правом объяснить как подкрепление второй части моего утверждения, чем как опровержение первой части. Мне кажется, что для длинных волн решающие опыты пока еще отсутствуют². Конечно, я едва ли могу сомневаться в том, что эти опыты решат вопрос в пользу равенства скоростей во всех случаях.

Читатель спросит, может быть, почему сам я не попытался путем повторения опыта устранить это сомнение. Я, собственно говоря, и повторил его, но при этом нашел лишь то, что можно было заранее предвидеть, а именно, что простое повторение при одинаковых условиях не разрешает сомнения, но способно скорее усилить его. Надежное решение требует опытов, которые будут проведены в более благоприятных условиях. Эти более благоприятные условия означа-

¹ *Archives de Genève* (3). 21, p. 302.

² *С тех пор как я написал эти слова, высказанное мною пожелание полностью осуществилось в опытах, проведенных г-дами Саразеном и де ля Ривом в большом зале Rhône Wasserwerke в Женеве (Archives de Genève* (3). 29, pp. 358 и 441). Эти опыты доказали равенство скорости в воздухе и в проволоках и тем самым восстановили полное совпадение между опытом и теорией. Я рассматриваю эти опыты как окончательные и подчиняюсь им столь же охотно, как ранее я медлил в том, чтобы позволить убедить себя опытом, не более совершенным, чем мои собственные. Я рад возможности выразить здесь благодарность г-дам Саразену и де ля Риву за любезность и доброжелательность, неизменно высказывавшиеся ими по отношению ко мне при обсуждении этого спорного вопроса, который ныне полностью разрешен в их пользу (Добавление к английскому изданию, 1893).

ют в данном случае большие размеры помещения, каковыми я до сих пор не располагал. Я подчеркиваю еще раз, что несоответствие помещения не может быть компенсировано тщательностью наблюдения. Если длинным волнам негде развернуться, то их нельзя наблюдать. Этим, быть может, сказано по данному вопросу достаточно.

Упоминавшиеся до сих пор опыты над отражением волн были закончены в марте 1888 года. Еще в том же месяце я сделал опыт, направленный к тому, чтобы воспрепятствовать рассеянию действия на расстоянии посредством отражения от изогнутой поверхности. Я построил для моих длинных волн вогнутое параболическое зеркало высотой 4 м с отверстием приблизительно в 2 м. Но вопреки моему ожиданию, я нашел, что действие на расстоянии оказалось значительно ослабленным. Большое зеркало влияло так же, как и защитная коробка [Schutzkasten], окружающая вибратор. Я решил, что длина волны вибратора слишком велика по сравнению с фокусным расстоянием зеркала. Небольшое уменьшение первичного проводника не улучшило результата. Поэтому я попытался работать с проводником, геометрически подобным большому, но уменьшенным по сравнению с ним в отношении 10:1. Может быть я не был достаточно настойчив я этих опытах, но так или иначе мне тогда вообще не удавалось получать и наблюдать столь короткие волны, и я оставил эти опыты, чтобы обратиться сначала к другим вопросам.

Во-первых, надо было дать более ясный и четкий теоретический разбор опытов. Точка зрения, с которой эти опыты истолковывались в имевшихся дотоле работах, была та, которую я принял в результате изучения работ фон Гельмгольца¹. Г-н фон Гельмгольц различает в этих работах две формы электрической силы — электродинамическую и электростатическую, которым, пока об этом ничего не сказал опыт, должны быть приписаны две разные скорости. Объяснение опытов с этой точки зрения ни в коем случае не могло быть ошибочным, но оно было, правда, излишне сложным. В частном предельном случае теория Гельмгольца значительно упрощается и ее уравнения переходят тогда в уравнения максвелловской теории; остается лишь одна форма силы, которая распространяется со скоростью света. Необходимо было поэтому попробовать, нельзя ли исходить из этих значительно более простых допущений максвелловской теории. Попытка удалась.

¹ v. *Helmholtz. Ges. Abhandl., I, 545.*

Результаты расчета изложены в работе «Силы электрических колебаний, рассматриваемые с точки зрения теории Максвелла»¹. Та часть этой работы, которая относится к интерференции между волнами в воздухе и в проволоке, может, очевидно, легко быть приспособлена ко всякому другому случаю подобного рода интерференционных явлений, какие могут иметь место при более совершенных опытах.

Наряду с этими теоретическими исследованиями я продолжал опыты и направил их снова преимущественно в сторону изучения волн в проволоках. При этом я, во-первых, ставил целью выяснить причину кажущегося замедления этих волн. Во-вторых, мне хотелось проверить взгляд, согласно которому волны локализуются и распространяются не внутри проводника, а напротив — в окружающем его пространстве. Поэтому я заставил волны распространяться не по одной проволоке, а в пространстве между двумя проволоками, в пространстве между двумя пластинками, в пространстве, ограниченном наподобие трубы, и при этом теперь уже не в различных металлах, а в различных разделяющих провода изоляторах. Работа «О распространении электрических волн в проволоках», хотя и была закончена и опубликована лишь позднее, была выполнена в большей своей части летом 1888 года.

Дело в том, что осенью меня отвлекло от опытов с проводами одно особое явление. Когда я применил для исследования волн в узком пространстве между двумя проволоками резонаторы небольших размеров и старался настроить такие резонаторы, я обнаружил, что четкие узлы на конце проволоки получались даже и тогда, когда я пользовался резонаторами наверное слишком малых размеров. Даже тогда, когда я дошел до кольцеобразных резонаторов диаметром лишь в несколько сантиметров, я все еще получал узлы; последние находились на небольшом расстоянии от конца проволоки, и я мог еще наблюдать половины длин волн вплоть до 12 см. Таким образом, случай навел меня на еще не обнаруженный ранее след коротких волн. Я сразу же пошел по этому следу и мне вскоре же удалось найти и ту форму первичного проводника, которая наиболее подходила для работы с малыми резонаторами.

Самому явлению как таковому я не уделил внимания и, так как для этого не представлялось подходящего случая, я о нем нигде не упомянул в публикации. Это был, очевидно, особый случай того явления,

¹ [I, С. 166].

которое позднее было открыто г-дами Саразеном и де ля Ривом¹, названо «множественным резонансом» [multiple Resonanz] и истолковывалось так, что первичный проводник вообще не обладает никаким определенным периодом колебаний, а совершает одновременно колебания со всевозможными периодами, лежащими в широком диапазоне. То, что я сам не обратил внимания на это явление, объясняется прежде всего тем, что оно имело для меня лишь вспомогательное значение; благодаря ему я быстро перешел к другим опытам. Но не менее важно было также и то, что я сразу же дал этому явлению, каким оно было в моем случае, собственное объяснение, которое придает ему гораздо меньший интерес, чем объяснение г-д Саразена и де ля Рива. Я видел в этом явлении необходимое и предусматриваемое теорией следствие быстрого затухания первичного колебания. Г-н Саразен тотчас же любезно ознакомил меня с результатами своего опыта, я же поделился с ним своими сомнениями по поводу его объяснения этого явления и своим собственным объяснением его. Но хотя он и отнесся к моим выводам с самой любезной готовностью, нам не удалось договориться о толковании этого опыта. Такая договоренность тотчас же была достигнута с г-ном А. Пуанкаре, который создал себе сам в основном такое же представление об этом явлении, как и я, и письменно поделился им со мною. Он выразил это представление математически и опубликовал его в своем труде «Electricité et Optique»². Одновременно и независимо этот вопрос математически развил г-н В. Бьеркнес³. То, что объяснение г-д Пуанкаре и Бьеркнеса представляет собой не только одно из возможных, но и единственно возможное объяснение, как мне кажется, доказывается только что появившимся исследованием г-на Бьеркнеса⁴, которое устанавливает, что колебание первичного проводника является, по крайней мере в первом приближении, регулярно затухающей синусоидой определенного периода. Тщательные исследования г-д Саразена и де ля Рива содержат, таким образом, необходимое дополнение к нашим познаниям в этой области, но не содержат никаких противоречий с каким-нибудь из выдвинутых мною утверждений. Так смотрели на эти опыты также и их авторы. Более острая критика моих работ была выдвинута по

¹ E. Sarasin et L. de la Rive. Arch. de Genève (3). 23, p. 113, 1890.

² H. Poincaré. Electricité et Optique, II, p. 249.

³ V. Bjerknes. Wied. Ann., 44, p. 92, 1891.

⁴ V. Bjerknes. Wied. Ann., 45, p. 513, 1891.

поводу того же опыта одним выдающимся, хотя и стоящим далеко от этих опытов французским ученым. Надеюсь, что теперь можно считать, что основания для такой критики отпали¹.

Я позволю себе по этому случаю упомянуть также о сомнении, которое было высказано в последнее время г-дами Гагенбахом и Цендером относительно убедительности моих опытов². Я не могу еще, однако, рассматривать работу г-д Гагенбаха и Цендера как законченную. Авторы предполагают еще вернуться к объяснению резонанса, к вопросу о характере действия на расстоянии и к вопросу об образовании узлов и пучностей. Но это как раз те и почти все те явления, на которых основываются мои опыты и все их объяснение.

Итак после того как мне удалось наблюдать упомянутым выше образом очень короткие волны, я выбрал волны длиной приблизительно в 30 см и прежде всего повторил с ними прежние опыты. Вопреки моим ожиданиям новый опыт установил, что эти короткие волны распространяются вдоль по проволокам почти с той же скоростью, какую они имеют в воздухе. Так как для таких коротких волн легко создать свободное пространство, здесь не могло явиться сомнения в правильности результата. Приобретя уверенность в обращении с короткими волнами, я снова предпринял опыты с вогнутыми зеркалами. Большого старого зеркала уже более не существовало, и я распорядился установить меньшее, высотой в 2 м с отверстием несколько более 1 м. Его действие было так поразительно благоприятно, что тотчас после первого испытания я заказал не только второе вогнутое зеркало, но также плоские зеркальные поверхности и большую призму. Быстро, один за другим и без хлопот удавались теперь опыты, которые изложены в работе «О лучах электрической силы»³. Опыты эти были задолго до того обдуманы и подготовлены, за исключением опыта с поляризацией, который пришел мне в голову лишь во время работы. Эти опыты с вогнутыми зеркалами быстро обратили на себя внимание, они часто повторялись и подтверждались. Они получили положительную оценку, которая далеко превзошла мои ожидания⁴. Значительная часть этого успеха вытекала из философских соображений. Был затронут старый вопрос о возможно-

¹ Cornu. *Comptes Rendus*, **110**, p. 72, 1890.

² E. Hag en b a c h u. L. Z e h n d e r. *Wied. Ann.*, **43**, p. 610, 1891.

³ [Наст. сборн., С. 110-123].

⁴ Эти опыты дали также повод к докладу «О соотношениях между светом и электричеством», в котором я в 1889 году изложил на собрании гейдельбергских естествоиспытателей мои опыты в их общей взаимной связи в популярной форме (напечатано Е. Штрауссом [E. Strauss] в Бонне). [1, С. 193].

Исследования по распространению электрической силы и сущности действия на расстоянии. Освященное наукой и неохотно принимаемое разумом господство сил, непосредственно действующих на расстоянии, казалось в области электричества навсегда разрушенным простыми и убедительными опытами.

С достижением указанной выше цели было достигнуто известное завершение работы. Один пробел все же мною еще ощущался. Опыты имели дело с распространением лишь электрической силы. Было желательно показать также, что и магнитная сила распространяется с конечной скоростью. Согласно теории для этого не требовалось получения особых магнитных волн, так как электрические волны сами по себе должны быть в то же время и волнами магнитной силы. Дело заключалось лишь в том, чтобы действительно доказать наличие в этих волнах магнитной силы наряду с электрической. Я надеялся, что это окажется возможным путем наблюдения механических сил, с которыми волны действуют на кольцеобразный проводник. Так был тогда составлен план опытов, которые по внешним причинам были выполнены только позднее и в несовершенном виде и отчет о которых содержит последняя экспериментальная работа «О механических действиях электрических волн в проволоках».

Бросим взгляд назад. Совокупностью описанных опытов впервые было дано доказательство распространения с конечной скоростью силы, которая считалась действующей на расстоянии мгновенно. Этот факт составляет философское и, вместе с тем, в известном смысле важнейшее достижение опытов. В этом доказательстве содержалось познание того, что электрические силы могут отделяться от весомих тел и существовать далее самостоятельно как состояния или изменения пространства. Наряду с этим познанием специальные черты отдельных опытов доказывают, что этот особый тип распространения электрической силы обнаруживает самую близкую аналогию¹, если неполное совпадение с распространением светового движения. Тем самым гипотеза о том, что свет является электрическим явлением, становится в высокой степени вероятной. Строгое доказательство этой гипотезы заведомо может быть дано лишь опытами со светом.

То, что мы здесь отметили как достижение, полученное в результате опытов, является независимым от правильности тех или иных теорий. И, тем не менее, значение опытов заключается, очевидно, в

¹ Аналогия ни в коем случае не заключается только в совпадении более или менее точно измеренных скоростей. Почти одинаковая скорость представляет собою лишь один из многих элементов аналогии.

их связи с теорией, в каковой связи они, впрочем, и были предприняты. С 1861 года наука обладает теорией, построенной Максвеллом на основе воззрений Фарадея, которую мы поэтому называем теорией Фарадея—Максвелла и которая может с той же уверенностью утверждать возможность открытого здесь класса явлений, с какой прочие теории электричества принуждены были эту возможность отрицать. Максвелловская теория сразу же превзошла прочие теории электричества красотой и богатством связей, которые она допускала между явлениями. Вероятность того, что эта теория правильна, росла из года в год и соответственно росло число ее сторонников. Все же теория Максвелла не была в состоянии полностью вытеснить противостоящие ей теории, так как она могла ссылаться лишь на вероятность своих конечных результатов, а не на достоверность своих предпосылок. Основные гипотезы теории Максвелла противоречили обычным воззрениям и не могли опереться на достоверные опыты как на доказательство. В этой естественной связи мы не можем охарактеризовать цель и результаты наших опытов лучше, чем если мы скажем:

Целью этих опытов была проверка основных гипотез теории Фарадея—Максвелла, а результат опытов есть подтверждение основных гипотез этой теории.

б. К теории

Что же, однако, если говорить точно, представляет собою теория Фарадея—Максвелла. Максвелл оставил нам после себя как работу своих зрелых лет большое произведение об электричестве и магнетизме; поэтому можно сказать, пожалуй, что теория Максвелла и есть теория, изложенная в этом произведении. Однако не для всех физиков, которые ближе соприкасаются с этими вопросами, этот ответ может оказаться достаточным. Иной с усердием занимался изучением произведения Максвелла и, даже не наталкиваясь на особые математические трудности, должен был все-таки отказаться от того, чтобы составить себе полностью свободное от противоречий представление о взглядах Максвелла. У меня самого дело шло не лучше. При величайшем восхищении математическими соотношениями в теории Максвелла я по отношению к физическому смыслу его утверждений не всегда был

полностью уверен, что угадываю его действительное мнение. Поэтому и в своих опытах я не мог позволить себе руководствоваться прямо книгой Максвелла, а руководствовался работами Гельмгольца, как, впрочем, это явствует и из изложения опытов. Однако для особого граничного случая теории Гельмгольца, который приводит к уравнениям Максвелла и к которому приводят мои опыты, физические основы этой теории, к сожалению, утрачиваются, как они вообще утрачиваются, как только хотят отказаться от дальнедействующих сил. Я пытался поэтому построить сам необходимые, свободные от противоречий физические представления. При этом я исходил из уравнений Максвелла; в остальном же я теорию Максвелла, насколько возможно, упрощал путем исключения или простого отбрасывания всех тех элементов, которых я не понимал и без которых можно было обойтись, так как они не могли оказать влияния ни на какое из возможных явлений. Так возникли обе теоретические работы, которые образуют заключение настоящего сборника {т. е. II тома *Gesam. Werke*}. Изложение теории Максвеллом в его собственном произведении, изложение ее как граничного случая теории Гельмгольца и изложение в предлагаемой работе представляют собой, таким образом, существенно различные формы в основном одного и того же содержания. Это общее содержание, облеченное в различные формы, для которого наверное могут быть найдены еще многие другие формы, представляется мне бессмертной частью максвелловского труда. Именно за этим содержанием, а не за отдельными представлениями или методами Максвелла я хотел бы закрепить название «Теория Максвелла». На вопрос: «Что такое теория Максвелла?» я, таким образом, не знаю более короткого и определенного ответа, чем такой: теория Максвелла — это система уравнений Максвелла. Каждую теорию, которая ведет к этим уравнениям и тем самым охватывает те же возможные явления, я буду обозначать как форму или специальный случай теории Максвелла; каждая теория, которая ведет к другим уравнениям и тем самым к другим возможным явлениям, есть другая теория. Итак, в этом смысле и только в этом смысле обе теоретические работы этого сборника образуют изложение теории Максвелла. Они никоим образом не могут претендовать на точную передачу представлений Максвелла. Напротив, сомнительно, признал ли бы Максвелл, если бы он был жив, изложенное толкование за свое.

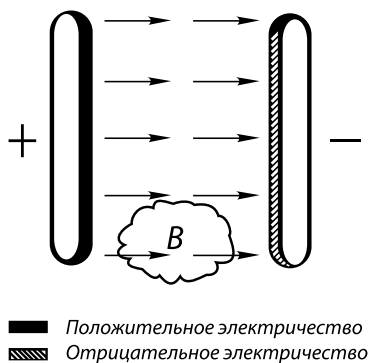
В том, что одно и то же содержание излагают по-разному, кроется значительное затруднение для понимания каждого отдельного изложения. Одно и то же обозначение означает в различных изложениях родственные, но все же различные понятия или представления. Поэтому первое условие для понимания состоит в том, чтобы стараться каждое изложение понять само по себе и не вносить в него понятия другого изложения. Возможно, что я окажу услугу некоторым товарищам по работе тем, что и здесь коротко поясню основные представления трех различных изложений теории Максвелла, о которых я упомянул выше. При этом я получу возможность указать, в чем, по моему мнению, лежит особая трудность максвелловского собственного изложения. Часто встречающийся взгляд, что эта трудность математического характера, я не могу разделить.

Когда мы видим тела, действующие друг на друга на расстоянии, мы можем составить себе различные представления о природе этого действия. Мы можем рассматривать воздействие как непосредственную, перескакивающую через пространство, дальнodelствующую силу, или мы можем его рассматривать как следствие действия, которое распространяется в гипотетической среде от точки к точке. При приложениях этих представлений к электричеству мы можем, однако, сделать еще целый ряд более тонких различий. Отправляясь от чистого представления о непосредственном действии на расстоянии к чистому представлению об опосредствованном действии, мы можем различать приблизительно четыре точки зрения.

С первой точки зрения притяжение двух тел мы рассматриваем как род их взаимной духовной склонности. Сила, которую порождает каждое из двух тел, связана с наличием второго тела. Для того чтобы вообще имелась какая-нибудь сила, необходимо наличие по крайней мере двух тел. Магнит в известном смысле приобретает свою силу лишь тогда, когда поблизости от него внесен другой магнит. Это представление является чистым представлением о дальнodelствии, представлением, лежащим в основе закона Кулона. От него уже почти отказались в учении об электричестве, хотя им пользуются еще в учении о тяготении. Астроном-вычислитель говорит о притяжении между Солнцем и планетой, но вопрос о притяжении в пустом пространстве его не занимает.

Со второй точки зрения притяжение между телами все еще рассматривается как род духовного воздействия их друг на друга. Но хотя мы и соглашаемся, что это действие на расстоянии может быть замечено лишь тогда, когда мы имеем по меньшей мере два тела, мы считаем все же, что каждое из действующих тел в отдельности имеет постоянное стремление вызывать в каждой из окружающих его точек притяжение определенной величины и направления, даже если поблизости к нему не находится никакого родственного ему тела. Непрерывно изменяющимся от точки к точке стремлением такого рода мы наполняем мысленно все пространство. В то же время мы не предполагаем наличия в месте действия силы какого-либо изменения пространства, которое позволило бы нам назвать это место местопребыванием силы; напротив, мы по-прежнему считаем местопребыванием и причиной силы само действующее тело. Это, примерно, точка зрения теории потенциала. Она, само собой разумеется, представляет

и содержание некоторых глав произведения Максвелла, хотя и не точку зрения теории Максвелла. Для того чтобы можно было осязательно сравнить между собой различные представления, на фиг. 2, исходя из этой точки зрения, изображены в легко понятных символах две противоположно заряженные пластины конденсатора. В пластинах показано мыслимое материальным положительное и отрицательное электричество, а

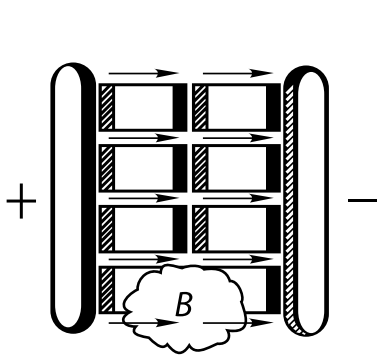


Фиг. 2

стрелками между пластинами — сила. Заполнено ли пространство между пластинами или пусто — с этой точки зрения безразлично. Таким образом, если принять существование светового эфира но представить себе, что он удален из объема B , то сила в этом пространстве все равно останется неизменной.

Третья точка зрения сохраняет представления второй, но добавляет к ним одно усложнение. Она полагает, что действие удаленного тела определяется не одними лишь непосредственными дальнедействующими

щими силами. Напротив, она считает, что в пространстве, которое мыслится всюду заполненным, силы вызывают такие изменения, которые со своей стороны вызывают новые дальнедействующие силы. Притяжение разделенных средой тел основывается тогда частично на непосредственном действии этих тел на расстоянии, частично же на влиянии измененной среды. Изменение самой среды мыслится как электрическая или, соответственно, магнитная поляризация ее мельчайших частей под влиянием действующей силы. По отношению к статическим явлениям эта точка зрения развита Пуассоном для магнетизма и была перенесена Моссо¹ на электрические явления; в наиболее общем своем развитии и в применении ко всей области электромагнетизма она представлена в теории фон Гельмгольца¹.



Фиг.3

Фиг. 3 делает эту точку зрения наглядной для случая, когда среда принимает участие в общем действии лишь в незначительной мере. Мы видим свободные электричества в пластинах, а также раздвинутые электрические флюиды в частицах диэлектрика, неотделимые, однако, друг от друга. Если мы представим себе, что пространство

между пластинами содержит лишь световой эфир и сделаем в нем полость такого вида, как *B*, то силы в этой полости сохранятся, но поляризация исчезнет.

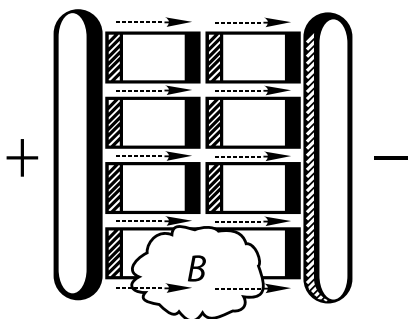
Особое значение имеет граничный случай этого способа представления. Как показывает ближайшее рассмотрение, общее взаимодействие осязаемых тел, которое только и наблюдаемо, мы можем различным образом разделить на непосредственное влияние дальнедействующих сил и на влияние промежуточной среды. Часть полной энергии, находящуюся в наэлектризованных телах, мы можем увеличить за счет той части, которую мы считаем находящейся в среде, и наоборот. В предельном же случае мы ищем всю энергию в

¹ {В заключении работы «Об уравнениях движения электричества для покоящихся проводящих тел». *Ges. Abh.*, I, p. 545}.

среде. Так как электрическим зарядам, находящимся в проводниках, в этом случае не должно соответствовать никакой энергии, то дальнедействующие силы должны сделаться исчезающе малыми. Для этого опять-таки является необходимым условием, чтобы нигде не появлялось свободное электричество. Электричество должно, таким образом, двигаться как несжимаемая жидкость. Поэтому мы и имеем только замкнутые токи, отсюда и проистекает возможность распространить теорию на все виды электрического движения, несмотря на наше незнание законов для незамкнутых токов.

Математическая трактовка этого предельного случая ведет нас к уравнениям Максвелла. Мы обозначаем поэтому такую трактовку как форму максвелловской теории. Так же обозначает этот предельный случай и фон Гельмгольц. Это ни в коем случае не должно означать, что лежащие в основе этой трактовки представления являются представлениями Максвелла.

Фиг. 4 символически изображает представления этой теории о состоянии пространства между двумя наэлектризованными пластинами. Дальнедействующие силы сведены до уровня чистой схемы. Электричество в проводниках еще налицо и оно необходимо в этом представлении, но в своих действиях на расстоянии оно полностью нейтрализуется смещенным к нему противоположным электричеством среды. Давление, которое эта среда оказывает вследствие притяжения ее внутренних электричеств, тянет пластины друг к другу. В полости *B* имеются лишь исчезающе малые дальнедействующие силы.



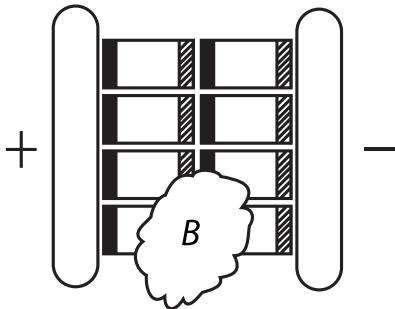
Фиг. 4

Четвертая точка зрения относится к чистому представлению об опосредствованном действии. С этой точки зрения мы соглашаемся, что принятые при третьей точке зрения изменения пространства фактически имеют место и что эти изменения являются посред-

никами влияния, которое осязаемые тела оказывают друг на друга. Но мы не признаем, что эта поляризация является следствием сил, действующих на расстоянии; мы вообще не признаем существования таких сил; мы устраним электричества, от которых такие силы должны происходить.

Наоборот, мы рассматриваем теперь эту поляризацию как единственно существующую в действительности; она представляет собой вместе с тем причину движений весомих тел и причину прочих явлений, которые эти тела при своих изменениях позволяют нам увидеть. Объяснение сущности этой поляризации и ее действий мы или откладываем или же ищем его в механических гипотезах; однако мы отказываемся видеть в использованных до сих пор электричествах и силах, действующих на расстоянии, удовлетворительное объяснение этих взаимных связей и этих действий, Выражения «электричество», «магнетизм» и т. д. сохраняют для нас значение лишь как сокращения.

В математическом отношении мы можем рассматривать эту четвертую точку зрения как полностью совпадающую с предельным случаем третьей точки зрения. Но рассматриваемая с физической стороны она остается все-таки полностью отличной от этого случая. Невозможно в одно и то же время отрицать существование сил, действующих на расстоянии, и рассматривать их как причи-



Фиг. 5

ну поляризации. То, что мы с этой точки зрения только и можем назвать «электричеством», движется не как несжимаемая жидкость.

Другое различие бросается в глаза, когда мы рассматриваем фиг. 5, которая показывает нам символически представления этой точки зрения. Поляризация пространства

здесь изображена посредством тех же символов, которые мы использовали при рассмотрении третьей точки зрения. Но в то время, как изображения на фиг. 3 и 4 поясняют сущность поляризации при по-

мощи сущности электричества, которая предполагается известной, изображение здесь должно определять сущность электрического заряда на проводнике через поляризационное состояние пространства, принимаемое за известное. Каждая частица диэлектрика здесь несет разноименные заряды, как и в представлениях третьей точки зрения. Если мы в этом представлении снова удалим эфир из пространства B , то в этом пространстве не останется решительно ничего, что могло бы напоминать нам об электрическом возбуждении пространства, окружающего B .

Вот эта четвертая точка зрения и есть, как я думаю, точка зрения Максвелла. Общий ход идей его произведения не оставляет никакого сомнения в том, что он хочет полностью устранить силы, действующие на расстоянии. Максвелл говорит категорически, что если в каком-нибудь диэлектрике сила и, следовательно, «displacement» (смещение) направлена вправо, то следует представить себе каждую частицу диэлектрика покрытой отрицательным электричеством с правой стороны и положительным электричеством — с левой. Однако нельзя отрицать, что на первый взгляд другие высказывания Максвелла кажутся находящимися в противоречии с представлениями, вытекающими из этой точки зрения. Максвелл принимает наличие электричества также и в проводниках; это электричество всегда движется так, что вместе со смещениями в диэлектрике образует замкнутые токи. Утверждение, что электричество ведет себя как несжимаемая жидкость, является излюбленным положением Максвелла. Эти высказывания не подходят, однако, под представления четвертой точки зрения; они позволяют предполагать, что, наоборот, перед взором Максвелла находились представления третьей точки зрения. Я полагаю, что последнее никогда не имело места, что противоречия являются кажущимися и основаны на недоразумении. Если я не ошибаюсь, то в общем положение дела таково: Максвелл первоначально развил свою теорию на основе вполне определенных и особых представлений о сущности электрических явлений. Он принимал, что поры эфира и всех тел наполнены тончайшей жидкостью, которая, однако, не является источником каких-либо сил, действующих на расстоянии. В проводниках эта жидкость должна двигаться свободно, и это движение должно образовывать то, что мы называем электрическим

током. В изоляторах эта жидкость мыслилась им прикованной к своему месту упругими силами и ее смещения [displacement] рассматриваются как сущность электрической поляризации. Самую жидкость как причину всех электрических явлений Максвелл называл «электричеством». И вот, когда Максвелл писал свое большое произведение, нагромоздившиеся гипотезы, соответствующие этому первоначальному представлению, по-видимому, перестали его удовлетворять, или же он нашел в них противоречия и поэтому отказался от них. Но он исключил их все же не настолько полно, чтобы не остался целый ряд обозначений, которые проистекают из этого первоначального представления.

В результате слово «электричество», к сожалению, имеет в произведении Максвелла двойной смысл. Во-первых, оно обозначает то же самое, что и мы обозначаем этим словом: величину, которая может быть положительной или отрицательной и которая образует исходную точку по крайней мере кажущихся сил, действующих на расстоянии. Во-вторых, оно обозначает тот гипотетический флюид, который не является источником каких-либо — даже кажущихся — сил, действующих на расстоянии, и количество которого в каком-нибудь пространстве при всех обстоятельствах может быть лишь положительной величиной. Если при чтении изложения Максвелла постоянно интерпретировать смысл слова «электричество» подходящим образом, то поражающие вначале противоречия почти всегда поддаются устранению. Я должен, однако, признаться, что сделать это вполне и так, чтобы это меня совершенно удовлетворяло, мне все же не удавалось: в противном случае я говорил бы определеннее и не так неуверенно¹.

Как бы то ни было, во всяком случае в обеих теоретических статьях настоящего сборника сделана попытка изложить теорию Максвелла, т. е. максвелловскую систему уравнений, с этой, четвертой точки зрения. Я старался сохранять эту точку зрения в чистоте, т. е. вообще не вводить в рассмотрение чуждые ей пред-

¹ Подобным же образом судит и г-н Пуанкаре в его труде «Electricité et Optique» vol. I. *Les théories de Maxwell*. [См. 1, С. 221]. Г-н Л. Больцман в своих «Лекциях о теории Максвелла» («Vorlesungen über Maxwell's Theorie») как будто намеревается, как и я сам, дать скорее лишенное противоречий изложение максвелловской системы, чем точную передачу собственных мыслей Максвелла. Так как произведение еще не закончено, уверенные суждения еще невозможны.

ставления¹. Я старался далее в своем изложении по возможности ограничить число таких представлений, которые вносятся нами в явления произвольно, и допускать лишь такие элементы, которые не могут быть ни устранены, ни изменены без одновременного изменения возможных опытов. Вследствие этого стремления теория принимает, правда, очень абстрактный и бесцветный облик. Мало удовлетворяет, когда слышишь лишь о «направленных изменениях состояния» там, где привыкли иметь перед глазами осязаемую картину атомов, несущих электрический заряд. Мало удовлетворяет, когда видишь уравнения, постулируемые в качестве обобщения результатов опыта, в то время как привыкли к тому, чтобы иметь кажущееся доказательство уравнений посредством длинных математических выводов. Я думаю, однако, что без самообмана можно сказать, что из опыта можно позаимствовать не намного больше того, что высказано в указанных статьях. Если хотят придать теории больше красок, то ничто не мешает посредством конкретных осязаемых представлений о сущности электрической поляризации электрического тока и т. д. дополнительно прийти на помощь воображению. Но строгость науки все-таки требует, чтобы мы хорошо отличали пестрое платье, которое мы накидываем на теорию и покрои и краски которого полностью находятся в нашей власти, от того простого и скромного образа, который являет нам природа и формы которого мы не можем изменять по нашему произволу.

Те частности, которые я хотел бы еще добавить к статьям, я приведу в конце книги в виде дополнительных замечаний.

¹ Выражение «электрическая сила» [*elektrische Kraft*] в этих статьях — это только название для поляризационного состояния пространства. Во избежание недоразумений было бы, вероятно, лучше, если бы я заменил его другим словом, хотя бы словами «электрическая интенсивность поля» [*elektrische Feldintensität*], как предлагает г-н Е. Кон [E. Cohn] в своей преследующей ту же цель работе: «К систематике учения об электричестве». [*Zur Systematik der Elektrizitätslehre*], Wied. Ann., **46**, p. 625, 1890.

Г. Р. Герц О весьма быстрых электрических колебаниях¹

Электрические колебания разомкнутых индукционных катушек имеют период, который может измеряться десятитысячными долями секунды.

Приблизительно в сто раз быстрее совершаются колебательные разряды лейденской банки, которые наблюдал Феддерсен². Теоретически возможны еще более быстрые колебания в незамкнутых проволоках из хорошо проводящего материала, концы которых не нагружены большими емкостями; но, конечно, теория не в состоянии решить, возможно ли в действительности возбудить эти колебания такой интенсивности, чтобы они стали заметными. На основании некоторых явлений я пришел к предположению, что колебания последнего рода действительно могут возникнуть при известных условиях, причем интенсивность колебаний настолько значительна, что действие их доступно наблюдению на расстоянии. Дальнейшие опыты подтвердили мое предположение, ввиду чего здесь будут изложены наблюденные мною явления и произведенные опыты.

Колебания, о которых здесь будет идти речь, в свою очередь, приблизительно в сто раз быстрее наблюденных Феддерсеном. Период этих колебаний, определяемый, конечно, лишь при помощи теории, измеряется стомиллионными долями секунды. Следовательно, в отношении продолжительности они занимают среднее место между звуковыми колебаниями весомых тел и световыми колебаниями эфира. В этом, а также в возможности того, что их ближайшее рассмотрение окажется полезным для теории электродинамики, заключается интерес, который они представляют.

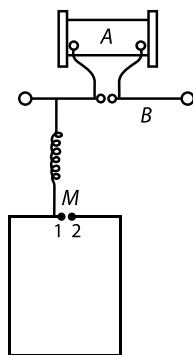
¹ [I, С. 131–148. Там же приведен источник: {Wied. Ann., 31, 421, (1887); *Gesamm. Werke*, В II, S. 32}].

² Литературу см. Р. Колли [R. Kolley], Wied. Ann., 26, 432, 1885 (а также примечание 1 в конце статьи).

Предварительные опыты

Если в разрядную цепь индукционной катушки последовательно с искровым промежутком включить искровой микрометр Рисса, полюсы которого соединены между собой длинным металлическим ответвлением, то, если только длина воздушного промежутка микрометра не превысит известного предела, — разряд пройдет скорее через воздушный промежуток, чем через металлический провод. Это явление не ново; как известно, построение громоотводов для телеграфных проводов имеет своим основанием именно это явление. Только в том случае, если металлическое ответвление коротко и обладает небольшим сопротивлением, можно рассчитывать на исчезновение искры в микрометре. И на самом деле длина получаемой искры уменьшается вместе с длиной ответвления, но полного ее погашения едва ли можно достигнуть. Даже и в том случае, когда оба шарика микрометра соединены толстой медной проволокой, длиной всего в несколько сантиметров, можно наблюдать искорки, хотя и очень короткие. Непосредственно этот опыт показывает, что в момент разряда потенциал изменяется вдоль замыкающей цепи на величину в сотни вольт на протяжении всего лишь нескольких сантиметров, косвенно же он дает указание на исключительно большую скорость, с которой происходит разряд. Ибо разность потенциалов между шариками микрометра может рассматриваться только как результат действия самоиндукции в металлической замыкающей цепи.

Время, в течение которого потенциал на одном шарике испытывает заметные изменения, будет того же порядка, что и время, в продолжение которого эти изменения доходят до другого шарика через короткий отрезок хорошего проводника. Можно было бы предположить, пожалуй, столь большую плотность разрядного тока, что одно лишь сопротивление ответвления обусловит разность потенциалов на шариках микрометра. Но приблизительное рассмотрение количественных условий показывает, что это предположение неосновательно, а в дальнейших опытах такого рода предположение вообще не может быть выдвинуто.



Фиг. 1

Замкнем опять искровой микрометр при помощи хорошего металлического провода, например медной проволоки диаметром 2 мм и длиной 0.5 м, согнутой в прямоугольник; но при этом мы не включаем его в разрядную цепь индукционной катушки, а соединяем только один из ее полюсов с какой-нибудь точкой разрядной цепи при помощи промежуточной проволоки. На фиг. 1 представлено расположение приборов: *A* схематически изображает индукционную катушку, *B* — разрядник, *M* — микрометр. Во время действия индукционной катушки мы будем опять наблюдать в микрометре поток искр, достигающий иногда длины в несколько миллиметров. Этот опыт показывает, во-первых, что в момент разряда интенсивные электрические движения происходят не только в самой цепи, замыкающей разрядник, но и во всех соединенных с ним проводах; во-вторых, он показывает нагляднее, чем предыдущий опыт, что эти движения происходят очень быстро и поэтому должен быть принят во внимание даже тот промежуток времени, в продолжение которого электрические волны проходят через короткие металлические провода. В самом деле, опыт этот можно объяснить только таким образом, что изменение потенциала, создаваемое индукционной катушкой, достигает шарика 1 на заметное время раньше, чем шарика 2. Это явление становится поразительным, если принять во внимание, что электрические волны, насколько нам известно, распространяются в медных проволоках почти со скоростью света. Поэтому мне казалось достойным труда исследовать, какие условия будут способствовать появлению сильных искр в микрометре. Для краткости эти искры в противоположность собственно разряду мы будем называть смежными искрами, а замыкающую цепь микрометра — смежной цепью.

Прежде всего оказалось, что для достижения смежных искр, длиной в несколько миллиметров, требуются сильные разряды. Поэтому для всех дальнейших опытов я пользовался большой катушкой Румкорфа [Ruhmkorff] длиной в 52 см, диаметром в 20 см; катушка была снабжена ртутным прерывателем и возбуждалась шестью большими элементами Бунзена [Bunsen]. При маленьких катушках получались в качественном отношении те же результаты, но смежные искры были в этом случае короче, и поэтому наблюдать различие между ними было труднее. То же самое имело место и при разряде лейденских банок или батарей, которые были включены вместо индукционной катушки. Далее оказалось, что и в случае применения одного и того же прибора большое значение имеет характер возбуждающей искры в разряднике. Если искра будет возникать

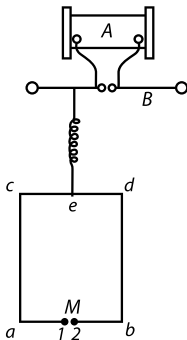
между двумя остриями или между острием и пластиной, она вызывает лишь весьма слабые смежные искры; точно так же не производит действия разряд через разреженные газы или в трубке Гейслера. Хорошее действие получается только при искре между двумя шариками, причем искра не должна быть ни слишком короткой, ни слишком длинной. Если она короче $1\frac{1}{2}$ см, то смежные искры будут слабыми, если же длиннее $1\frac{1}{2}$ см, то они почти совершенно не появляются. Я использовал в дальнейших опытах как наиболее подходящие искры длиной приблизительно в $\frac{3}{4}$ см между двумя латунными шариками диаметром в 3 см. Но и такие искры не всегда одинаково проявляли свое действие; малейшие обстоятельства, часто не находящиеся в видимой связи, могли вызвать бездейственную искру вместо действительной. После некоторого упражнения по виду и шуму искры можно судить о ее способности возбуждать смежные искры. Дейтельные искры белого блестящего цвета, слегка зазубрены и сопровождаются резким треском. Легко показать, что искра в разряднике является существенным условием для смежной искры; для этого нужно раздвинуть разрядные шарики настолько, чтобы перейти пробивное расстояние индукционной катушки; тогда исчезнет всякий след смежной искры, хотя появляющиеся напряжения будут больше, чем раньше.

Длина цепи микрометра, естественно, имеет большое влияние на длину искры в ней. Чем цепь длиннее, тем больше будет замедление, которое испытывает проходящая электрическая волна между появлением ее на одном и на другом шариках микрометра. Если смежную цепь взять весьма небольшой длины, то смежные искры будут очень короткими, но едва ли возможно составить такую цепь, в которой при благоприятных условиях все-таки не появились бы искры. Если толстую медную проволоку длиной 4–6 см заострить на концах, согнуть в почти замкнутый круг, изолировать ее и прикоснуться затем этой маленькой проволоочной цепью к разряднику, то разряды индукционной катушки будут вообще сопровождаться некоторым, весьма коротким потоком искр между остриями. Толщина и материал, следовательно, и сопротивление смежной цепи имеют весьма незначительное влияние на длину смежной искры. Поэтому мы были вправе отрицать, что сопротивление вызывает появление разности потенциалов. И на основании нашего представления об этих явлениях мы не должны удивляться тому, что сопротивление почти совсем не играет роли, так как скорость распространения электрической волны в проволоке зависит

в первую очередь только от ее емкости и самоиндукции, но не от ее сопротивления. Точно так же не оказывает существенного влияния и длина соединительной проволоки между главной цепью и смежной, если только она не превысит длины в несколько метров. Можно предположить, что электрическое возмущение, идущее от главной цепи, распространяется через эту проволоку без значительного ослабления.

Но зато положение точки приключения соединяющего провода к смежной цепи оказывает весьма значительное влияние на длину смежной искры. Этого и приходится ожидать, если наше толкование явления вообще верно.

В самом деле, если место приключения расположить так, чтобы пути от него до обоих шариков микрометра были равны, то каждое изменение, распространяющееся через соединительный провод, будет достигать обоих шариков в одинаковых фазах, и разность потенциалов между ними не может появиться. Это предположение подтверждается опытом. Так, если мы место подвода к смежной цепи, которое мы до сих пор представляли находящимся у одного из шариков микрометра, будем удалять все больше и больше от последнего, то длина искры будет уменьшаться; при некотором положении искры потухнут совершенно или почти совершенно; искры будут увеличиваться опять, по мере того как место под-



Фиг. 2

вода будет приближаться ко второму шарiku микрометра, и достигнут здесь такой же длины, как и у первого шарика. Точку, у которой наступает минимальная длина искры, можно назвать нейтральной точкой. Большей частью ее положение можно определить с точностью до нескольких сантиметров. Оказывается, что она находится почти посредине проволоки, соединяющей шарики микрометра. Если провод симметричен вправо и влево от линии, соединяющей микрометр с нейтральной точкой, то всегда происходит совершенное затухание искры. Явление это можно наблюдать даже в

очень короткой ответвленной цепи. Фиг. 2 показывает целесообразное расположение этого опыта. $abcd$ – прямоугольник из голой медной проволоки, диаметром в 2 мм, изолированный на сургучных подставках¹.

¹ См. примечание 2 в конце статьи.

В моих опытах ширина прямоугольника была равна 80 см, а длина — 125 см. Если подводящий провод будет присоединен к шарикам 1 или 2, либо у точек a или b , то между шариками 1 и 2 появляются искры, длиной в 3—4 мм; при подводе к точке e , как показано на фигуре, получить искры совершенно невозможно; при перемещении места подвода на несколько сантиметров вправо или влево в микрометре появляются искры. Следует заметить, что искры длиной в несколько сотых миллиметра мы считаем уже заметными.

Следующий опыт показывает, что наше толкование явления еще не достаточно полно. А именно: если после установки соединительного провода на исчезновение искры присоединить к одному из шариков микрометра еще добавочный провод, то опять появятся интенсивные искры. Одновременный приход волн, исходящих из e в 1 и 2, не может быть изменен этим добавочным проводом. Между тем легко объяснить и этот опыт: происходящее явление не ограничивается однократным пробегом волны к a и b , но волны отражаются и несколько, а, может быть, и много раз пробегают по смежной цепи и, таким образом, вызывают в ней стоячие волны. Если пути $eca1$ и $edb2$ равны, то и отраженные волны придут одновременно в 1 и 2. Если же будет отсутствовать волна, отраженная от одного из шариков, как в последнем опыте, то искры будут вызваны, хотя и не первым импульсом, идущим от e , но все же отраженными волнами. Следовательно, мы должны себе представить, что внезапное изменение, достигающее e , возбуждает собственные колебания в смежной цепи, вроде того, как удар молотком вызывает собственные колебания упругого стержня. Если такое представление верно, то существенным условием, для исчезновения искр в M должно быть равенство периодов колебаний обоих отрезков $e1$ и $e2$. Эти периоды колебаний определяются произведением коэффициента самоиндукции этого отрезка провода на емкость его концов; они почти не зависят от сопротивления отрезка. Нижеследующие опыты могут послужить для проверки этого вывода, их результаты оказываются в согласии с ним.

Если подвод установить в нейтральной точке и прикоснуться к одному из шариков микрометра изолированным проводником, то сейчас же опять появятся искры, так как емкость ветви будет увеличена. Достаточно даже изолированного шарика, диаметр в 2—4 см; чем

больше присоединенная емкость, тем интенсивнее становятся искры. Прикосновение к нейтральной точке e не оказывает никакого влияния, так как оно затрагивает обе ветви одинаково. Действие присоединения емкости к одной ветви может быть уничтожено присоединением равной емкости к другой ветви. Это действие может быть также компенсировано перемещением подводящего провода по направлению к нагруженной ветви, т. е. посредством уменьшения самоиндукции последней. Такое же действие, как и присоединение емкости, производит увеличение коэффициента самоиндукции. Если разрезать одну ветвь и вставить несколько сантиметров или дециметров свернутой в катушку медной проволоки, то опять появятся искры. Произведенное изменение может быть компенсировано посредством включения медной проволоки одинаковой длины в другую ветвь, либо посредством перемещения соединительной проволоки по направлению к измененной ветви, либо посредством присоединения подходящей емкости к другой ветви. Но следует заметить, что если ветви неодинаковы, то можно достигнуть лишь минимальной длины искры, но не полного ее тушения.

Сопротивление ветвей оказывает очень незначительное влияние на явления. Когда в одной ветви толстая медная проволока была заменена значительно более тонкими проволоками из меди или нейзильбера, то равновесие ветвей этим не было нарушено, хотя сопротивление одной ветви было во сто раз больше сопротивления другой. Правда, очень большие жидкие сопротивления делали невозможной установку на исчезновение искры; такое же влияние оказывали короткие воздушные промежутки, включенные в одну из ветвей.

Коэффициент самоиндукции железных проволок при медленно изменяющихся токах приблизительно в 8–10 раз больше коэффициента самоиндукции медных проволок той же длины и толщины. Поэтому я полагал, что короткие железные проволоки будут уравновешивать длинные медные проволоки. Это предположение не оправдалось; равновесие между ветвями сохранялось, когда медная проволока заменялась железной проволокой одинаковой длины. Если наше представление о наблюдаемом явлении вообще верно, то это можно истолковать только так, что магнетизм железа не может следовать за такими быстрыми колебаниями, как в данном случае, и поэтому остается в бездействии. Один из нижеприведенных опытов, по-видимому, подтверждает это заключение.

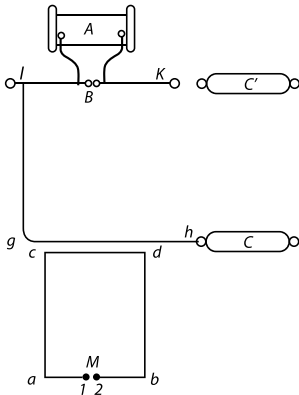
Индукционные действия незамкнутых токов

Искры, появлявшиеся при предыдущих опытах, возникают, по нашему предположению, благодаря самоиндукции. Но если принять во внимание, что это индукционное действие вызывается крайне слабыми токами в коротких прямых проводах, то мы вправе усомниться, действительно ли его можно считать достаточным, объяснением появления искры. Для того чтобы устранить это сомнение, я старался узнать, не вызывают ли наблюдаемые электрические движения соответственных по силе действий также и в соседних проводах. Для этого я согнул из медной проволоки прямоугольники со сторонами в 10–20 см, имевшими весьма короткий искровой промежуток. Эти прямоугольники, будучи изолированными, приближались к прямым проводам, в которых происходило движение электричества, и притом так, что одна сторона прямоугольника была параллельна проводу.

При достаточном приближении в том проводнике, который приближали, всегда появлялся поток искр, сопровождающий разряды индукционной катушки. Интенсивнее всего эти индуцированные искры появлялись вблизи разрядника, но они наблюдались также и около провода, ведущего к смежной цепи, равно как и у ветвей этой последней. Между индуктирующим и индуктируемым проводами разряд не происходил, — это было тщательно констатировано; возможность такого разряда специально устранялась еще прокладкой твердого изолятора. В этом отношении ошибка в истолковании явления едва ли возможна. То обстоятельство, что индукция между двумя простыми короткими отрезками проволоки, в которых движутся лишь небольшие количества электричества, может все-таки возрасти до образования искры, снова указывает, что время, в продолжение которого эти небольшие количества электричества двигаются в проводах туда и обратно, чрезвычайно мало.

Для того чтобы изучить эти явления поближе, я воспользовался прямоугольником, который раньше служил смежной цепью, применяя его в качестве индуктируемого проводника. Как показывает фиг. 3, вдоль короткой стороны прямоугольника на расстоянии 3 см была натянута вторая медная проволока gh , которая соединялась с какой-нибудь точкой разрядника. Пока конец h проволоки

gh был свободен, в микрометре M появлялись лишь совершенно ничтожные искорки, которые возникали под влиянием разрядных токов проволоки gh . Но в микрометре появлялись искры длиной



Фиг. 3

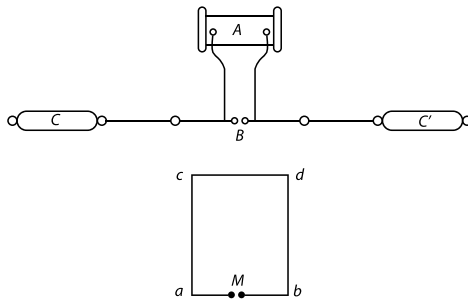
от одного до двух миллиметров, когда к h был подвешен изолированный кондуктор C , отделенный от электростатической машины, так что через проволоку должны были проходить большие количества электричества. Причиной этого не была электростатическая индукция кондуктора: когда он был подвешен вместо h в g , он не оказывал никакого действия. Зарядный ток кондуктора также не был тому причиной; это было исключительно действие внезапного разряда, вызванного искрой.

В самом деле, когда шарики разрядника кондуктора были раздвинуты настолько, что между ними не проскакивала искра, то и в индуктированной цепи искра также совсем не появлялась. Не всякого рода искра вызывала достаточно сильно действующий разряд; только те искры, которые вызывали раньше сильные смежные искры, оказывались способными возбудить в данном случае индукционное действие. Во вторичной цепи возбужденные искры переходили не только между шариками микрометра, но также и от последних к другим изолированным проводникам, которые приближались ко вторичной цепи. Искры заметно укорачивались при соединении шариков с кондукторами большой емкости или при прикосновении к одному из них рукой; очевидно, количества электричества, приведенные в движение, были слишком малы, чтобы зарядить до полного напряжения проводник большой емкости. Наоборот, соединение обоих шариков микрометра посредством короткой влажной нитки не оказывало особенного влияния на появление искры. Физиологические действия индуктированного тока не замечались; можно было, не ощущая сотрясения, прикасаться ко вторичному проводу, замыкать его через тело.

Некоторые побочные явления привели меня к предположению, что движение электричества по проволоке gh потому производит такое сильное индуктирующее действие, что оно не состоит из простого разрядного тока, а имеет колебательный характер. Поэтому я старался усилить индукцию тем, что достигал более благоприятных условий для возникновения сильных колебаний. Нижеследующее устройство опыта особенно соответствовало моей цели. Я подвесил, как и раньше, кондуктор C к проводу gh и раздвинул шарики искрового микрометра настолько, что проскакивали лишь редкие искры. Далее, ко второму свободному полюсу разрядника k (фиг. 3) я подвесил второй кондуктор C' , приблизительно такой же, как и первый. Благодаря этому получился опять очень сильный поток искр, и при дальнейшем раздвигании микрометра можно было получить заметно более длинные искры, чем раньше. Причиной этого не может быть непосредственное действие провода ik , так как оно должно было бы ослаблять действие тока, идущего до gh , следовательно, должно иметь место действие конденсатора C' на разрядный ток C . Если мы примем, что разряд кондуктора C аperiодический, то такое действие является необъяснимым. Но оно будет понятным, если мы сделаем допущение, что индуцирующий ток в gh представляет собой электрические колебания, которые происходят один раз в системе C — проволока gh — разрядник, другой раз в системе C — проволока gh — проволока ik — C' . Ясно, во-первых, что вторая система обладает более интенсивным собственным колебанием и, во-вторых, что искра в ней расположена на более подходящем месте для возбуждения колебаний.

Предоставим нижеследующему подтвердить далее наше представление. Но уже теперь мы можем в пользу его привести то обстоятельство, что оно позволяет более точное обследование той роли, которую играет в опыте разряд катушки Румкорфа. А именно, если для получения сильного индукционного действия требуются колебательные движения в проводе C — C' , то недостаточно, если и искра в этом проводе появится на чрезвычайно короткое время; она должна еще и уменьшить сопротивление провода ниже известного значения, а для этого необходимо, чтобы, начиная с первого момента, плотность тока была не ниже некоторого определенного значения. Поэтому мы получим лишь чрезвычайно сла-

бое индукционное действие, если станем заряжать кондукторы C и C' противоположными потенциалами не при помощи катушки Румкорфа, а посредством электростатической машины¹, и затем дадим им разрядиться; поэтому действие будет точно так же весьма слабым при применении маленькой индукционной катушки или включении слишком большого искрового промежутка; во всех этих случаях движение будет аperiodическим. Наоборот, сильный разряд индукционной катушки вызывает колебания и вместе с этим сильное внешнее действие тем, что он выполняет следующие функции: во-первых, он заряжает концы CC' провода до высокого потенциала; во-вторых он вызывает внезапную искру; в-третьих, по наступлении разряда он поддерживает сопротивление воздушного промежутка таким малым, что могут происходить колебания. Если емкость концов провода очень велика как например, у обкладок батареи, то, как мы знаем, разрядный ток этих емкостей сам в состоянии достаточно понизить сопротивление искрового промежутка; при малых же емкостях эту функцию должен выполнять посторонний разряд, и по этой причине в условиях нашего опыта для возбуждения колебаний необходим разряд катушки Румкорфа.



Фиг. 4

Так как при только что описанном опыте индуктированные искры достигали длины в несколько миллиметров, то я не сомневался, что и при значительно большем расстоянии между действующими отрезками проволок можно было еще получить искры, и поэтому я произвел в опыте несколько изменений, пред-

¹ См. примечание 3 в конце статьи.

ставляющих интерес. Индуцирующему току я придал вид прямой линии (фиг. 4). Концы его образовывали кондукторы C и C' . Последние находились на расстоянии 3 м друг от друга и были соединены медной проволокой толщиной в 2 мм, в середине которой находился разрядник индукционной катушки. Индуцируемая цепь была такой же, как и в предыдущих опытах, т. е. шириной 80, длиной 120 см. Когда наименьшее расстояние между обоими проводами было взято в 50 см, то еще получались индуцируемые искры длиной 2 мм; когда же расстояние увеличивалось, длина искры быстро уменьшалась, но и при наименьшем расстоянии в 1.5 м еще замечался регулярный поток искр. Без нарушения опыта можно было двигаться между индуктирующим проводом и индуктируемым. То обстоятельство, что наблюдаемое явление действительно имело своей причиной прямолинейный ток, было подтверждено опять несколькими проверочными опытами. Когда я удалял одну или обе половины прямолинейного провода, искры в микрометре прекращались, хотя индукционная катушка и продолжала действовать. Точно так же искры прекращались, когда шарики разрядника были раздвинуты настолько, что это препятствовало появлению в нем искр. Так как в этом электростатические напряжения на концах кондукторов C и C' только возрастают, то это и служит доказательством, что эти напряжения не являются причиной искр в микрометре.

Индукционный ток был до сих пор замкнутым, но легко можно было предположить, что в незамкнутом проводнике индукция проявилась бы в не меньшей степени. Поэтому параллельно прямолинейной проволоке предыдущего опыта на расстоянии 60 см была натянута вторая медная изолированная проволока. Последняя была несколько короче первой, на ее концах были укреплены два изолированных шара диаметром в 10 см; в середине ее был введен искровой микрометр. Когда индукционная катушка была приведена в действие, поток искр катушки сопровождался потоком искр во вторичном проводе. Здесь, однако, нужно быть осторожным в толковании опыта, так как наблюдаемые искры не являются исключительно следствием индукции. Переменное движение в проводе CC' налагается на собственный разряд катушки Румкорфа. Последний же в продолжение всего

своего действия обуславливает заряд кондуктора C одним знаком, кондуктора C' другим. Эти заряды не оказывали никакого действия на замкнутую цепь предыдущего опыта, но в теперешнем разомкнутом проводе, благодаря исключительно электростатической индукции, они обуславливают противоположные заряды обеих его частей, а вместе с этим и искры в микрометре. И на самом деле, если мы в данном случае раздвинем шарики разрядника до погашения в нем искр, то в микрометре будут все еще проскакивать искры, хотя и более слабые. Эти искры зависят от электростатической индукции, присоединяющейся к тому действию, которое мы хотим выделить.

Между тем существует простой способ устранить мешающие искры. Они исчезнут, если мы устроим плохо проводящее соединение между шариками микрометра, проще всего при помощи влажной нитки. Очевидно, что проводимость этой нитки достаточна для того, чтобы позволить току следовать за сравнительно медленными изменениями разряда катушки Румкорфа, но она недостаточна, как мы уже видели, для того, чтобы способствовать выравниванию электричества при крайне быстрых колебаниях в прямолинейном проводе. Если мы после присоединения нитки вызовем опять в первичной цепи искру, то и во вторичном проводе опять появятся сильные искры, но они обусловлены уже исключительно действием быстрых колебаний в первичном прямолинейном проводе. Я испытывал, на каком расстоянии будет все еще проявляться это действие. При расстоянии в 1.2 м между параллельными проволоками искры были еще вполне заметны: наибольшее расстояние по перпендикуляру, на котором можно еще было устойчиво наблюдать появление искр, было 3 м. Так как электростатическое действие уменьшается с расстоянием быстрее индукционного, то при больших расстояниях было излишним усложнять опыт применением влажной нитки; даже и без последней только такие разряды, которые возбуждают в первичной проволоке колебания, вызывали искры во вторичном проводе.

Я думаю, что здесь впервые было показано на опыте взаимодействие прямолинейных разомкнутых токов, имеющее такое большое значение для теории.

Явления резонанса

Существование весьма быстро изменяющихся токов с сильным индукционным действием на провода, которые находятся в связи с разрядной цепью, можно считать доказанным на опыте. До сих пор существование правильных колебаний принималось только для того, чтобы объяснить сравнительно немногие явления, которые, быть может, допускают и другое толкование; однако существование таких колебаний было бы доказано, как мне думалось, если бы удалось показать, что между обеими цепями тока, действующими друг на друга, существуют резонансные отношения. По принципу резонанса регулярный колебательный ток при прочих равных условиях должен произвести гораздо большее индукционное действие на цепь с одинаковым периодом колебания, чем на цепь с хотя бы немного отличным периодом¹. Следовательно, если заставить действовать друг на друга такие две цепи тока, относительно которых можно предположить, что они имеют почти одинаковый период колебания, и если изменять затем непрерывно емкость или самоиндукцию, а тем самым и период колебаний одной из них, то резонанс должен будет выразиться в том, что при определенных значениях этих величин индукционное действие будет заметно сильнее, чем при близких значениях с обеих сторон.

По этому принципу были произведены следующие опыты, которые после некоторых попыток привели к результату, соответствующему ожиданиям. Устройство опыта почти такое же, как показано на фиг. 4, лишь размеры проводов были несколько изменены. Первичным проводником служила совершенно прямая медная проволока, длиной 2.6 м и толщиной 5 мм. В середине она была разрезана для введения возбуждающего искрового промежутка. Оба маленькие шарика, между которыми происходил разряд, были насажены непосредственно на проволоку и соединены с полюсами индукционной катушки. На концах проволоки были расположены два шара диаметром 30 см, изготовленные из толстого цинкового листа. Эти шары можно было передвигать по проволоке. Так как в электрическом смысле они образовывали

¹ Cp. Oberbeck. Wied. Ann., Bd. 2 6, S. 245, 1885 [1, C. 286].

всегда концы цепи, то можно было легко укорачивать или удлинять эту цепь. Вторичный провод имел такие размеры, что он должен был по предположению иметь несколько более короткий период колебания, чем первичный; он состоял из медной проволоки, диаметром 2 мм, и имел вид квадрата со стороной в 75 см. Наикратчайшее расстояние между обоими проводниками было выбрано равным 30 см, и первичному току была придана сначала полная длина. При этих условиях длина наибольшей искры в индуцированной цепи была равна 0.9 мм. Когда к обоим полюсам этой цепи прикасались двумя изолированными металлическими шариками, диаметром 8 см, то длина искры увеличивалась и при известном приближении обоих шаров друг к другу могла быть доведена до 2.5 мм. Наоборот, если к обоим полюсам прикасались двумя кондукторами с весьма большой поверхностью, то длина искры уменьшалась до малой доли миллиметра. Совершенно аналогичные явления имели место, когда полюсы вторичной цепи были соединены с пластинами конденсатора Кольрауша. При большом расстоянии между пластинами это увеличение емкости действовало благоприятно на длину искры; при приближении пластин друг к другу длина искры опять уменьшалась до весьма малых значений. Емкость вторичной цепи удобнее всего было регулировать тем, что над ее обоими концами были подвешены два параллельных куска проволоки, расстояние между которыми и длина которых изменялись. При тщательном регулировании длина искры повышалась до 3 мм и после этого уменьшалась как при увеличении, так и при уменьшении длины проволоки. То, что с увеличением емкости сила искры увеличивается, является естественным, но то, что при этом увеличении искра удлиняется, можно объяснить не иначе как резонансом.

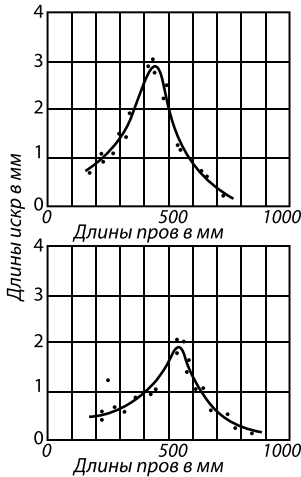
Если предыдущие опыты были истолкованы правильно, то вторичная цепь пока без присоединенной емкости имела несколько более короткий период, чем первичная. Поэтому, если ускорять колебания первичной цепи, также должен возникнуть резонанс. И на самом деле, когда длину первичной цепи я уменьшал вышеуказанным образом, длина искры увеличивалась, она снова достигала максимума в 3 мм, когда расстояние между центрами шаров равнялось приблизительно 1.5 м, и уменьшалась опять при

дальнейшем их сближении. Можно было бы думать, что длина искры будет теперь увеличиваться еще дальше, если снова увеличивать, как раньше, емкость вторичной цепи. Но этого не происходит — подвешивание тех же самых проволок, которые раньше увеличивали длину искры, уменьшает ее теперь приблизительно до 1 мм. Это соответствует нашему толкованию явления: что раньше приводило к равенству периодов колебаний, нарушает теперь это равенство, достигнутое другим путем. Убедительнее всего был опыт, когда его производили следующим образом. Искровой микрометр был установлен на постоянную длину искры в 2 мм. Если теперь вторичная цепь имела первоначальное устройство и первичная цепь была длиной 1.5 м, то искры проскакивали регулярно. Искры потухали совершенно, когда ко вторичной цепи была присоединена вышеупомянутым образом небольшая емкость; искры появлялись опять, когда после этого первичная цепь была доведена до длины 2.6 м; они потухали во второй раз, когда емкость, присоединенная ко вторичной цепи, была удвоена, и их можно было заставить еще раз появиться и исчезнуть путем непрерывного увеличения емкости удлиненной первичной цепи. Этот опыт показывает довольно наглядно, что причину, обуславливающую сильное действие, нужно искать не в соотношении для каждой из цепей, а в их гармонии.

Длина индуцированной искры при большом сближении обоих проводов становилась значительно больше приведенных до сих пор значений. При расстоянии в 7 см между обеими цепями и при установке на точный резонанс удалось получить индуцированные искры длиной 7 мм; при этом электродвижущие силы, появляющиеся в индуцируемом проводнике, были почти такой же величины, как и в индуцирующем.

В предыдущих опытах резонанс был достигнут посредством изменения самоиндукции и емкости первичной цепи, а также и емкости вторичной цепи. Дальнейшие опыты показывают, что можно воспользоваться также изменением самоиндукции вторичной цепи. Был изготовлен ряд прямоугольников $abcd$ (фиг. 4), в которых стороны ab и cd были взяты одной и той же длины, но для сторон ac и bd брались проволоки все большей длины, начиная от 10 до 250 см. Ясно выраженный максимум длины

искры получался при длине прямоугольника в 1.8 м. Для того чтобы можно было иметь почву для суждения о количественных условиях, я измерял наибольшие появлявшиеся искры при различных длинах индуцируемой цепи. На фиг. 5 а представлены результаты¹.



Фиг. 5

больше. Фиг. 5b изображает полученные результаты. Максимум здесь получается при несколько более длинной проволоке. Это, по-видимому, можно объяснить тем, что здесь при удлинении увеличивается только самоиндукция, а в предыдущем случае — как самоиндукция, так и емкость.

Несколько опытов было произведено для определения того, как изменяется явление при изменении сопротивления вторичного провода. Для этой цели сторона *cd* прямоугольника была заменяема различными тонкими проволоками из меди и нейзильбера, благодаря чему сопротивление вторичной цепи увеличивалось в сто раз. На длину искры это изменение имело весьма небольшое влияние, на явление же резонанса, т. е. на период колебаний, совершенно никакого.

Дальнейшие опыты должны были выяснить влияние железа. При этом проволока *cd* иногда помещалась в железную трубку,

Абсциссы определяют полную длину индуцируемого провода, в качестве ординат нанесены максимальные длины искр. Точки изображают отдельные наблюдения. Эти измерения, как и все измерения длин искр, весьма ненадежны, но их ненадежность не в состоянии затемнить главный результат. В другом ряде опытов была сохранена не только длина сторон *ab* и *cd*, но также и их расстояния в 30 см и положение; стороны же *ac* и *bd* составлялись из свернутых спиралью проволок, длина которых бралась все больше и

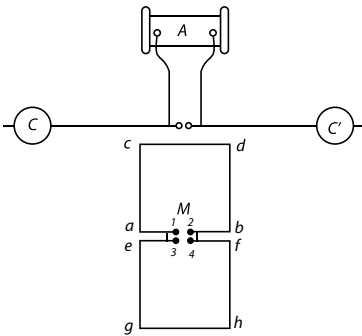
¹ См. примечание 4 в конце статьи

иногда заменялась железной проволокой. Ни одно из этих изменений не произвело заметного влияния в каком-нибудь направлении. И в данном случае вероятным будет предположение, что магнетизм железа не в состоянии поспевать за крайне быстрыми колебаниями и остается бездейственным по отношению к ним. К сожалению, нет никаких опытных данных о том, какое влияние оказывает присутствие железа на колебательный разряд лейденских банок.

Узлы колебаний

Колебания, которые были вызваны в индуцируемой цепи и которые были измерены нами при помощи искр в микрометре, не представляют собой единственно возможных колебаний в данном проводе, они лишь наиболее простые из возможных. В то время как на концах потенциал все время колеблется то в одном, то в другом направлении между двумя пределами, в середине проводника он сохраняет постоянно одно и то же среднее значение. Поэтому эта середина образует узловую точку электрического колебания, и колебание имеет только одну эту узловую точку. Существование ее можно доказать также путем опыта и притом двумя способами. Это может быть достигнуто, во-первых, тем, что к проводу приближают изолированный маленький шарик. Среднее значение потенциала этого шарика не может заметно отличаться от такого же в ближайшем отрезке проволоки; поэтому появление искр между шариками и проволокой может быть объяснено только тем, что потенциал соседней точки провода совершает достаточно большие колебания около среднего значения. Поэтому интенсивные искры должны появиться в концах провода, а вблизи узловой точки они должны отсутствовать. В действительности так и бывает, но только, конечно, полного отсутствия искры при прикосновении к узловой точке не наблюдается, а имеет место уменьшение ее до минимального значения. Второй способ доказательства существования узловой точки нагляднее. Индуцируемую цепь регулируют на резонанс с индуцирующей и устанавливают искровой микрометр на такую длину искры, при которой вне условий резонанса искра

не может пройти. Если прикоснуться кондуктором с некоторой емкостью к какой-нибудь точке провода, то нужно ожидать, что этим, вообще говоря, будет нарушен резонанс, и искры потухнут; только прикосновение в узловой точке не отзовется на периоде колебания. Это подтверждается на опыте. Можно прикоснуться к середине проволоки cd изолированным шариком или рукой, или можно даже соединить это место при помощи металлического провода с газопроводом, — изменение искры не произойдет; если же проделать то же самое на боковых ветвях или полюсах, то искры потухнут.



Фиг. 6

После того как явилась возможность доказать путем опыта существование узловой точки, мне показалось интересным попытаться получить индуцированное колебание с двумя узловыми точками. При этом я поступил следующим образом. Прямой индуцирующий ток CC' и индуцированный прямоугольник $abcd$ были устроены, как при предыдущих опытах, и установлены

на резонанс. Далее, прямоугольнику $abcd$ был противопоставлен совершенно такой же прямоугольник $efgh$, как это указано на фиг. 6; соседние полюсы обоих прямоугольников были соединены друг с другом, т. е. 1 с 3 и 2 с 4. Вся система образует металлически замкнутую цепь тока, и наиболее низкое или основное колебание, какое в ней возможно, имеет две узловые точки. Так как период этого колебания должен совпадать с периодом каждой из обеих половин и таким образом почти совпадать и с периодом первичного проводника, то я предполагал, что должны были бы появиться колебания, которые имеют в местах соединений 1 — 3 и 2 — 4 две пучности, в серединах же cd и gh — две узловые точки. Эти колебания измерялись по-прежнему длиной искры между полюсами 1 и 2, которые представляли собой шарики микрометра. Результаты опыта были следующие. Прежде всего, вопреки ожиданию, ока-

залось, что от присоединения прямоугольника $efgh$ значительно уменьшилось расстояние, пробиваемое искрой между 1 и 2. С величины приблизительно в 3 мм оно уменьшилось до 1 мм. Но тем не менее оказалось, что между первичной цепью и вторичной все еще имел место резонанс. Ибо всякое изменение в $efgh$ еще больше уменьшало длину искры, все равно, состояло ли оно в удлинении или укорачивании прямоугольника. Далее обнаружилось, что обе узловые точки, как предполагалось, существовали на самом деле. При приближении шарика к cd и gh получались гораздо более слабые искры, чем при поднесении его к ae и bf . Можно было также доказать, что эти узловые точки относились именно к тому колебанию, которое, будучи усилено резонансом, давало искры между 1 и 2, но это уменьшение неминуемо происходило при прикосновении ко всякому другому месту.

Опыт можно видоизменить, уничтожив одно из соединений 1-3 или 2-4, например, последнее. Так как в этих местах для возбужденного колебания сила тока всегда равна нулю, такое изменение не может существенно повлиять на колебание. И на самом деле, прервав соединение, можно показать таким же образом, как и раньше, что резонанс имеет место и что колебание, соответствующее этому резонансу, имеет два узла в тех же самых местах, что и раньше. Между тем, обстоятельства теперь настолько другие, что колебание с двумя узловыми точками не является уже наиболее низким возможным колебанием; колебание с наибольшим периодом будет теперь то, которое обладает только одной узловой точкой между a и e и для которого наибольшие напряжения на полюсах 2 и 4. Если шарики, находящиеся на этих полюсах, приблизить один к другому, то найдем, что и между ними имеет место слабое искрообразование, и можно будет предположить, что эти искры нужно приписать возбуждению основного колебания, хотя и слабому. Это предположение может быть доведено почти до уверенности, если продолжить опыт следующим образом. Мы прерываем искру между 1 и 2 и обращаем наше внимание на длину искры между 2 и 4, которая дает меру интенсивности основного колебания. Увеличим теперь период колебания первичного проводника, доведя его до полной длины и затем прибавляя емкость. Мы найдем, что при этом наблюдаемые искры увеличива-

ются до максимальной длины в несколько миллиметров и затем уменьшаются опять. Наибольшее значение они имеют, очевидно, тогда, когда период колебания первичного тока совпадает с периодом основного колебания. В то время, когда искры между 2 и 4 имеют наибольшую длину, можно легко показать, что этим искрам теперь будет соответствовать лишь одна узловая точка, ибо теперь без всякого влияния на искру к проводу можно прикоснуться только между a и e , в то время как прикосновение к прежним узловым точкам прервет поток искр. Следовательно, описываемым путем достигается возможность вызвать в одном и том же проводнике один раз преимущественно основное колебание, в другой раз — преимущественно первый обертон.

Я не старался пока решать вопрос о том, возможно ли также доказать существование колебаний с большим числом узлов, а также и ряд дальнейших вопросов. Так как найденные до сих пор результаты можно было получить, лишь обращая внимание на малейшие изменения, то я не предполагал, что можно получить точный ответ на эти более сложные вопросы. Представляющиеся трудности заключаются как в методе наблюдения, так и в природе наблюдаемых электрических движений. Хотя последние, несомненно, являлись колебаниями, они, с другой стороны, не проявляли характера совершенно правильных колебаний. Их интенсивность значительно изменяется от разряда к разряду; сравнительно нерезкое проявление резонанса приводит к заключению о большом затухании; некоторые побочные явления показывают, что к правильным колебаниям примешиваются нерегулярные движения, как это и следовало ожидать в сложной системе проводов. Если мы захотим сравнить наши колебания в отношении их математических условий с каким-либо частным случаем звуковых колебаний, то мы не должны выбирать гармонические колебания камертонов или струн, долго сохраняющих неизменную интенсивность, а должны взять быстро затухающие колебания, смешанные с нерегулярными движениями, которые получают, например, при ударе молотком о деревянный брус¹. Также и в акустике мы должны довольствоваться лишь указаниями на резонанс, на образование узлов и т. д., когда дело идет о колебаниях такого рода.

¹ См. примечание 5 в конце статьи.

Для того чтобы дать возможность повторять эти опыты с одинаковым успехом, я должен прибавить еще одно замечание, значение которого должно сначала показаться неясным. При всех описанных опытах приборы располагались таким образом, что искра индукционной катушки была видна с места искры в микрометре. Если изменить это условие, то в качественном отношении получаются одинаковые явления, но длины искр будут укорочены. Этому явлению я посвятил особое исследование, которое я намерен опубликовать отдельно от настоящего¹.

К теории вопроса

Было бы в высшей степени желательно получить из опыта понятие о количественных условиях колебаний. Но так как для этого пока еще не имеется пути, обратимся к теории, чтобы получить по крайней мере почву для суждения об этих условиях. Теория электрических колебаний, получившая развитие в трудах В. Томсона, Гельмгольца и Кирхгофа, оправдывается как для колебаний разомкнутых индукционных приборов, так и для колебательного разряда лейденской банки²; поэтому мы уверены, что и при применении этой теории к настоящим явлениям получатся правильные результаты, по крайней мере в отношении порядка величин.

Самым важным является прежде всего период колебания. Как пример, поддающийся расчету, возьмем определение периода (простого или половинного) колебания T , который имел место для первичного проводника, взятого нами для опытов с резонансом. Через P обозначим коэффициент самоиндукции этого проводника, измеренный в магнитной системе единиц в сантиметрах, через C — емкость одного конца провода в электростатической системе единиц, т. е. измеренную также в сантиметрах; наконец, через A — скорость света в см/сек. Отсюда, если предположить, что сопротивление мало, найдем $T = \pi \sqrt{PC/A}$. При наших опытах емкость концов провода состояла, главным образом, из емкости шаров, помещенных на этих концах; мы не сделаем особенной ошибки, если для C возьмем ради-

¹ Ueber einen Einfluss des ultravioletten Lichtes auf die electrische Entladung.
Wied. Ann., **31**, S. 983, 1887.

² Lorenz, Wied. Ann., Bd. 7, S. 161, 1879.

ус этих шаров или положим $C = 15 \text{ см}^1$. Что касается самоиндукции P , то она равнялась коэффициенту самоиндукции прямой проволоки, диаметр которой для случая резонанса был равен $d = 0.5 \text{ см}$ и длина которой $L = 150 \text{ см}$. Вычисляя по формуле Неймана,

$$P = \iint \frac{\cos \varepsilon}{r} ds ds',$$

получим для данной проволоки $P = 2L\{\ln(4L/d) - 0.75\}$ и поэтому для нашего опыта $P = 1902 \text{ см}$.

Конечно, мы не можем быть вполне уверены, применима ли формула Неймана для незамкнутых токов; самая общая формула, согласная с произведенными до сих пор опытами, предложенная Гельмгольцем², заключает в себе еще неизвестную постоянную k . Вычисляя по общей формуле для прямолинейной цилиндрической проволоки, имеющей длину L , и диаметр d , получим: $P = 2L\{\ln(4L/d) - 0.75 + \frac{1}{2}(1 - k)\}$ Если подставим сюда $k = 1$, то придем опять к значениям Неймана, если примем $k = 0$ или $k = -1$, то получим значения, соответствующие теории Максвелла и Вебера. Если допустим, что по крайней мере одно из этих значений правильно, и поэтому исключим предположение, что k имеет весьма большую отрицательную или положительную величину, то истинное значение k для нас становится мало интересным, ибо коэффициенты самоиндукции, вычисленные для различных значений k различаются между собой меньше, чем на одну шестую своей величины, и если, следовательно, $P = 1902 \text{ см}$ не будет относиться, например, к проволоке длиной 150 см , то все-таки он относится к некоторой длине нашего первичного проводника, не намного отличающейся от этого значения. Из значений для P и C длина $\pi\sqrt{PC}$ получается равной 531 см . Такое расстояние проходит свет за время одного простого колебания; это расстояние есть в то же время длина электродинамической волны³, которая, по взглядам Максвелла, является внешним результатом колебаний. Сам период колебания T получается из этой длины равным 1.77 стомиллионных долей секунды, и этим подтверждается предположение, сделанное нами вначале, относительно порядка его величины.

¹ См. примечание 6 в конце статьи.

² Helmholtz. Abhandl., Bd. 1, S. 567.

³ {По нашим обозначениям — полуволны}.

Обратим теперь наше внимание на то небольшое, что может дать теория об условиях затухания колебаний. Для того чтобы вообще в незамкнутом проводе колебания были возможны, сопротивление его должно быть меньше $2A\sqrt{P/C}$. Для нашего первичного провода имеем $\sqrt{P/C} = 11.25$, а так как скорость A равна 30 земным квадрантам в секунду, следовательно, равна 20Ω , то для нашего опыта допустимый предел для w равен 676Ω . Вполне вероятно, что действительное сопротивление при сильном разряде лежит ниже этого предела и, следовательно, теория вовсе не противоречит предположению о существовании колебаний. Если истинное значение сопротивления значительно меньше указанного предельного значения, то амплитуда каждого колебания относится к амплитуде колебания, следующего непосредственно за ним, как $1:e^{-wT/2P}$. Число колебаний, происходящих до уменьшения амплитуды в 2.71 раза, будет поэтому равно $2P/wT$ или $2A\sqrt{P/C}/\pi w$. Следовательно, это число относится к единице, как деленное на вычисленное предельное значение к истинному значению сопротивления, или как 215Ω к w . К сожалению, истинное значение сопротивления искрового промежутка нельзя определить даже примерно; быть может, мы будем правы предполагая, что это сопротивление не меньше нескольких Ом, так как сопротивление даже мощных вольтовых дуг не меньше таких значений. Отсюда следовало бы, что число рассматриваемых волн должно измеряться десятками, а не сотнями или тысячами. Это вполне соответствует и характеру явлений, как было указано в конце предыдущей главы. Это соответствует также и характеру близкого явления — колебательного разряда лейденской банки, при котором мы также наблюдаем лишь довольно ограниченное число колебаний заметной интенсивности.

Иначе, чем в первичном проводе, который мы до сих пор рассматривали, обстоит дело в чисто металлических вторичных проводах. Здесь, с точки зрения теории, возбужденное движение прекратилось бы лишь после нескольких тысяч колебаний. Нет основания сомневаться в правильности этого результата; более полная теория, конечно, должна была бы принять во внимание еще и обратное действие на первичный провод, и нужно полагать, что при этом и для вторичной цепи также получились бы большие значения для затухания.

В заключение мы поставим еще вопрос, являются ли наблюдаемые нами индукционные действия колебаний действиями того порядка, который предполагает теория, или здесь обнаруживается прямое противоречие между явлениями и нашим объяснением их? Мы можем ответить на этот вопрос при помощи следующего рассуждения. Прежде всего заметим, что максимальное значение электродвижущей силы, которая индуцируется при колебании в том же самом проводе, должно быть почти равно максимальной разности потенциалов на концах. В самом деле, если бы колебания были без затухания, то между обеими величинами имело бы место даже совершенное равенство, так как тогда в каждый момент уравнивались бы разность потенциалов на концах и электродвижущая сила индукции. При наших опытах разность потенциалов на концах имеет величину, которой соответствует длина искры приблизительно 7—8 мм, и эта длина искры характеризует, следовательно, величину наибольшего индукционного действия колебания в его собственном контуре. Далее, заметим, что в каждый момент электродвижущая сила, индуцированная во вторичной цепи, относится к электродвижущей силе, индуцированной в первичной цепи, как коэффициент взаимной индукции p первичной цепи на вторичную к коэффициенту самоиндукции P первичной цепи. Для наших явлений резонанса приближенное вычисление p по известным формулам не представляет никаких затруднений, и в различных опытах для p получилось значение между одной девятой и одной двенадцатой P . Отсюда мы можем заключить, что максимальная электродвижущая сила, вызывающая наше колебание во вторичной цепи, получится такой значительной, что вызовет искры длиной от $\frac{1}{2}$ до $\frac{2}{3}$ мм. Таким образом, с одной стороны, теория позволяет рассчитывать на видимые искры во вторичной цепи, с другой же стороны, мы видим также, что для искр длиной в несколько миллиметров мы можем найти объяснение только тогда, когда предположим, что несколько индукционных действий усиливаются, следуя одно за другим. Следовательно, и теория принуждает нас приписывать наблюдаемые явления действию резонанса.

Дальнейшее применение теории к данным явлениям может принести пользу только после того, как удастся каким-нибудь образом измерить непосредственно период колебаний. Такое измерение дало бы больше, чем простое подтверждение теории, оно послужило бы к ее расширению. Цель предлагаемого труда ограничивается желанием показать, что и в коротких металлических проводниках могут быть возбуждены колебания, свойственные этим проводникам, и каким образом они могут быть осуществлены.

Примечания, сделанные Г. Герцем в 1891 г.

1. Гельмгольц в 1847 г. первый высказал в своем сочинении «О сохранении силы» утверждение, что разряд лейденской банки носит колебательный характер¹. Он пришел к этому заключению, исходя из того факта, что разряд намагничивает железо попеременно противоположными знаками, а также из опыта над разложением воды при помощи электрического импульса, при котором на обоих электродах выделяются оба газа. Вильям Томсон теоретически обосновал подобное же утверждение, к которому он пришел самостоятельно, и дал в 1853 г. [Phil. Mag. (4) 5, 393] способ математического расчета, сохраняющий свое значение еще и в настоящее время. Из более старой основной литературы могут быть названы следующие работы:

О разряде банок:

B. W. Feddersen, Pogg. Ann., **103**, 69, 1858², **108**, 497, 1859³; 112, 452, 1861;

115, 336, 1862; **116**, 132, 1862⁴;

P a a l z o w, Pogg. Ann., **112**, 567, 1861; **118**, 178, 357, 1863;

O e t t i n g e n v, Pogg. Ann., 115, 513, 1862; J u b e l b. 269, 1874;

K i r c h h o f f, Pogg. Ann., **121**, 551, 1864; Ges. Abh., 168;

L. L o g e n z, Wied. Ann., 7, 161, 1879.

Относительно колебаний в разомкнутом индукционном приборе:

H e l m h o l t z, H. v., Pogg. Ann., **83**, 505, 1851; Ges. Abh., **1**, 429.

В этой работе заключается в скрытом виде уже и теория, хотя и не примененная явно к какому-либо особому случаю колебаний.

¹ [I, С. 246].

² [I, СС. 264, 272, 275].

Helmholtz, H. v., Ges. Abh., **1**, 531, 1869.

Bernstein, Pogg. Ann., **142**, 54, 1871.

Schiller N, Pogg. Ann., **152**, 535, 1872.

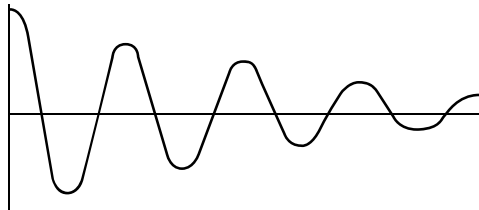
2. Сначала я пользовался для изоляции сургучом и т. п. Но затем я все более убеждался, что для всех описываемых здесь опытов сухое дерево представляет собой вполне достаточную изоляцию. В позднейших работах не употреблялся никакой другой изолирующий материал.

3. Я думаю, что хорошее действие индукционного прибора происходит отчасти потому, что его напряжение непосредственно перед разрядом возрастает очень быстро. Из различных побочных явлений я заключаю, что при таком быстром нарастании напряжение поднимается выше того, при котором искра уже проскакивает, если напряжение растет медленно, и что поэтому разряд наступает в более короткое время и энергичнее, чем разряд статического заряда.

4. Ср. с этими кривыми близкие к ним кривые резонанса, полученные Бьеркнесом более точным методом.

Bjerknes V., Wied. Ann., 44, 74, 1891¹.

5. Это замечание в моей первой работе ясно показывает, что я никогда не представлял себе колебания моего первичного проводника вполне правильными и долго продолжающимися. Величина затухания в последнее время очень тщательно определена Бьеркнесом (Wied. Ann., 44, 74, 513, 1891). Фиг. 7 дает представление о колебаниях, происходящих, согласно данным его опытов в проводнике, подобном нашему первичному проводнику.



Фиг. 7

6. В этом месте в вычислениях вкралась роковая ошибка, искажающее влияние которой распространяется и на позднейшие работы.

Емкость C в формуле $T = \pi \sqrt{PC/A}$ обозначает количество электричества

¹ [I, С. 292].

чества, находящееся на одном конце колеблющегося проводника, если разность потенциалов между обоими концами равна единице. Если эти концы состоят из двух, далеко друг от друга удаленных шаров и разность потенциалов между ними равна единице, то потенциал каждого из них относительно окружающего пространства равен $\pm 1/2$, а следовательно, на каждом находится количество электричества, величину которого мы получим в абсолютной мере, если разделим радиус, измеренный в сантиметрах, т. е. емкость шара, на 2. Поэтому мы должны положить не $C = 15$ см, но $C = 15/2$ см. Период T получается тогда меньше в отношении $1:\sqrt{2}$; таким образом, теперь $T = 1.26$ стомиллионных секунды.

Как уже замечено во Введении, впервые на эту ошибку указал А. Пуанкаре (С. R., **111**, 322, 1891).

7. Результат этот, пожалуй, верен, но вывод его неправилен. Не говоря уже о том, что в вычислении нужно было бы исправить вышеупомянутую ошибку, здесь не принято во внимание затухание от излучения, о котором я еще не думал при составлении этой статьи.

Г. Р. Герц О лучах электрической силы¹

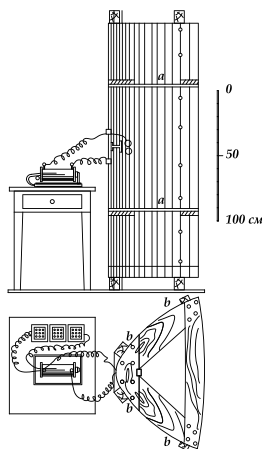
Непосредственно после того, как мне удалось доказать, что действие электрического колебания распространяется в виде волны, я сделал попытку усилить это действие и сделать его заметным на больших расстояниях, помещая возбуждаемый проводник в фокальной линии большого параболического вогнутого зеркала. Эти опыты не дали результата, причем мне стало ясно, что их неудача обусловлена неподходящими соотношениями между длиной использованной волны, составлявшей 4–5 м, и размерами, которые в лучшем случае я мог придать зеркалу. Недавно я заметил, что описанные мною ранее опыты легко могут быть произведены при колебаниях, происходящих примерно в 10 раз быстрее, т. е. при волнах, в 10 раз более коротких, чем использованные ранее. Поэтому я снова обратился к применению вогнутого зеркала и добился значительно лучших успехов, чем рассчитывал. Мне удалось получить отчетливые лучи электрической силы и произвести при их помощи все элементарные опыты, которые производятся со световыми и тепловыми лучами. Эти опыты и описываются в дальнейшем.

Приборы

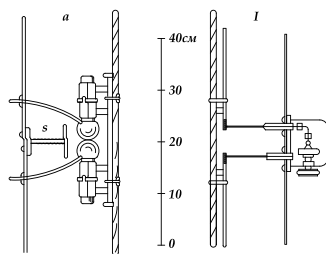
Метод получения коротких волн был совершенно подобен методу, при помощи которого возбуждались и более длинные волны. Примененный в опытах первичный проводник был устроен следующим образом: представим себе (фиг. 1 и 2 и их объяснение в конце

¹ [I, С. 183–192. Там же приведен источник: {Wied. Ann., 36, p. 769, 1889}].

статьи) цилиндрическое медное тело, диаметром в 3 см и длиной 26 см. Посередине оно разрезано и снабжено искровым промежутком, полюсы которого образованы двумя сферическими поверхностями с радиусом в 2 см. Длина проводника приблизительно равнялась половине длины волны, соответствующей колебанию, возникающему в прямом проводе. Уже отсюда можно было сделать примерное заключение о величине периода колебаний. Необходимо, чтобы полюсы искрового промежутка часто отполировывались и предохранялись во время опыта от побочных разрядов, при которых колебания возникать не могут. Вид и звук искр легко позволяют судить о том, находится ли искровой промежуток в удовлетворительном состоянии.



Фиг. 1



Фиг. 2

Разряд¹ подводился к обеим половинам проводника при помощи двух проводов, покрытых гуттаперчей; эти провода припаивались по обе стороны вблизи искрового промежутка. В качестве индуктора я с успехом применял вместо большого аппарата Румкорфа маленький аппарат Кайзера [Keiser] и Шмидта [Schmidt], который позволял получить между остриями искру длиной 4.5 см. Аппарат питался от трех аккумуляторов, причем между шариками первичного проводника удавалось получить искры длиной 1—2 см. Во время опытов длина искрового промежутка составляла 3 мм.

¹ {Словом «разряд» Герц обозначает подводимое высокое напряжение}.

Для обнаружения электрической силы в пространстве использовались и в этих опытах маленькие искры, создаваемые ею во вторичном проводнике. Иногда в качестве вторичного проводника применялся, как и ранее, контур, могущий вращаться в своей плоскости и имевший период колебаний, примерно равный периоду первичного проводника. Радиус контура составлял теперь только 7.5 см; контур был сделан из медной проволоки толщиной в 1 мм. Один конец проволоки оканчивался полированным латунным шариком диаметром в несколько миллиметров, другой конец был заострен и мог быть установлен на очень маленьком расстоянии от латунного шарика при помощи микрометрического винта, изолированного от проволоки. Конечно, здесь получались искорки длиной лишь в несколько сотых миллиметра; при некотором навыке удастся оценивать интенсивность процесса не столько по длине искр, сколько по их яркости.

Круговой проводник является непригодным для помещения в фокальной линии зеркала. Поэтому большая часть работы производилась с другим вторичным проводником, устроенным следующим образом. Две прямых проволоки длиной по 50 см и диаметром 5 мм были установлены на одной прямой, причем их концы, обращенные друг к другу, находились на расстоянии 5 см. От этих концов вели две проволоки (15 см длиной, 1 мм диаметром), параллельные друг другу и перпендикулярные к первым проволокам; они приключались к искровому промежутку, устроенному так же, как и в случае кругового проводника. В новом проводнике пришлось отказаться от действия резонанса, который здесь вообще проявлялся очень слабо. Было бы проще поместить искровой промежуток непосредственно между прямыми проволоками, но в этом случае было бы невозможно наблюдать его в фокальной линии зеркала, не закрывая своим телом отверстия зеркала. По этой причине и была выбрана конструкция, описанная выше.

Получение луча

Если поместить первичный проводник в большом свободном пространстве, то при помощи кругового проводника можно наблюдать вблизи него все те явления, которые наблюдались мною при более медленных колебаниях и были описаны ранее. Наибольшее расстояние, на

котором еще наблюдались искры во вторичном проводнике, составляло 1.5 м, а при весьма хорошем состоянии первичного искрового промежутка — даже 2 м. Действие можно было усилить, располагая с противоположной стороны первичного излучателя на подходящем расстоянии плоскую проводящую стенку, параллельную излучателю. Именно, если расстояние было очень мало, либо несколько превышало 30 см, то стенка оказывала лишь вредное влияние; она создавала значительное усиление при расстоянии 8—15 см, менее значительное усиление при расстоянии 45 см и не оказывала никакого влияния при еще больших расстояниях. Это явление мы уже объясняли ранее и заключили из него, что первичным колебаниям соответствует в воздухе волна, половина длины которой равна 30 см. Можно ожидать еще большего усиления при замене плоской стенки вогнутым зеркалом, имеющим форму параболического цилиндра, фокальная линия которого совпадала бы с осью первичного проводника. Если вогнутое зеркало должно правильно концентрировать лучи, то выгодно делать его фокусное расстояние возможно меньшим. Если же действие прямой волны не должно уничтожаться отраженной, то фокусное расстояние не должно быть много меньше, чем четверть длины волны. Поэтому я выбрал фокусное расстояние равным 12.5 см и изготовил вогнутое зеркало, взяв цинковый лист в 2 м длиной, 2 м шириной и $\frac{1}{2}$ мм толщиной и изогнул его требуемым образом на деревянной раме определенной кривизны. Таким образом, высота зеркала составляла 2 м, ширина его отверстия 1.2 м, его глубина 0.7 м. Первичный проводник устанавливался в середине фокальной линии. Проволоки, подводившие разряд, пропускались через стенку зеркала. Индуктор и элементы находились, таким образом, сзади зеркала и не оказывали вредного влияния. Если теперь исследовать колебания вокруг зеркала при помощи вторичного проводника, то позади зеркала и сбоку от него не наблюдается совершенно никаких действий, в направлении же оптической оси зеркала искры могут быть замечены до расстояний в 5—6 м. Искры могут наблюдаться и на больших расстояниях, до 9—10 м, если на пути выходящей из зеркала волны установить перпендикулярно к направлению ее распространения плоскую проводящую стенку. В этом случае отраженные стенкой волны в некоторых точках усиливают проходящие волны. В других же точках обе волны ослабляют друг друга. При помощи прямолинейного проводника можно наблюдать перед стенкой отчетливые максимумы и минимумы, а при помощи кругового

проводника — интерференционные явления, характерные для стоячих волн, которые были описаны ранее. Мне удавалось обнаружить четыре узловых точки, располагавшиеся у самой стенки и на расстояниях 33, 65 и 98 см от нее. Таким образом, с большим приближением можно считать, что половина длины волны равнялась 33 см, а период колебаний — $1.1 \cdot 10^{-9}$ сек, если считать, что скорость распространения равна скорости света. В проволоках длина полуволны равнялась 29 см. Таким образом, и при этих коротких волнах скорость распространения их в проволоках получается несколько меньше, чем в воздухе, но отношение обеих скоростей очень близко к теоретическому значению, равному единице, и отличается от нее меньше, чем при наших опытах с длинными волнами. Это замечательное явление нуждается в дальнейшем изучении. Так как явления наблюдаются лишь вблизи оптической оси зеркала, то мы можем сказать, что из зеркала выходит электрический луч.

Далее, я изготовил второе вогнутое зеркало, вполне подобное первому, и расположил в нем прямолинейный вторичный проводник таким образом, чтобы обе проволоки, имевшие 50 см длины, совпадали с фокальной линией, а обе проволоки, ведущие к искровому промежутку, кратчайшим путем выходили через стенку зеркала, от которой они были изолированы. Таким образом, искровой промежуток находился как раз сзади зеркала, и наблюдатель мог устанавливать его и рассматривать, не искажая распространения волн. Я предполагал, что если устройство будет улавливать луч, то мне удастся проследить его на еще больших расстояниях; я убедился, что не ошибся. В помещении, которым я располагал, мне удавалось наблюдать искры от одного конца до другого. Наибольшее расстояние, на котором я прослеживал луч (при этом приходилось открывать дверь), составляло 16 м. Согласно результатам опытов с отражением, описываемых ниже, можно быть уверенным, что в открытом пространстве искры могут быть получены при расстояниях до 20 м. Но для дальнейших опытов такие большие расстояния не требуются, а практически удобно, если вторичные искры не слишком слабы. Поэтому для большинства опытов наиболее подходящим расстоянием является 6—10 м. Теперь мы перейдем к простейшим явлениям, которые легко могут быть получены при помощи луча. Во всех случаях, где не сделана специальная оговорка, фокальные линии обоих зеркал нужно считать расположенными вертикально.

Прямолинейное распространение

Если на прямой, соединяющей зеркала, расположить перпендикулярно к направлению луча экран из цинкового листа в 2 м высоты и 1 м ширины, то вторичные искры совершенно исчезают. Столь же полную тень дает ширма из станиоля или позолоченной бумаги. Если ассистент пересекает луч, то вторичный искровой промежуток темнеет, как только ассистент входит в пространство луча, и снова загорается, как только он оттуда выходит. Изоляторы не задерживают луча, он проникает через деревянную стену или деревянную дверь, так что не без удивления можно наблюдать возникновение искр внутри закрытой комнаты. Если установить две проводящие ширмы в 2 м высотой и 1 м шириной симметрично справа и слева от луча (перпендикулярно к его распространению), то они не оказывают влияния на вторичные искры, если ширина щели, образуемой ими, не меньше, чем отверстие зеркал, т. е. 1.2 м. Если щель сделать уже, то искры ослабевают и гаснут, когда ширина щели делается меньше 0.5 м. Если ширина щели сделана равной 1.2 м, но щель расположена сбоку от прямой, соединяющей зеркала, то искры гаснут. Если вращать оптическую ось излучающего зеркала вправо или влево из первоначального положения примерно на 10° , то вторичные искры ослабевают, при повороте приблизительно на 15° они гаснут. Если луч имеет резкие геометрические границы, а тень их не имеет, то должны наблюдаться явления, соответствующие дифракции. Однако мне пока не удалось наблюдать максимумов и минимумов у края тени.

Поляризация

Из самого способа получения луча можно с полной достоверностью заключить, что луч образован поперечными колебаниями и является линейно поляризованным в оптическом смысле. Но мы можем подтвердить это и опытами. Если вращать приемное зеркало вокруг луча, пока его фокальная линия, а с ней и вторичный проводник не расположатся горизонтально, то можно заметить, что вторичные искры все более и более ослабевают, а при перекрещенном положении обеих фокальных линий совер-

шенно исчезают, даже если поместить зеркала очень близко друг к другу. Оба зеркала играют роль поляризатора и анализатора поляризационного аппарата. Я сделал восьмиугольную рамку в 2 м высоты и 2 м ширины и натянул на ней медные проволоки в 1 мм толщины, все проволоки были параллельны друг другу и располагались через каждые 3 см. Если установить фокальные линии обоих зеркал параллельно и расположить между ними решетку, перпендикулярную к лучу, так чтобы направление проволок было перпендикулярно к направлению фокальных линий, то наличие решетки не оказывает влияния на вторичные искры. Если же решетка установлена так, что ее проволоки параллельны фокальным линиям, то она полностью задерживает луч. Таким образом, в отношении проходящей энергии решетка ведет себя подобно турмалиновой пластинке, действующей на прямолинейно поляризованный оптический луч. Если установить фокальную линию принимающего зеркала горизонтально, то, как указывалось, вторичные искры не возникают. При внесении решетки, проволоки которой вертикальны или горизонтальны, искры также отсутствуют. Но если решетка установлена таким образом, что ее проволоки образуют с горизонталью угол в $\pm 45^\circ$ (возможен любой из этих двух углов), то вторичные искры появляются. Очевидно, решетка разлагает приходящее колебание на две компоненты и пропускает лишь ту, которая перпендикулярна к направлению ее проволок. Эта компонента образует угол в 45° с фокальной линией второго зеркала и, будучи еще раз им разложена, оказывает влияние на вторичный проводник. Это явление вполне подобно возникновению освещения темного поля двух перекрещенных николей при помещении между ними надлежащим образом ориентированной турмалиновой пластинки. В отношении поляризации следует сделать еще одно замечание: при помощи средств, которыми мы располагаем в настоящее время, возможно исследовать только электрическую силу. Несомненно, что ее колебания (при вертикальном расположении первичного проводника) происходят в вертикальной плоскости, проходящей через луч, и отсутствуют в горизонтальной. Согласно данным, полученным при изучении медленно меняющихся токов, не может быть никаких сомнений в том, что электрические колебания

сопровождаются колебаниями магнитной силы, располагающимися в горизонтальной плоскости, проходящей через луч, и отсутствующими в вертикальной плоскости. Таким образом, поляризация луча состоит не в том, что колебания происходят лишь в вертикальной плоскости, но скорее в том, что в вертикальной плоскости возникают электрические, а в горизонтальной — магнитные колебания. Поэтому вопрос о том, в какой из плоскостей происходят колебания нашего луча, не может быть решен без указания, о каких колебаниях идет речь: электрических или магнитных. Этим и объясняется безрезультатность старых оптических дискуссий, на что впервые отчетливо указал Колачек¹.

Отражение

Мы уже доказали отражение волн от проводящих поверхностей, наблюдая интерференцию падающей и отраженной волн; кроме того, отражение было использовано при конструкции нашего вогнутого зеркала.

Теперь мы можем обе системы волн разделить друг от друга. Сначала я поставил в большом помещении оба вогнутых зеркала рядом таким образом, что их отверстия были обращены в одну и ту же сторону, а их оси пересекались в точке, удаленной от зеркал приблизительно на 3 м. При этом искровой промежуток в приемном зеркале оставался темным. Далее, я установил плоскую вертикальную стенку из цинкового листа в 2 м высоты и в 2 м ширины в точке пересечения осей зеркал, причем она стояла перпендикулярно к биссектрисе угла, образованного осями. При этом в приемном зеркале я наблюдал интенсивный искровой поток, вызываемый лучом, отраженным от стенки. Искры исчезают при повороте стенки вокруг вертикальной оси примерно на 15° в ту или другую сторону из первоначального положения; таким образом, отражение является правильным, а не диффузным. Если удалять стенку от зеркал, сохраняя точку пересечения их осей на поверхности стенки, то искры медленно ослабевают. Мне удавалось обнаружить искры при удалении стенки на 10 м от зеркал, так что волны проходили путь в

¹ F. K o l a č e k. Wied. Ann., 34, p. 676, 1888.

20 м. Этот способ с успехом может применяться для сравнения скорости распространения в воздухе с другими (более медленными) скоростями распространения, например в кабеле.

Для получения отражения лучей при угле падения, значительно отличающемся от нуля, я направил луч параллельно стене комнаты, в которой имелась двустворчатая дверь. В соседней комнате, в которую вела эта дверь, я установил приемное зеркало таким образом, что его оптическая ось проходила через середину двери и пересекалась с направлением первичного луча под углом в 90° . Если теперь поместить в точке пересечения вертикальную плоскую проводящую стенку, образующую как с лучом, так и осью приемного зеркала углы в 45° , то во вторичном проводнике возникают искры, не исчезающие даже при закрывании двери. Если отражающую стенку повернуть примерно на 10° из правильного положения, то искры гаснут. Следовательно, отражение является правильным, причем углы падения и отражения равны друг другу. Для доказательства того, что путь распространения возмущения от источника к плоскому зеркалу и оттуда ко вторичному проводнику совпадает с описанным, достаточно поместить в различных точках этого пути экранирующую ширму. При этом вторичные искры всегда исчезают; но при произвольном расположении ширмы в других частях комнаты она не оказывает никакого влияния. При помощи кругового вторичного проводника можно определить расположение волновой плоскости в луче; она оказывается перпендикулярной к лучу как перед отражением, так и после него; таким образом, при отражении волновая плоскость поворачивается на 90° .

До сих пор фокальные линии зеркал были вертикальны и, следовательно, плоскость колебаний (электрической силы) была перпендикулярна к плоскости падения. Для получения отражения, при котором колебания лежат в плоскости падения, я расположил фокальные линии обоих зеркал горизонтально. При этом я наблюдал те же явления, что и раньше, причем различия в интенсивности отраженного луча в обоих случаях обнаружить не удалось. Если же фокальная линия одного из зеркал вертикальна, а другого — горизонтальна, то вторичные искры не наблюдаются. Таким образом, при отражении не происходит изменения наклона плоскости колебаний относительно плоскости падения, по крайней мере, для двух

ее положений, рассмотренных выше. В общем случае это утверждение может оказаться неверным. Именно, остается невыясненным, сохраняет ли луч после отражения прямолинейную поляризацию. Интерференция, возникающая перед зеркалом, где пересекаются обе системы волн, дающая характерные эффекты в круговых проводниках, возможно, позволит решить хорошо известные оптикам вопросы относительно изменений фазы и амплитуды при отражении.

Укажем еще опыт над отражением от электрически анизотропных поверхностей. Оба зеркала были установлены, как в первом из опытов с отражением, но против них в качестве отражающей стенки ставилась упомянутая выше решетка из параллельных медных проволок. Оказалось, что вторичные искры погасают, если проволоки пересекают направление колебаний под прямым углом; если же проволоки параллельны направлению колебаний, то искры загораются. Таким образом, аналогия между нашей решеткой и турмалиновой пластинкой сохраняется лишь для проходящей части луча. Непроходящая часть поглощается турмалиновой пластинкой, но отражается нашей решеткой¹. Если в последнем опыте скрестить фокальные линии обоих зеркал, то при отражении от изотропной стенки во вторичном проводнике искры не возникают. Но я убедился, что можно получить искры при отражении от анизотропной проволочной решетки, если установить последнюю так, чтобы ее проволоки образовывали с обеими фокальными линиями угол в 45° . Объяснение этого опыта очевидно из предыдущих рассуждений.

Преломление

Для исследования вопроса о преломлении луча при переходе его из воздуха в другую изолирующую среду я изготовил большую призму из так называемой твердой смолы (асфальтообразная масса, Hartpech). Сечение призмы представляло равнобедренный треугольник, длина сторон которого составляла 1.2 м, а преломляющий угол был близок к 30° . Высота всей призмы, преломляющее ребро которой было вертикально, составляла 1.5 м. Так как призма веси-

¹ См. *Wied. Ann.*, **34**, p. 155, 1888; **34**, p. 551, 1888; а также статью «Об электродинамических волнах в воздухе и их отражении» [1, С. 156].

ла около 1.2 т, а потому ее трудно было перемещать, я изготовил ее из трех положенных друг на друга частей по 0.5 м высотой каждая. Масса наливалась в деревянные ящики; так как они не препятствовали опытам, масса из них не вынималась. Призма устанавливалась на подставке таких размеров, что середина преломляющего ребра оказывалась на одной высоте с первичным и вторичным искровыми промежутками. После того как я убедился, что преломление существует, и примерно оценил его величину, я произвел следующий опыт. Излучающее зеркало было установлено на расстоянии 2.6 м от призмы против одной из ее преломляющих поверхностей таким образом, что средняя линия луча по возможности совпадала с центром тяжести призмы, а преломляющая поверхность составляла с лучом угол в 65° (считая со стороны, противоположной преломляющему ребру).

У преломляющего ребра призмы и у противоположной ее поверхности были установлены две проводящие ширмы, исключавшие возможность распространения луча по какому-либо направлению, помимо призмы. Со стороны выходящего луча на полу был описан круг радиусом 2.5 м, центр которого совпадал с центром тяжести призмы. По этому кругу и перемещалось приемное зеркало, причем его отверстие всегда было обращено к центру круга. Если установить зеркало на продолжении направления падающего луча, то искры в нем не получаются; следовательно, в этом направлении призма дает тень. Но искры возникают при перемещении зеркала к основанию призмы, причем начало их возникновения наблюдается при смещении зеркала из вышеуказанного положения на 11° . В дальнейшем интенсивность искр возрастает до угла поворота, равного 22° , а затем снова начинает уменьшаться. Последние едва заметные искры наблюдаются при угле поворота приблизительно в 34° . Если установить зеркало в направлении, соответствующем наибольшему воздействию, и удалять его от призмы по радиусу круга, то искры могут быть прослежены на расстоянии 5—6 м. Ассистент, становящийся перед призмой или сзади нее, вызывает потухание искр; это доказывает, что луч приходит ко вторичному проводнику через призму, а не каким-либо другим путем. В дальнейшем опыт был повторен при неизменном расположении призмы, но при горизонтальном положении фокальных линий обоих зеркал. При этом никаких изменений не наблюдалось.

Преломляющему углу в 30° и отклонению в 22° , приблизительно соответствующему минимальному отклонению, отвечает показатель преломления, равный 1.69. Оптический показатель преломления для смолистых тел лежит между 1.5 и 1.6. Неточность наших измерений и недостаточная чистота использованного вещества не позволяют приписать этому расхождению сколько-нибудь существенного значения¹.

Исследованное нами явление мы назвали лучами электрической силы. Пожалуй, их можно было бы назвать световыми лучами с очень большой длиной волны. По крайней мере, мне представляется весьма вероятным, что описанные опыты доказывают идентичность света, тепловых лучей и электродинамического волнового движения. Я думаю, что теперь смело можно использовать все преимущества, которые допущение этой идентичности дает как для оптики, так и для учения об электричестве.

Пояснения к рисункам

Для облегчения повторения и расширения этих опытов я привожу на фиг. 1 и 2 схематические изображения использованных мной аппаратов, не претендуя на их долговечность, а оценивая их лишь с точки зрения удобства воспроизведения описанных выше опытов. На фиг. 1 в разрезе и плане изображено возбуждающее зеркало. Из фигуры очевидно, что основа зеркала состоит из двух горизонтальных рам параболической формы *a*, поддерживаемых четырьмя вертикальными стойками *b*, которые прикреплены к рамам винтами. Отражающий лист зажат между рамами и стойками и прикреплен к ним большим количеством винтов. Стойки выходят за пределы листа сверху и снизу, что облегчает переноску зеркала. На фиг. 2 *a* изображено устройство первичного проводника в увеличенном масштабе. Обе металлические части с трением входят в две гильзы из толстой бумаги, окруженные резиновой лентой. В свою очередь эти гильзы укреплены на дощечке при помощи четырех подставок из сургуча, а

¹ См. примечание 2 в конце статьи.

дощечка прикреплена к рейке, связанной с основными рамами зеркала (фиг. 1). Подводящие провода, заключенные в гуттаперчу, входят в две дырочки, просверленные в шариках первичного проводника. Это устройство обеспечивает необходимую подвижность отдельных частей прибора и может быть в течение нескольких минут разобрано и вновь собрано, что требуется в связи с необходимостью частой полировки шариков искрового промежутка. Там, где подводящие провода проходят через зеркало, в процессе разряда возникает голубоватое свечение. Для устранения его воздействия на искровой промежуток (под влиянием свечения возникновение колебаний затрудняется) применяется ширма *S*, сделанная из гладкой деревянной пластинки. Наконец, на фиг. 2 *b* изображен вторичный искровой промежуток. Обе части вторичного проводника укреплены на рейке при помощи сургучных подставок и резиновой ленты. От внутренних концов обеих частей идут отводящие провода, заключенные в стеклянные трубки, проходящие через зеркало и приближающиеся друг к другу. На конце верхнего провода находится маленький латунный шарик. К концу нижнего провода припаян кусочек часовой пружины, несущий второй полюс — медное острие. Острие сознательно сделано из более мягкого металла, чем шарик. Без этой предосторожности оно легко вдавливается в шарик, и маленькие искры, возникающие в этом углублении, ускользают от наблюдения. На рисунке видно, каким образом острие перемещается при помощи винта, нажимающего на пружину, но изолированного от нее стеклянной пластинкой. Своеобразный изгиб пружины сделан для того, чтобы достичь незначительных перемещений острия, которые не могли бы быть получены при употреблении одного лишь винта.

Несомненно, описанные аппараты могут быть значительно изменены, причем эти изменения не ухудшат результатов опыта. По дружескому совету я пробовал заменить искровой промежуток во вторичном проводнике чувствительной к току лягушечьей лапкой; однако оказалось, что этот способ, столь чувствительный в других опытах, не пригоден в данном случае¹.

¹ См. примечание 3 в конце статьи.

Примечания, сделанные Г. Герцем в 1891 г.

1. В. Кениг (König, Wied. Ann., Bd. 37, S. p. 651, 1889) указал, что между отражением электрических волн от нашей решетки и отражением монохроматического света от поверхности дихроитического кристалла существует более полная аналогия, чем аналогия, указанная в тексте. Кениг указал также на связь между действием нашей решетки и известными поляризующими свойствами оптических решеток.

2. Оливер Лодж и Говард показали, что можно наблюдать преломление и концентрацию электрических лучей при помощи больших линз (Lodge a. Howard, Phil. Mag., 27, p. 48, 1889) [1, С. 375].

3. В настоящее время удалось различными способами осуществить объективное наблюдение описываемых явлений. Риттеру (R. Ritter, Wied. Ann., Bd. 40, S. 53, 1890) удалось использовать лягушечью лапку. Драгумис (Dragoumis, «Nature», 39, 548, 1890) использовал гейслерову трубку. Больцман (Boltzmann, Wied. Ann., Bd. 40, S. 399, 1890) [1, С. 385] предложил весьма удобный метод, в котором используется электроскоп с листочком. Клеменчич (Klemenčič, Wied. Ann., Bd. 42, S. 516, 1891) использовал термоэлемент. Весьма наглядный и изящный метод предложен Рубенсом и Риттером (H. Rubens u. R. Ritter, Wied. Ann., Bd. 40, S. 55, 1890), которые воспользовались болометром для демонстрации опытов и ряда дальнейших весьма плодотворных исследований.

Н. А. Умов

Уравнения движения энергии в телах¹

1. Общее выражение закона сохранения энергии в элементе объема среды

§ 1. *Определения и задача исследования.* Элемент объема, произвольно взятый внутри какой-нибудь среды, частицы коей находятся в движении, включает в данный момент времени определенное количество энергии. Эта энергия складывается из двух частей: из живой силы движения частиц элемента объема и потенциальной энергии, т. е. работы, которая может быть отдана этими частицами при возвращении их из данного положения в некоторое начальное, соответствующее устойчивому равновесию. Под энергией элемента я буду разумеать сумму живых сил частиц элемента и его потенциальной энергии, определенной, как было сказано выше.

Законы перехода энергии с одного элемента среды на другой определялись до сих пор только для частных форм движений. Задача настоящего труда заключается в установлении на общих началах учения о движении энергии в средах.

Раскрытие общей связи между распределением и движением энергии в средах и перемещениями их частиц, независимо от частных форм движений, должно дать возможность из известных законов движения и распределения энергии в теле выводить заключения о роде движений его частиц. Задачи подобного рода имеют важность

¹ [1, С. 227–230. Там же приводится: {Отд. изд., Одесса, 1874 г.; прибавление — Москва, 1874 г.

^В статье Н. Умова рассматривается преимущественно движение энергии в твердых телах, в сжимаемой, несжимаемой и вязкой жидкостях. Мы помещаем отрывок из этой статьи потому, что здесь, задолго до Пойнтинга, развивается идея о потоке локализованной в пространстве энергии}].

ввиду стремления современной физики сводить все явления природы на явления движения.

Простейшие опытные данные, на которые могли бы опереться теоретические изыскания современной физики, идущие в указанном направлении, представляют распределения и движения энергии в различных явлениях природы. Орудия опытного исследования не настолько, однако, усовершенствованы, чтобы давать возможность определять законы каждой из составных частей энергии в отдельности. Поэтому важно отыскать метод, который давал бы возможность перейти от определенных путем опыта законов движения энергии к дифференциальным уравнениям движения частиц тела, которое по предположению дает место наблюдаемому явлению.

§ 2. *Уравнение сохранения энергии в элементе тела.* Представим себе однородную среду с определенными границами конечными или бесконечно большими. Пусть на частицы этой среды не действуют внешние силы, и прилив энергии к частицам обуславливается принятием или отдачею энергии средою через ее границы.

Если мы выделим мысленно элемент объема, изменение его энергии (т. е. суммы его живой силы и потенциальной энергии), по закону сохранения энергии, может совершиться только на счет прибыли или убыли последней в смежных элементах. Математическое выражение связи приращения количества энергии в элементе объема с ее потерями в смежных элементах и будет математическим выражением элементарного закона сохранения энергии в средах.

Математическое выражение указанной связи может быть нами почерпнуто из явления иного рода, опирающегося на закон, аналогичный закону сохранения энергии. Распределение вещества при движениях непрерывной сжимаемой среды подчиняется закону сохранения вещества. *Насколько* движение энергии и движение сжимаемого вещества обуславливаются законом их сохранения, настолько мы имеем право уподоблять движение энергии движению подвижного и сжимаемого вещества.

Количество энергии в элементе объема среды, отнесенное к единице объема, может быть названо плотностью энергии в данной точке среды.

Мы можем следить за изменениями, происходящими в количестве энергии и ее скоростях, в одной и той же точке пространства или же в одном и том же движущемся количестве (массе) энергии.

Означим буквой \mathcal{E} плотность энергии в произвольной точке среды, т. е. частное из количества энергии, заключенного внутри

бесконечно малого элемента объема на этот элемент. Назовем через l_x, l_y, l_z слагающие по прямоугольным осям координат x, y и z скорости, с которою энергия движется в рассматриваемой точке среды.

Вообразим себе элемент объема $dx dy dz$. При введенных нами обозначениях количества энергии, входящие и выходящие через различные стороны элемента, будут: через сторону

$$\left. \begin{aligned} dy dz : \partial l_x dy dz \\ dx dz : \partial l_y dx dz \\ dy dx : \partial l_z dy dx \end{aligned} \right\} \text{ и ей параллельную } \left\{ \begin{aligned} - \left(\partial l_x + \frac{d \partial l_x}{dx} dx \right) dy dz \\ - \left(\partial l_y + \frac{d \partial l_y}{dy} dy \right) dx dz \\ - \left(\partial l_z + \frac{d \partial l_z}{dz} dz \right) dy dx . \end{aligned} \right. \quad (1)$$

Сумма этих величин, представляющих токи энергии, дает нам отнесенное к единице времени изменение количества энергии $\partial dx dy dz$ в элементе объема с временем t . Следовательно, делая сокращения:

$$-\frac{d \partial}{dt} = \frac{d \partial l_x}{dx} + \frac{d \partial l_y}{dy} + \frac{d \partial l_z}{dz} . \quad (1)$$

Здесь $\frac{\partial \partial}{\partial t}$ есть частная производная по времени. Выражение (1), аналогичное с выражением закона сохранения вещества в гидродинамике, есть выражение элементарного закона сохранения энергии в телах.

Означая через $\frac{\partial \partial}{\partial t}$ полную производную от ∂ по времени, мы находим следующее выражение для изменения плотности энергии со временем в одной и той же движущейся массе энергии:

$$\frac{\partial \partial}{\partial t} = \frac{d \partial}{dt} + \frac{d \partial}{dx} l_x + \frac{d \partial}{dy} l_y + \frac{d \partial}{dz} l_z . \quad (2)$$

Соединяя выражение (2) с (1), находим:

$$-\frac{1}{\partial} \frac{\partial \partial}{\partial t} = \frac{d l_x}{dx} + \frac{d l_y}{dy} + \frac{d l_z}{dz} . \quad (1 \text{ bis})$$

Аналогия между дифференциальными законами движения энергии и движения вещества вообще не простирается далее сходства уравнений (1) и (1 bis) с соответственными уравнениями гидродинамики.

Выражение (1) открывает связь между количеством энергии, отнесенным к единице времени, втекающим в среду через ее границы, и изменением количества энергии в среде. Мы находим:

$$\iiint \frac{d \partial}{dt} dx dy dz + \iint \partial l_n d \sigma = 0, \quad (3)$$

где тройной интеграл распространяется на весь объем среды, $d \sigma$

представляет элемент ее границы и l_n есть скорость движения энергии по внешней нормали n к элементу границы, т. е.

$$l_n = l_x \cos nx + l_y \cos ny + l_z \cos nz \quad (4)$$

§ 3. *Связь законов движения энергии с законами частичных движений сред.* Дифференциальные законы движений частиц различных сред дают, как известно, возможность установить математическое выражение, представляющее закон сохранения энергии для всей среды. Если через δJ обозначим приращение живой силы в элементе объема среды, через δW — приращение работы частичных сил элемента и через δL — приращение работы давлений на элементе $d\sigma$ поверхности тела, причем все эти приращения отнесены к единице времени, мы всегда имеем возможность по основным дифференциальным законам движений частиц среды составить следующее выражение, причем предполагается, что внешние силы не действуют на частицы среды.

$$\iiint (\delta J + \delta W) d\omega + \iint \delta L d\sigma = 0. \quad (5)$$

В этом выражении $d\omega$ представляет элемент объема среды, тройной интеграл распространяется на всю среду, а двойной — на ее поверхность. Выражение (5) представляет не что иное, как закон сохранения энергии для всей среды.

Для данной среды подобное выражение может быть составлено еще другим образом, исходя из уравнения (1). Умножая обе части этого уравнения на элемент объема $d\omega$ и интегрируя на всю среду, мы находим:

$$\iiint \frac{d\mathfrak{A}}{dt} d\omega + \iiint \left[\frac{d(\mathfrak{A}_x)}{dx} + \frac{d(\mathfrak{A}_y)}{dy} + \frac{d(\mathfrak{A}_z)}{dz} \right] \quad (6)$$

или преобразовывая второй тройной интеграл:

$$\iiint \frac{d\mathfrak{A}}{dt} d\omega + \iint \mathfrak{A}_n d\sigma = 0. \quad (7)$$

Тройной интеграл, входящий в это выражение, представляющее закон сохранения энергии для всей среды, должен быть тождествен с тройным интегралом, входящим в выражение (5). Но двойной интеграл, входящий в выражение (7), преобразуется во второй тройной интеграл выражения (6), следовательно и двойной интеграл, входящий в выражение (5), должен преобразоваться в тройной интеграл, тождественный со вторым тройным интегралом, входящим в выражение (6). Математическое выражение этого тождества и приведет к выражениям, связывающим законы движения и распределения энергии с частичными движениями сред

Дж. Г. Пойнтинг
О переносе энергии
в электромагнитном поле¹

...Цель настоящей статьи — доказать, что имеется общий закон переноса энергии, согласно которому энергия в любой точке движется перпендикулярно к плоскости, содержащей линии электрической и магнитной сил, и что количество энергии, проходящей через единицу поверхности этой плоскости в секунду, равно произведению величин этих двух сил, умноженному на синус угла между ними и деленному на 4π . Направление же потока энергии совпадает с направлением движения правого винта при его вращении от положительного направления электродвижущей силы к положительному направлению магнитной силы. После исследования общего закона будет дано несколько приложений его, чтобы показать, как энергия движется в пространстве, окружающем различные токнесущие цепи.

Ниже дается общее представление о методе, которым получен этот закон.

Если мы обозначим через \mathfrak{E} электродвижущую силу в точке (т. е. силу, действующую на единицу положительного электричества, которой заряжено небольшое тело, помещенное в этой точке), через \mathbf{K} — удельную индуктивную емкость среды в этой точке, через \mathfrak{G} магнитную силу (т. е. силу, действующую на малый по размерам и указывающий на север единичный полюс, помещенный в этой точке) и через μ — магнитную проницаемость, то выражение Максвелла для электрической и магнитной энергии на единицу объема поля будет

$$K\mathfrak{E}^2/8\pi + \mu\mathfrak{G}^2/8\pi. \quad (1)$$

¹ [1, С. 233–240. Там же приведен источник : (Phil. Trans. of the Roy. Soc. 175, 343 (1885). Communicated by Lord Rayleigh. Received Dec. 17, 1883, — Read Jan. 10, 1884)].

Если происходит какое-либо изменение в подводе или распределении энергии, то изменение этого количества энергии в секунду будет

$$K\mathfrak{E} \frac{d\mathfrak{E}}{dt} / 4\pi + \mu\mathfrak{E} \frac{d\mathfrak{E}}{dt} / 4\pi. \quad (2)$$

Согласно Максвеллу, действительный электрический ток в общем случае состоит из двух частей: одна часть - ток проводимости \mathfrak{K} , а другая — ток, обусловленный электрическим смещением в диэлектрике; последний называется током смещения. Но смещение пропорционально электродвижущей силе и выражается как

$K\mathfrak{E}/4\pi$, так что при изменении смещения, обусловленном изменением электродвижущей силы, скорость этого изменения, т. е. ток смещения будет $K \frac{d\mathfrak{E}}{dt} / 4\pi$, и это выражение будет равно разности между действительным током \mathfrak{E} и током проводимости \mathfrak{K} . Умножая эту разность на электродвижущую силу \mathfrak{E} , получим, что первый член в выражении (2) будет равен

$$\frac{K\mathfrak{E}}{4\pi} \frac{d\mathfrak{E}}{dt} = \mathfrak{E}\mathfrak{E} - \mathfrak{K}\mathfrak{E}. \quad (3)$$

Первый член правой части выражения (3) может быть преобразован заменой компонент полного тока их выражениями через компоненты магнитной силы, в то время как второй член — произведение тока проводимости на электродвижущую силу — согласно закону Ома $\mathfrak{K} = \mathbf{C} \mathfrak{E}$ равен $\mathfrak{K}^2/\mathbf{C}$, где \mathbf{C} — удельная проводимость. Но эта величина, согласно закону Джоуля, представляет собой энергию, проявляющуюся в цепи в виде тепла на единицу объема. Если мы сложим преобразованные указанным образом величины, входящие в выражение (3), то интеграл от первого члена *по всему пространству внутри замкнутой поверхности* может быть взят по частям, и мы найдем, что он состоит из двух членов. Один будет выражением, зависящим только от поверхности, причем каждая часть поверхности вносит в него долю, зависящую от значений электродвижущей и магнитной силы на этой части. Другой член выражает изменение магнитной энергии в секунду [т. е. второй член выражения (2)] с обратным знаком. Интеграл от второго члена выражения (3) представляет собой полное количество тепла, развиваемого в проводниках, находящихся в пределах поверх-

ности, в одну секунду. Мы получаем таким образом следующий результат.

Изменение в секунду электрической энергии, содержащейся внутри поверхности, равно величине, зависящей от поверхности, минус изменение в секунду магнитной энергии, минус тепло, развиваемое в цепи.

Или, переставляя:

Изменение суммы заключенных внутри поверхности электрической и магнитной энергий в секунду вместе с теплом, развиваемым токами, равно величине, в которую каждый элемент поверхности вносит свою долю, зависящую от значений электрической и магнитной сил на этом элементе. Это значит, что полное изменение энергии учитывается в том случае, если предположить, что энергия проходит через поверхность согласно закону, представленному этим выражением.

Из рассмотрения этого выражения явствует, что оно включает в себя и то, что энергия течет, как было сказано выше, т. е. перпендикулярно к плоскости, содержащей линии электрической и магнитной сил, и что количество энергии, пересекающее единицу поверхности этой плоскости в секунду, равно произведению:

$$\frac{\text{Электродвижущая сила} \times \text{магнитная сила} \times \sin \text{ угла между ними}}{4\pi},$$

в то время как направление потока определяется тремя величинами — электродвижущей силой, магнитной силой и потоком энергии, связанными в правовинтовую связь.

Отсюда немедленно следует, что энергия течет перпендикулярно к линиям электрической силы, т. е. вдоль эквипотенциальных поверхностей там, где они существуют. Энергия течет также перпендикулярно к линиям магнитной силы, т. е. вдоль магнитных потенциальных поверхностей там, где они существуют. Если существуют оба вида поверхностей, то линии их пересечения являются линиями потока энергии.

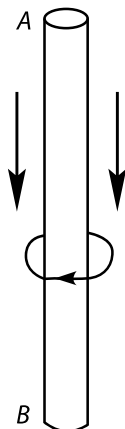
Ниже следует полное математическое доказательство этого закона.

<...>

Рассмотрим теперь приложение этого закона к нескольким случаям.

ПРИЛОЖЕНИЯ ЗАКОНА ПЕРЕНОСА ЭНЕРГИИ

(1) Прямая проволока, проводящая ток



Фиг. 1

В этом случае линии магнитной силы в непосредственной близости от проволоки и в пределах самой проволоки суть окружности, охватывающие ось проволоки. Линии электрической силы направлены вдоль проволоки, если мы принимаем за доказанное, что поток, проходящий через равные части площади поперечного сечения, один и тот же во всех этих частях. Если АВ (фиг. 1) представляет собой проволоку и ток направлен от А к В, то плоскость, касающаяся поверхности в любой точке, содержит направления и электродвижущей, и магнитной силы (будем обозначать их далее соответственно э. д. с. и м. с.), и энергия вытекает поэтому перпендикулярно к поверхности, т. е. вдоль радиуса по направлению к оси. Возьмем часть проволоки, ограниченную двумя плоскими перпендикулярными к оси сечениями. Через концы проволоки нет никакого потока энергии, так как они не содержат компонент э. д. с. Следовательно, вся энергия поступает внутрь проволоки через ее наружную поверхность и, согласно общей теореме, количество поступающей энергии должно в точности равняться количеству тепла, развиваемому вследствие сопротивления, так как при постоянном токе не происходит никаких других изменений энергии. Быть может стоит показать в этом случае независимо, что энергия, поступающая внутрь проволоки, в согласии с общим законом, точно

равна развиваемому теплу. Пусть r — радиус проволоки, i — ток вдоль нее, α — магнитная сила на поверхности, P — электродвижущая сила в любой точке внутри проволоки и V — разность потенциалов между концами проволоки. Тогда поверхность проволоки на длине l будет равна $2\pi rl$, и энергия, поступающая снаружи в секунду, будет

$$\frac{\text{площадь} \times \text{э. д. с.} \times \text{м. с.}}{4\pi} = \frac{2\pi rl \cdot P \cdot \alpha}{4\pi} = \frac{2\pi r\alpha \cdot Pl}{4\pi} = \frac{4\pi iV}{4\pi} = iV,$$

так как линейный интеграл от магнитной силы вокруг проволоки ($2\pi r\alpha$) равен 4π , умноженному на ток, проходящий через проволоку, $Pl = V$.

Но по закону Ома $V = iR$ и $iV = i^2R$, т. е. теплу, развиваемому в проволоке согласно закону Джоуля.

Картина рисуется такой, что вдоль проволоки нет передачи энергии тока, но что энергия поступает из непроводящей среды, окружающей проволоку и, как только входит в нее, начинает превращаться в тепло. Количество электромагнитной энергии, пересекающее последовательные слои проволоки, уменьшается, вплоть до центра, где нет магнитной силы и поэтому не приходит никакой энергии: она вся уже превратилась в тепло. Можно сказать, таким образом, что ток проводимости заключается в этом, втекающем внутрь потоке энергии, в сопровождающих его электрической и магнитной силах и в превращении энергии в тепло внутри проводника.

<...>

(7) Электромагнитная теория света

Скорость плоских волн поляризованного света, согласно электромагнитной теории, может быть выведена из рассмотрения потока энергии. Если волны распространяются не изменяясь по форме и с постоянной скоростью, то и энергия, обусловленная волной, также проходит всюду не изменяясь количественно и с той же самой скоростью. Если эта скорость будет v , то вся энергия, содержащаяся в кубе единичного объема, обращенном одной гранью к фронту волны, пройдет через эту грань за долю секунды $1/v$. Предположим, что распространение энергии идет прямолинейно вперед, а смещение происходит вверх и вниз; тогда магнитная сила будет направлена вправо и влево. Если \mathcal{E} будет э.д.с. и \mathcal{H} будет м.с, внутри этого объема, который предполагается столь малым, что силы можно считать однородными во всем кубе, то заключенная в нем

энергия будет $K\mathfrak{E}^2/8\pi + \mu\mathfrak{G}^2/8\pi$. Поток энергии через грань, обращенную к фронту волны, равен $EG/4\pi$ в секунду, в то время как на выход из куба заключенной в нем энергии требуется доля секунды $1/v$.

Следовательно:

$$\frac{\mathfrak{E}\mathfrak{G}}{4\pi v} = \frac{K\mathfrak{E}^2}{8\pi} + \frac{\mu\mathfrak{G}^2}{8\pi}. \quad (1)$$

Если мы возьмем теперь грань куба, перпендикулярную к направлению смещения и поэтому содержащую м. с, то линейный интеграл м. с. вокруг этой грани будет равен 4π х ток, проходящий через грань. Если мы обозначим через z расстояние от некоторой фиксированной плоскости в направлении распространения, то линейный интеграл м. с. будет, $\frac{d\mathfrak{G}}{dz}$ в то время как ток, являясь изменением смещения, будет $\frac{K}{4\pi} \frac{d\mathfrak{E}}{dt}$.

Поэтому

$$-\frac{d\mathfrak{G}}{dz} = K \frac{d\mathfrak{E}}{dt} \quad (2)$$

Но так как смещение распространяется не изменяясь со скоростью v , смещение в данной точке изменится за время dt до того значения, которое в данный момент находится на расстоянии dz позади, причем $dz = vdt$.

Поэтому

$$\frac{d\mathfrak{E}}{dt} = -v \frac{d\mathfrak{G}}{dz}. \quad (3)$$

Подставляя в (2), получим:

$$\frac{d\mathfrak{G}}{dz} = K v \frac{d\mathfrak{E}}{dz}.$$

Откуда

$$\mathfrak{G} = K v \mathfrak{E}, \quad (4)$$

причем произвольная функция от времени будет равна нулю, так как \mathfrak{G} и \mathfrak{E} обе равны нулю там, куда волна еще не дошла.

Если мы возьмем линейный интеграл э. д. с. вокруг грани, перпендикулярной к м.с., и приравняем его приращению потока магнитной индукции через эту грань, мы получим подобным же образом

$$\mathfrak{E} = \mu v \mathfrak{G}. \quad (5)$$

Отметим, что произведение равенств (4) и (5) тотчас же дает значение v , так как, сократив на $\mathfrak{E} \mathfrak{G}$, мы получаем

$$1 = \mu K v^2$$

или

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu K}}.$$

Но, пользуясь и одним только из этих уравнений, скажем (4), и подставляя в (1) K вместо \mathfrak{G} , мы получим, разделив на \mathfrak{E}^2

$$\frac{K}{4\pi} = \frac{K}{8\pi} + \frac{\mu K^2 v^2}{8\pi},$$

или

$$1 = \mu K v^2,$$

откуда

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu K}}.$$

Это сразу же дает нам равенство магнитной и электрической энергий, так как

$$\frac{\mu \mathfrak{G}^2}{8\pi} = \frac{\mu K^2 v^2 \mathfrak{E}^2}{8\pi} = \frac{K \mathfrak{E}^2}{8\pi}.$$

Следует заметить, что скорость $\frac{1}{\sqrt{\mu K}}$ является наибольшей скоростью, с которой обе энергии могут распространяться вместе, и что они должны быть равными, если распространяются с этой скоростью. Ибо, если v — скорость распространения и θ — угол между двумя силами, то

$$\frac{\mathfrak{E} \mathfrak{G} \sin \theta}{4\pi v} = \frac{K \mathfrak{E}^2}{8\pi} + \frac{\mu \mathfrak{G}^2}{8\pi},$$

$$v = \frac{2 \sin \theta}{\frac{K \mathfrak{E}}{\mathfrak{G}} + \frac{\mu \mathfrak{G}}{\mathfrak{E}}}.$$

Наибольшее значение числителя равно 2, когда θ — прямой угол, а наименьшее значение знаменателя равно $2\sqrt{\mu K}$, когда оба члена

равны друг другу и равны $\sqrt{\mu K}$.

Поэтому максимальное значение υ есть $\frac{1}{\sqrt{\mu K}}$ и оно получается при $\theta = \pi/2$ и $K\mathfrak{E}^2 = \mu\mathfrak{G}^2$.

Предыдущие примеры достаточны для того, чтобы показать, что можно легко привести некоторые из известных экспериментальных фактов в соответствие с общим законом потока энергии.

...Я детально изложил несколько случаев переноса энергии в токопроводящих цепях согласно вышеприведенному закону, ибо я считаю необходимым отдавать себе полный отчет в том, что, принимая максвелловскую теорию об энергии, находящейся в среде, мы более не должны рассматривать ток как нечто, передающее энергию вдоль провода. Ток в проводнике следует скорее рассматривать как втекание в проводник электрической и магнитной энергии и превращение их там в другие виды энергии. Ток в месте нахождения так называемой электродвижущей силы представляет собой по существу вытекание энергии из проводника в среду. Магнитные линии силы направлены по отношению к цепи повсюду одним и тем же образом, в то время как линии электрической силы направлены противоположно в двух частях цепи — в одной их направление совпадает с направлением так называемого тока в проводнике, в другой — в месте, где создается электродвижущая сила — они направлены против тока. Отсюда следует, что суммарная э. д. с. вдоль цепи с установившимся током равна нулю, т. е. равна нулю работа, совершаемая при переносе током единицы положительного электричества по всей цепи. Ибо для движения этой единицы заряда против э.д.с. в месте источника энергии требуется работа; эта работа посылает энергию во вне, в среду, в то время как равное количество энергии поступает в остальную часть цепи, где единица заряда движется в направлении э. д. с. Такой способ рассмотрения соотношений между различными частями цепи, я уверен, очень сильно отличается от обычных, но мне кажется, что он дает нам более верное представление об известных нам фактах...

Э. Бранли
Изменения проводимости под различными
электрическими воздействиями¹

В известном числе опытов я брал в качестве проводника очень тонкий слой размельченной меди², нанесенный на прямоугольную пластинку из матового стекла или эбонита в 7 см длины и 2 см ширины. Этот слой, отполированный надфелем, имеет сопротивление, которое может изменяться от нескольких омов до многих миллионов омов при одном и том же весе металла. Связь с контуром осуществляется двумя узкими медными полосками, параллельными коротким сторонам прямоугольной пластинки и прижимаемыми с помощью микрометрического винта. Когда обе медные полоски приподняты, пластинка совершенно изолирована.

Я употреблял также в качестве проводника тонкие металлические опилки железа, алюминия, сурьмы, кадмия, цинка, висмута и т. д., иногда смешанные с изолирующими жидкостями. Опилки насыпаны в трубочку из стекла или эбонита, где и заключены между двумя металлическими стержнями.

Если сделать контур, состоящий из элемента Даниэля, чувствительного гальванометра, металлического проводника и эбонитовой пластинки с нанесенной медью или трубочки с опилками, то большей частью проходит лишь ничтожный ток. Однако сопротивление резко уменьшается — что видно по сильному отклонению гальванометра — если вблизи контура произвести один или несколько электрических разрядов. Я пользовался для этой цели либо маленькой машиной Вимшерста [Wimshurst], с конденсатором или без него, либо катушкой Румкорфа, либо воз-

¹ [1, С. 353—355. Там же приведен источник: {Comptes Rendus, 111, 785, (1890)}].

² Иногда я прибавлял немного олова, которое облегчает сцепление.

будителем, который я применял при изучении положительных и отрицательных потерь под влиянием света (С. Р., заседания 8 и 28 апреля 1890 г.). Действие уменьшается при увеличении расстояния, но его очень легко наблюдать, даже без специальных предосторожностей, еще на расстоянии нескольких метров. Пользуясь мостиком Уитстона, я мог констатировать это действие на расстояниях более 20 м, причем искровой аппарат работал в зале, отделенном от гальванометра и мостика тремя большими комнатами, так что шум от искр не мог быть услышан.

Изменения сопротивления очень велики. Например, в указанных выше проводниках—от нескольких миллионов омов до 2000, или даже до 100, от 150 000 до 500 омов, от 50 до 35 и т. д. Уменьшение не кратковременно—оно сохраняется иногда более 24 часов. При первых наблюдениях явления я не следил за изменениями чувствительного вещества, предоставленного самому себе после действия искры.

Другой способ экспериментирования, который подтверждает результаты предыдущего, состоит в следующем. Электроды капиллярного электрометра присоединены к двум полюсам элемента Даниэля с сернокислым кадмием. Перемещение ртути, которое происходит при размыкании замыкающего накоротко ключа, совершается очень медленно, если между одним полюсом элемента и соответствующим электродом электрометра вставлена эбонитовая пластинка, покрытая медью и обладающая большим сопротивлением. Но когда проскакивают искры возбудителя, ртуть быстро поднимается в капиллярной трубке, вследствие резкого уменьшения сопротивления пластинки¹.

Рассмотрение условий, которые надо выполнить, чтобы получить явление, и поиски его причины, привели меня к следующим результатам:

1. Чтобы действие имело место, контур не обязательно должен быть замкнут. Испытав пластинки и установив, что их сопротивление очень велико, я приподнял полоски меди и, таким образом, совершенно изолировал пластинки во время искры. Помещая их затем в замкнутый контур элемента Даниэля и гальванометра, я наблюдал, что эффект имеет место. Все же уменьшение сопротив-

¹ [I, С. 353—355. Там же приведен источник: {Comptes Rendus, 111, 785, (1890)}].

ления происходит лучше, если пластинка, находясь хотя бы и в разомкнутом контуре, соединена своими концами с проводящими проволоками.

2. Прохождение через чувствительное вещество индуцированного тока производит то же действие, что и искра на расстоянии. Ток пропускается в индуцирующей обмотке санного аппарата Дюбуа-Реймона [Dubois-Reymond]. Индуцируемый контур содержит катушку, трубочку с опилками, элемент Даниэля и гальванометр. Индуцирующий контур замыкается, а затем размыкается. Обычно достаточно одного замыкания или одного размыкания, чтобы ток от элемента Даниэля легко прошел через опилки. При индуцирующем токе в $\frac{1}{10}$ ампера было достаточно однократного размыкания тока, тогда как замыкание не всегда производило желательное уменьшение. При замыкании и размыкании индуцирующего контура индуцируемый контур может оставаться разомкнутым и тем не менее пластинка меняет свое сопротивление.

3. Возьмем индукционную катушку с двумя одинаковыми обмотками. В одной проходит индуцирующий ток. Другая обмотка — с гальванометром и трубочкой с опилками — образует замкнутый контур. Прежде чем включить в контур опилки, можно убедиться что и ток замыкания, и ток размыкания дают равные и противоположные отклонения стрелки гальванометра. После введения опилок в индуцируемый контур будем замыкать и размыкать индуцирующий контур через правильные промежутка времени.

Несколько чисел покажут, как прохождение двух индуцированных токов постепенно меняет сопротивление опилок

	I	1	I	18
Цинковые опилки	II	64	II	100
	III	146	III	140
	I	5	I	3
Алюминиевые опилки	II	50	II	47
	III	39	III	81

Эти отклонения были получены с катушкой без сердечника. С сердечником из мягкого железа и с тем же индуцирующим током, последовательные числа были приблизительно одинаковы, кроме полученного после первого замыкания, которое было меньше.

4. При работе с постоянным током прохождение сильного тока делает чувствительное вещество легче проводящим слабый ток.

Сделаем контур, состоящий из батареи, чувствительного вещества и гальванометра. Электродвижущую силу батареи возьмем сначала в 1 вольт, потом в 100 вольт и затем опять в 1 вольт. Ниже указаны отклонения, получающиеся от тока при 1 вольте до и после прохождения тока от 100 вольт.

	До прохождения	После прохождения
Первая эбонитовая пластинка, покрытая медью	16	100
Вторая эбонитовая пластинка, покрытая медью	0	15
Железные опилки	1	500

В заключение заметим, что во всех этих опытах употребление эбонитовых пластинок, покрытых медью или смесями меди с оловом, было менее удобным, чем употребление опилок. И действительно, с омедненными пластинками мне не удавалось после действия искры или действия тока восстанавливать по желанию первоначальное сопротивление, тогда как в трубочках с опилками изменения сопротивления можно было различными способами почти уничтожить, особенно слабыми отрывистыми ударами по дощечке, которая поддерживает трубку¹.

¹ Я должен поблагодарить г. Жендрона [Jendron] за усердие, с которым он мне помогал в этих исследованиях.

Н. Тесла
О колебательных явлениях
при высокой частоте¹

В связи с явлениями резонанса и проблемой передачи энергии по одному проводнику, которые я только что рассматривал, я хотел бы сказать несколько слов по одному вопросу, который все время у меня на уме и который затрагивает благосостояние всех. Я хочу сказать о передаче осмысленных сигналов, а, может быть, даже и энергии, на любое расстояние совсем без помощи проводов. С каждым днем я все более убеждаюсь в практической осуществимости этого процесса, хотя я прекрасно знаю, что большинство ученых не верит в то, что подобные практические результаты могут быть быстро достигнуты; тем не менее все считают, что работы последних лет могут лишь стимулировать опыты в этом направлении. Мое убеждение установилось так прочно, что я рассматриваю этот проект передачи сигналов или энергии уже не просто как теоретическую возможность, а как серьезную задачу, которая ставится перед инженером-электриком и должна быть решена со дня на день.

Мысль о передаче без проводов является естественным следствием самых последних результатов, полученных из исследований в области электричества. Некоторые энтузиасты выразили свою уверенность в возможности осуществления телефонии на любое расстояние посредством индукции через воздух. Я не могу простираť свое воображение так далеко. Но я твердо верю, что с помощью мощных машин можно изменить электростатическое

¹ [I, С. 421—423. Там же приведен источник: {«La Lumière Electrique», **49**, 192, 239, 287, 338 (1893)}]. *Conférence faite devant le Franklin Institute et devant la National Electric Light Association à Saint-Louis.* {Лекция, прочитанная во Франклиновском институте и в Национальной Ассоциации электрического света в Сен-Луи; данный отрывок взят со стр. 340—342}.

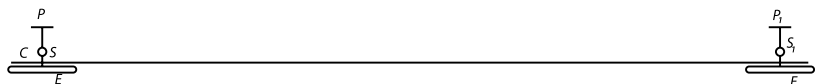
состояние земли и таким путем передавать осмысленные сигналы, а может быть и энергию. В самом деле, что препятствует осуществлению этой программы? Мы знаем теперь, что электрические колебания могут быть переданы по одному проводнику. Почему же в таком случае не попробовать воспользоваться для этой цели землей? Мысль о расстоянии не должна нас пугать. Уставшему путешественнику, который считает каждый километр, земля может показаться очень большой, но самому счастливому из людей — астроному, который наблюдает небеса и судит о нашем, земном шаре с высоты этих грандиозных масштабов, он кажется очень маленьким. Так же, казалось бы, должно быть и для электротехника. Когда он говорит о скорости, с которой распространяется через землю электрическое возмущение, все его понятия о расстоянии должны быть опрокинуты.

Очень важно было бы знать, какова емкость земли и какой заряд она может вместить, будучи наэлектризована. Несмотря на то, что мы не знаем случая, когда бы наэлектризованное тело существовало в пространстве без того, чтобы вблизи не находилось другое тело, заряженное противоположным по знаку электричеством, все же, весьма вероятно, что земля как раз и является таким телом, ибо каким бы способом она ни отделилась от других небесных тел — а это общепринятое объяснение ее происхождения, — она должна была сохранить какой-то заряд, как это происходит при всех процессах механического разъединения. Коль скоро она является изолированным в пространстве телом, ее емкость должна быть чрезвычайно мала, меньше тысячной фарады. Но верхние слои воздуха являются проводящими, так что в свободном пространстве за пределами атмосферы, быть может, находится среда, которая может содержать противоположный заряд. Емкость может быть тогда несравненно больше. Во всяком случае, очень важно составить себе представление о количестве электричества, которое содержит земля. Трудно сказать, приобретем ли мы когда-либо требуемые сведения, но можно надеяться, что благодаря электрическому резонансу нам это удастся. Если когда-либо мы сумеем установить, с каким периодом колеблется заряд земли, когда на нее влияет система противоположных электрических зарядов или некоторая цепь, мы приобретем знание, чрезвычайно важное для благополучия человечества.

Я предлагаю искать этот период с помощью электрического осциллятора или источника переменного тока. Из двух клемм источника электричества одна соединена с землей, например посредством водопроводной сети, а другая — с изолированным телом, обладающим большой поверхностью. Возможно, что внешние проводящие слои воздуха или свободное пространство содержат заряд противоположного знака и образуют с землей конденсатор очень большой емкости. В этом случае период колебаний может быть очень длинным и для опыта могла бы послужить динамомашина. Я трансформирую тогда ток до наивозможно более высокого напряжения и соединяю концы вторичного контура, находящегося под высоким напряжением, с землей и с изолированным телом. Наличие резонанса можно было бы установить, изменяя частоту тока и внимательно наблюдая потенциал изолированного тела и возмущение в различных соседних точках земной поверхности. Если, как вероятно думает большинство ученых, период чрезвычайно мал, то динамо будет уже непригодно и надо будет придумать подходящий электрический осциллятор. Не исключено, что получение столь быстрых колебаний окажется даже невозможным. Но будет ли этот опыт осуществим, или не будет, заряжена ли земля, или нет, и каков бы ни был период колебаний, во всяком случае несомненно возможно — и мы имеем этому ежедневные доказательства — произвести какое-нибудь электрическое действие, достаточно мощное, чтобы его можно было воспринять с помощью подходящих инструментов в любой точке поверхности земли.

Допустим, что одна из клемм источника переменного тока S соединена, как показано на рисунке, с землей E (например, с водопроводными трубами), тогда как другая клемма соединена с телом P , имеющим большую поверхность. Электрическое колебание вызовет переменное движение электричества и токи пройдут через землю, сходясь к точке c . Таким образом, к соседним с c точкам будет приходить возмущение, которое, конечно, будет уменьшаться с расстоянием, но это ослабление будет тем меньше, чем больше количество электричества, принимающего участие в процессе. Если тело P изолировано, то потенциал источника должен быть огромным для того, чтобы поверхность P не лимитировала эффект.

Условия могут быть подобраны так, что источник S будет создавать такое же движение электричества, как если бы цепь была замкнута. Таким путем, конечно, возможно сообщить земле электрическое колебание, по крайней мере, большого периода. Расстояние, на котором может быть обнаружено вызванное этим способом колебание трудно предугадать сколько-нибудь определенно.



Фиг. 1

Мне пришлось рассматривать по другому случаю, как ведет себя земля в отношении электрических возмущений. Нет сомнения в том, что плотность электричества на поверхности земли может быть только малой и что присутствие воздуха не будет иметь вредного влияния и не даст большой потери энергии. Теоретически создание электрического возмущения, ощутимого на большом расстоянии или даже на всей поверхности земного шара не потребует очень большой затраты энергии.

Совершенно очевидно, что находящаяся в какой-либо точке на некотором расстоянии от источника S хорошо настроенная система, состоящая из самоиндукции и емкости, может быть приведена в действие с помощью резонанса. Но можно также заставить действовать синхронно другой источник S_1 (см. рисунок) или ряд таких источников и таким способом распространить поток электричества на очень большую поверхность.

Я думаю, что в городе можно с помощью резонанса заставить действовать электрические устройства посредством сети труб, используя осциллятор, помещенный в некотором центральном пункте. Но практическое решение этой последней задачи несравненно менее полезно для человека, чем передача сигналов, а может быть и энергии, на любое расстояние через землю. Если это окажется возможным, то расстояния не будут тогда играть никакой роли. Но прежде всего нужно придумать аппараты, пригодные для этой цели; этому вопросу я уже посвятил много труда. Я твердо убежден, что эта задача может быть решена, и я надеюсь, что мы будем свидетелями ее осуществления.

О. Лодж Творение Герца¹

Безвременный конец молодой и блестящей жизни не может не вызвать печали и сочувствия в сердцах всех друзей почившего и его товарищей по работе. Среди скошенных смертью в расцвете творческих сил нам вспоминаются имена Френеля, Карно [Carnot], Клиффорда [Clifford], к которым теперь надо прибавить также и имя Герца. Деятельная юность его протекала в благоприятных условиях; с самого рождения его окружала обстановка, способствовавшая созданию законченного человека науки, совершенного как в экспериментальной, как и в математической области. Смерть его, последовавшая 1 января сего 1894 года, на тридцать шестом году жизни, является тяжелой утратой для авангарда работников науки. Однако он успел сделать открытие, которое передаст его имя потомству как имя человека, создавшего эпоху в экспериментальной физике.

В математической и теоретической физике зерно было посеяно другими. Это были Фарадей, Томсон и Стокс, без сомнения также Вебер, Гельмгольц; но в той специальной области, которую я имею в виду, больше и плодотворнее всех трудился Клерк Максвелл. Герцу было предназначено пожать плоды всех этих трудов. Его экспериментальное открытие доказало германским ученым справедливость максвелловской теории света, вернее, света и электричества вместе, а армия умелых работников у нас в Англии (равно как и некоторые представители Швейцарии, Франции и Ирландии) подобрала оставшиеся колосья.

Эта часть работы Герца наиболее широко известна, она принесла ему славу. Публичное признание редко бывает столь заслужено. Широкая публика склонна к щедрости и доверчивости и часто бывает обманута. Пер-

¹ [I, С. 424–443. Там же приведен источник: { Nature 50, 133 (1894) }]. {Лекция, прочитанная в Королевском обществе в пятницу, 1 июня 1894. Поправки, сделанные автором позднее (стр. 160), внесены в текст статьи. Таблицу детекторов мы не приводим}.

венство в области науки, присуждаемое в соответствии с мерилami широкой публики отдельным энергичным лицам, всегда кажется более или менее забавным для тех, кто работает в той же области. Однако в случае Герца подобной ошибки не было. Его имя не достигло чрезмерной популярности и сделанное им во всех отношениях неизмеримо превосходит все то, чего достигли некоторые люди, наделавшие гораздо больше шума.

Его наиболее широко известное открытие является далеко не единственным. Я имею здесь список восемнадцати работ, напечатанных им в немецких журналах, не считая вошедших в его известную книгу об электрических волнах, и хотел бы высказать пожелание, чтобы Лондонское Физическое общество взяло на себя перевод и издание хотя бы части этих работ, тем самым воздавая дань памяти Герца и делая полезное дело для ученых нашей страны.

Демонстрация диапозитива с портретом Герца

Демонстрируемый мною портрет не очень удачен. Он сделан по фотографии, снятой мистером Юлем [Yule], одним из многочисленных иностранных студентов, стекавшихся в лабораторию Герца в Бонне. Портрет этот безупречен с точки зрения фотографии, однако он плохо передает облик Герца; это, возможно, объясняется тем, что последний уже страдал в то время болезнью, которая и унесла его впоследствии в могилу.

Заканчивая это введение, посвященное личности Герца, я считаю нужным отметить то полное энтузиазма восхищение, которое его характер и сила духа вызывали во всех учениках и сотрудниках, приходивших с ним в соприкосновение. Редко можно встретить человека, столь деликатно относившегося к чувствам других. Он всегда стремился преуменьшить то первенствующее положение, которое отводилось ему у нас в речах и писаниях, из боязни, что предпочтение, оказанное ему перед другими, более старыми учеными, может задеть чувствительное самолюбие его соотечественников.

Упомянув о других выдающихся немецких физиках, я считаю уместным выразить здесь нашу печаль по поводу недавней смерти доктора Августа Кундта [Kundt], преемника Гельмгольца по кафедре в Берлинском университете.

Соглашаясь прочесть лекцию, посвященную творениям Герца, я предполагал повторить некоторые из его опытов и, в частности, продемонстрировать некоторые из его менее известных открытий и на-

блюдений. Однако восхищение, которое опыты с электрическими колебаниями возбуждали во мне еще в то время, когда я сам весной 1888 года независимо работал над тем же вопросом¹, вспыхнуло с новой силой и, таким образом, моя лекция явится скорее экспериментальной демонстрацией результатов исследований Герца, чем точным воспроизведением какой-либо части самих его опытов.

Принимая во внимание, что небольшое количество моих слушателей, возможно, вовсе не знакомо с предметом, я позволю себе посвятить пять минут краткому объяснительному вступлению, хотя имеющееся в нашем распоряжении время далеко не беспредельно [is very far from being «infinitely long»].

Я считаю, что всего проще будет начать с краткого итога наших знаний в данной области в эпоху, предшествующую Герцу.

Подобно тому, как камень, брошенный в пруд, вызывает на его поверхности волны, способные колебать соломинки, под которыми они проходят, так колокольчик или камертон, если их ударить, излучают в воздух энергию в форме так называемых звуковых волн и эта излученная энергия способна возбуждать колебания в других упругих телах.

Если собственные или свободные колебания тела, воспринимающего эти колебания, являются сильно затухающими, т. е., будучи предоставлено самому себе, это тело быстро приходит в состояние покоя, то оно может лишь слабо откликаться на тоны любой высоты. Так обстоит дело с моим голосом и вашими ушами. Лишь чрезвычайно высокие тоны совсем не воспринимаются ухом.

Наоборот, если воспринимающее тело обладает хорошо выраженным периодом колебаний, которые продолжаются долгое время после того как тело предоставлено самому себе, например колокол или камертон, то мы имеем гораздо большие возможности для ответных колебаний; однако для выявления их в полной мере необходима большая точность настройки.

Если приемник не будет точно настроен [syntonised] на источник, он почти или даже совсем не будет откликаться.

С другой стороны, если хорошим вибратором является источник, то точность настройки необходима потому, что в противном случае он будет немедленно нарушать движение, вызванное им же самим в предшествую-

¹ *Phil. Mag.*, 26, 229, 230 (1888); или «Громоотводы и грозозащитные устройства» (Whittaker), стр. 104, 105; также *Proc. Roy. Soc.*, I, p. 27.

щий момент. На аperiодический же или сильно затухающий возбудитель почти все тела будут откликаться одинаково хорошо или одинаково плохо.

Сказанное мною о звучащих телах справедливо для всех вибраторов, находящихся в среде, способной передавать волны. Например, посылающий телефон или микрофон, когда в него говорят, излучает волны в эфир и эта лучистая энергия тоже способна возбуждать колебания в подобранных подходящим образом телах. Однако мы не обладаем достаточно тонкими методами для непосредственного обнаружения этих электрических или эфирных волн; для того чтобы они произвели заметное действие на расстоянии, они должны быть ограничены наподобие того, как это делает переговорная труба, лишены возможности распространяться вширь и сконцентрированы на удаленном приемнике.

Таково назначение телеграфных проводов; они являются для эфира тем же, чем переговорная труба является для воздуха. Металлический провод в воздухе можно сравнить (по его действию, а не в деталях этой аналогии) с вытянутой пустой полостью, окруженной почти твердыми, лишь слабо упругими стенками.

Шар, заряжаемый от электрофора

Всякий проводник, заряжаемый или разряжаемый в достаточной степени внезапно, посылает в эфир электрические волны, так как сообщенный ему заряд успокаивается не сразу, а лишь после нескольких колебаний вперед и назад. Согласно теории Максвелла, эти качания возбуждают волны в эфире ввиду того, что в конце каждого полуразмаха они вызывают электростатические эффекты, а в середине каждого полуразмаха — электромагнитные, быстрое же чередование этих двух видов энергии образует эфирные волны¹. При наличии проводов они будут распространяться вдоль них и действие их может быть ощущаемо на большом расстоянии. При отсутствии проводов они будут распространяться подобно звуку колокола или свету искры и их интенсивность будет убывать обратно пропорционально квадрату расстояния.

Максвелл и его последователи знали, что такие волны должны существовать; они знали скорость, с которой они должны распространяться,

¹ Строго говоря, никакого отставания или разности фаз между электрическими и магнитными колебаниями не существует. Разность фаз имеет место в излучателе или в поглотителе, но не в передающей среде. Настоящее излучение энергии начинается лишь на расстоянии приблизительно в четверть длины волны от источника и в пределах этого расстояния исчезает начальная разность фаз в четверть периода.

знали, что движение их в воде или стекле будет более медленным, чем в воздухе, что они будут загибаться вокруг острых углов, что они будут частично поглощаться, но преимущественно отражаться проводниками, что, будучи отражены в обратном направлении, они дадут явление стоячих волн, явление интерференции или пучностей и узлов. Было известно, как вычислять длину этих волн и даже как возбуждать волны желаемой или заранее определенной длины от 1000 миль до одного фута. О них было известно множество вещей, перечисление которых отняло бы слишком много времени. Любой однородный изолятор способен передавать их, преломлять их или, при соответствующей форме, концентрировать их, не отражать известных видов колебаний под определенным углом и т. д. и т. д.

Все это, говорю я, было «известно», известно с различной степенью достоверности, причем эта достоверность некоторыми оценивалась выше, чем это является законным до фактической экспериментальной проверки.

Эта проверка была произведена Герцем. Он поставил на пути таких волн соответствующие проводники, приспособленные для возникновения в них индуцированных электрических колебаний и, к изумлению всех, включая без сомнения и его самого, нашел, что возникающие таким образом вторичные электрические колебания настолько сильны, что обнаруживают себя посредством крохотных электрических искр.

Настроенные лейденские банки

Я покажу этот опыт в том виде, который требует большой точности настройки [tuning or syntony], так как и излучатель и приемник представляют собой длительно колеблющиеся системы, совершающие от тридцати до сорока колебаний, прежде чем затухание даст заметный эффект. Я беру две лейденских банки с замыкающими цепями диаметром около ярда, расположенные на расстоянии около двух ярдов друг от друга. Я заряжаю и разряжаю одну банку и наблюдаю, что колебания, возбуждаемые в другой, могут привести к ее перекрытию, если она настроена на первую¹.

Замкнутая цепь, подобная этой, является слабым излучателем и слабым поглотителем, ввиду чего она мало пригодна для действия на расстоянии. Я даже не уверен, сможет ли она оказывать видимое действие на

¹ См. *Nature*, v. 41, p. 368 или Дж. Дж. Томсон «Recent Researches», стр. 395.

расстоянии свыше $\lambda/4$, на котором наступает действительное излучение отделившейся энергии. Излучение улучшается при увеличении расстояния между обкладками банки, т. е. при утолщении диэлектрика. Дело в том, что в настоящем излучении электростатическая и магнитная энергия равны друг другу, тогда как в круговой цепи существенно преобладает магнитная энергия. Увеличивая насколько возможно расстояние между обкладками банки, мы получаем типичный осциллятор Герца, диэлектрик которого заполняет всю комнату и который излучает уже весьма сильно.

Герцевский вибратор обычных размеров

Благодаря излучению энергии его колебания быстро затухают и он может дать не больше трех-четырех достаточно сильных колебаний. Из этого следует, что он имеет широкий диапазон возбуждения, т. е. может вызывать появление искр в проводниках, почти совершенно не настроенных на него,

Эти два условия — заметная энергия излучения и длительность электрически вызванных колебаний в настоящее время несовместимы. Для одновременного выполнения этих двух условий необходимо, разумеется, наличие источника энергии, обладающего значительной мощностью или активностью. В настоящее время сосуществование обоих условий наблюдается только на солнце и других звездах, в электрической дуге и в топках.

Синхронное искрение двух круговых вибраторов

Герц работал, главным образом, с круговым резонатором, который не является хорошим поглотителем, но представляет собой длительно колеблющийся вибратор, хорошо приспособленный к улавливанию возмущений с точной и поддающейся определению длиной волны. Я нахожу, что круговой резонатор может применяться и в качестве излучателя. Мы видим, что один способен возбуждать в другом довольно длинные искры.

Электрический синхронизм [Electric Syntony], вот в чем заключалось открытие Герца; однако он не остановился на этом. Он не-

медленно применил свое открытие для проверки всего, что уже было предсказано относительно волн, и при помощи сложных и трудных интерференционных опытов ему удалось установить, что вычисленные ранее длины волн всецело подтверждаются фактами. Эти опыты над интерференцией в свободном пространстве представляют собой его важнейшее достижение.

Он тщательно проверил каждую деталь теории, в отдельности анализируя электрические и магнитные колебания. Его терминология несколько отличается от современной, причем то, что для большинства физиков явилось бы сложным лабиринтом трудно объяснимых фактов, для него было лишь материалом для все возрастающего теоретического проникновения, давшего ему возможность распутать их основные взаимоотношения и привести их в гармонию.

*Машина Гольца (Holtz), искры А и В, экраны
со стеклянными и кварцевыми пластинками*

Наблюдая искры, подобные этим, т. е. первичную или возбуждающую искру и вторичную или возбуждаемую, Герц обнаружил в качестве побочного результата, что появление вторичной искры значительно облегчалось, если свет от первичной падал на ее электроды. Он исследовал это новое действие света различными способами и показал, что, хотя свет искры или электрической кисти является наиболее эффективным, тех же результатов удастся достичь посредством всякого источника света, дающего сильные ультрафиолетовые лучи. Эти опыты были повторены и расширены Видеманом и Эбертом [Ebert], а также многими другими исследователями, которые доказали, что освещение создает эффект на каждом шарике. Гальвакс сделал важное наблюдение, которое затем было расширено Риги, Столетовым, Бранли и другими и которое заключалось в том, что свежеотполированная цинковая или другая окисляемая поверхность, будучи отрицательно заряжена, постепенно разряжается под действием ультрафиолетового света.

Попытка воспроизведения этого опыта легко может кончиться неудачей при несоблюдении необходимых условий; в обратном же случае опыт до смешного легок и это явление могло быть открыто сто лет тому назад.

<...>

Большой герцевский вибратор в действии, предохранитель Абеля (Abel), вакуумная трубка. Зажигание дуги

Его высокая излучательная способность приводит к очень быстрому затуханию, так что число колебаний не превышает двух или трех; несмотря на это, всякий раз, когда он возбуждается, можно извлечь искры почти из всех находящихся в этом зале проводников удлиненной формы.

Расположенный соответствующим образом газовый рожок может быть зажжен при помощи такой индуцированной искры. Предохранитель Абеля, соединяющий газовую и водопроводную трубы, перегорает. Ни с чем не соединенные вакуумные трубки светятся (этот последний факт хорошо известен с 1889 г. всем, работавшим с волнами Герца) между электрическими вводами, расположенными на небольшом расстоянии друг от друга, — например, как в цоколях некоторых ламп накаливания — может происходить искрение, вызывающее появление дуги и тогда предохранители расплавляются.

Перегорание предохранителей в результате электрического излучения часто наблюдалось в ливерпульской аудитории и прекратилось лишь после того, как подвеска ламп была изменена.

Я продемонстрирую возбуждение дуги в результате маленьких наведенных искр между двумя угольными остриями, соединенными с 100-вольтовой проводкой.

Некоторые полагают, что вспышки молнии не могут вызывать таких вторичных явлений. Они ошибаются.

<...>

Микрофонные детекторы

Приемники или детекторы, которые я пока назову микрофонными, обладают свойством лучше откликаться на более быстрые колебания. Их чувствительность меня поражает, хотя она не может, конечно, идти в сравнение с чувствительностью глаза. Вместе с тем я не уверен, что глаз отличается от них по существу. На этих детекторах я и хотел бы особенно остано-

вить ваше внимание.

Профессор Минчин, долговременные и тщательные исследования которого в области фотоэлектрических явлений стали ныне известны, изобрел прибор, чувствительность которого к излучению превосходит даже чувствительность радио-микрометра Бойса, поскольку он отвечает даже на излучение звезд, чего последний не в состоянии сделать. Несколько лет тому назад он заметил, что некоторые из его возбуждаемых светом ячеек без видимой закономерности утрачивали свою чувствительность при постукивании. Впоследствии он обнаружил, что чувствительность часто снова возвращалась, если г-н Грегори производил в том же помещении опыты с волнами Герца.

Эти «импульсные ячейки», как он их называет, доставляют много хлопот тем, кто их изготавливает и работает с ними (по крайней мере я никогда не отваживался на это), но в руках г-на Минчина они оказываются необычайно чувствительными к электрическим волнам¹.

Чувствительность селена к свету хорошо известна, а г-н Шелфорд Бидвелл [Shelford Bidwell] произвел ряд опытов над колебаниями проводимости смеси серы и угля.

Четыре года тому назад г-н Эдуард Бранли нашел, что полированный слой измельченной меди, нанесенный на стекло, в колоссальной степени уменьшает свое сопротивление (от нескольких миллионов до нескольких сот омов), когда он находится даже в отдаленном соседстве с искрами катушки или лейденской банки. Он нашел также, что трубочка, наполненная металлическими опилками, ведет себя подобным же образом, с той только разницей, что опилки вновь становятся проводящими при встряхивании трубочки. Этот опыт был недавно продемонстрирован г-ном Крофтом на заседании Физического общества. Бранли делал также пасты и твердые стержни из опилок, смешанных с канадским бальзамом и серой, причем они обнаруживали такие же свойства².

Я столкнулся с этим вопросом в несколько иной связи, а именно — в результате работы с детектором с воздушным промежутком, который был применен Больцманом в сочетании с электроскопом. В 1889

¹ *Phil. Mag.*, 26, 229, 230 (1888); или «Громоотводы и грозозащитные устройства» (Whittaker), стр. 104, 105; также *Proc. Roy. Soc.*, I, p. 27.

² Строго говоря, никакого отставания или разности фаз между электрическими и магнитными колебаниями не существует. Разность фаз имеет место в излучателе или в поглотителе, но не в передающей среде. Настоящее излучение энергии начинается лишь на расстоянии приблизительно в четверть длины волны от источника и в пределах этого расстояния исчезает начальная разность фаз в четверть периода.

году я сделал наблюдение, что два шарика, расположенные достаточно близко один от другого, но еще настолько раздвинутые, чтобы выдерживать напряжение, скажем, на электроскопе, при пропускании между ними искры фактически приходят в соприкосновение, причем проводят ток, достаточный для обычного звонка, при наличии в цепи одного элемента Вольты. В отсутствие элемента они обнаруживают наличие собственной электродвижущей силы, достаточной для того, чтобы вызвать значительное отклонение гальванометра. Иногда для разделения шариков оказывалось необходимым применение некоторого, правда очень незначительного, усилия. Это явление было доложено на заседании Института инженеров-электриков¹. Проф. Юз - заявил, что он наблюдал подобное же явление.

*Когерер в разомкнутой цепи отвечает на слабые стимулы.
Небольшой шар, зажигалка для газовых рожков,
шар, находящийся на расстоянии, электрофор*

Этот прибор, который я называю когерером, удивительно чувствителен как детектор герцевских волн. Он отличается от настоящего разрядника тем, что в нем изолирующая прослойка в действительности не является изолятором; эта прослойка пробивается не только гораздо легче, чем воздушный промежуток, но и менее внезапно, более постепенным образом. Трубочка, наполненная опилками, которая представляет собой последовательность плохих контактов, действует приблизительно так же и, хотя она, несомненно, менее чувствительна, она обладает все же многими преимуществами. Работать с ней гораздо легче, а кроме того, за исключением случаев крайне слабого возбуждения, она гораздо более пригодна для получения количественных результатов. Если трубочка наполнена более грубыми опилками, например стружками от сверла или токарного станка, то она приближается к единичному когереру (контакту); если же опилки более тонки, то чувствительность трубочки приобретает более широкий диапазон изменения. В обоих случаях эти приемники воспринимают только внезапные скачки тока, плавные синусообразные колебания на них не действуют. Мне кажется, что

¹ См. *Nature*, v. 41, p. 368, или Дж. Дж. Томсон «Recent Researches», стр. 395.

они всего лучше откликаются на волны длиной в несколько дюймов, хотя, несомненно, здесь играют определенную роль размеры того проводника, с которым они соединены.

<...>

Переносный детектор

Я продемонстрирую также небольшой, но содержащий все необходимое детектор, который легко устанавливается и переносится с места на место, сконструированный моим помощником г-ном Дэвисом [Davies]. Все необходимые части помещаются внутри небольшого медного цилиндра размером в три дюйма на два. Кусочек проволоки длиной в несколько дюймов, воткнутый в него, служит для улавливания волн. Возможно, что когда-нибудь в отдаленном будущем при помощи введения золотых проволочек или порошка в сетчатку глаза люди смогут видеть волны, пока еще не доступные нашему зрению.

Обратите внимание на ту простоту, с которой в настоящее время можно возбуждать и улавливать волны Герца. Они возбуждаются при помощи электрофора или машины с трением; вольтов элемент, грубый гальванометр и плохой контакт служат для их обнаружения. Наблюдение их было возможно уже в начале этого столетия, еще до изобретения гальванометра. Для этого достаточно было бы лягушачьей лапки или пятна йода на лакмусовой бумаге.

Плохой контакт считался до сего времени нежелательным явлением ввиду особенно неопределенного и нерегулярного характера проходящего через него тока. Однако Юз заметил его чувствительность к звуковым волнам, и он превратился в микрофон. Теперь оказывается, что, будучи сделан из какого-нибудь металла, поддающегося окислению, он чувствителен также и к электрическим волнам, превращаясь, таким образом, в инструмент, который можно назвать «микро-что-то» [micro-something] и который, благодаря тому, что его действие вызывается сцеплением [cohesion], я пока называю когерером. Возможно, что иногда капризы плохого контакта, осыпаемого проклятиями, объяснялись его реакцией на случайное электрическое излучение.

Нарушение сцепления путем механических сотрясаний — давно известный процесс, который часто наблюдается инженерами на железнодорожных осях и балках. На днях, наблюдая разрушение не-

больших железных балок при помощи настойчивых ударов молота по зубилу, я вспомнил постукивания, при помощи которых наши когереры возвращаются в прежнее состояние, после того как они были подвергнуты сваривающему действию электрического импульса.

<...>

Поляризующие и анализирующие решетки

Поляризационные опыты весьма несложны. Излучение шара само по себе сильно поляризовано, а трубка действует в качестве частичного анализатора, реагируя гораздо сильнее, когда она параллельна направлению искры, чем в том случае, когда их направления взаимно перпендикулярны. Удобный тип добавочного поляризатора представляет собой проволочная решетка вроде той, которую применял Герц, но только значительно меньшего размера, например, 18-дюймовая восьмиугольная рамка из медных полосок с параллельными медными проволоками. Если направление искрового промежутка излучателя установлено под углом в 45° , то решетка, поставленная вертикально перед приемником, уменьшает отклонение приблизительно вдвое, а поставленная перед излучателем вторая решетка, перпендикулярная к первой, сводит отклонение на нет.

Небольшой поворот какой-либо из этих решеток тотчас же увеличивает эффект, который достигает максимума при параллельном положении решеток. Установка между двумя скрещенными решетками третьей, проволоки которой направлены под углом в 45° по отношению к первым, частично восстанавливает эффект.

Излучение, отражаемое от решетки, сильно поляризовано, конечно, в плоскости, перпендикулярной к плоскости поляризации излучения, прошедшего через решетку. В этом действие решеток сходно с действием николей или стеклянной стопы.

Электрические колебания, прошедшие через эти решетки, направлены под прямым углом к проволокам. Колебания, параллельные проволокам, отражаются или поглощаются.

<...>

Так, некоторые догадки гения могут быть проверены и сделаны очевидными для рядового человека.

II. ИЗОБРЕТЕНИЕ РАДИО (1894–1895)

Из протокола заседания Физического отделения
Русского физико-химического общества
о докладе А. С. Попова

«ОБ ОТНОШЕНИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ К ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ КОЛЕБАНИЯМ»¹

25 апреля 1895 г.

*«За болезнью Ф. Ф. Петрушевского председательствует
на заседании проф. И. И. Боргман.*

...3. А. С. Попов сделал сообщение «Об отношении металлических порошков к электрическим колебаниям»². Исходя из опытов Бранли, докладчик исследовал резкие изменения в сопротивлении, испытываемые металлическими порошками в поле электрических колебаний. Пользуясь высокой чувствительностью металлических порошков к весьма слабым электрическим колебаниям, докладчик построил прибор, предназначенный для показывания быстрых колебаний в атмосферном электричестве. Прибор состоит из стеклянной трубки, наполненной металлическим порошком и введенной в цепь чувствительного реле. Реле замыкает ток батареи, приводящей в действие электрический звонок, расположенный так, что молоточек его ударяет и по чашке звонка и по стеклянной трубке.

¹ [2, С. 50–51. Там же приведен источник: {ЖРФХО, т. XXVII, вып. 8, ч. физ., стр. 259, 1895}]. {Название этого сообщения А. С. Попова является в значительной мере условным. В докладе, опубликованном в ЖРФХО (док. 23), А. С. Попов замечает: «само по себе явление не было предметом моего исследования»}.

² [Первое публичное сообщение А. С. Попова об изобретении им прибора для обнаружения и регистрации электрических колебаний].

Когда прибор находится в поле электрических колебаний или соединен с проводником, находящимся в сфере их действия, то сопротивление порошка уменьшается, реле замыкает ток батареи и приводит в действие звонок; уже первые удары звонка по трубке восстанавливают прежнее большое сопротивление порошка и, следовательно, приводят снова прибор в прежнее, чувствительное к электрическим колебаниям состояние. Предварительные опыты, произведенные докладчиком с помощью небольшой телефонной линии в г. Кронштадте, показали, что воздух действительно иногда подвержен быстрым переменам его потенциала. Основные опыты изменения сопротивления порошков под влиянием электрических колебаний и описанный прибор были показаны докладчиком. Замечания сделали Ф. Я. Капустин и А. Л. Гершун...»

А. С. Попов
Прибор для обнаружения
и регистрирования электрических колебаний¹

Содержание настоящей статьи в главной своей части было предметом сообщения в апрельском собрании Физического отделения нашего Общества; теперь прибавлены только результаты испытаний предложенного мною прибора, сделанных в Лесном институте Г. А. Любославским, и некоторые опыты, произведенные с целью выяснения как явления, лежащего в основании устроенного прибора, так и условий действия самого прибора. В начале текущего года я занялся воспроизведением некоторых опытов Лоджа² над электрическими колебаниями с целью пользоваться ими на лекциях; но первые же попытки показали мне, что явление, лежащее в основе этих опытов, — изменение сопротивления металлических опилок под влиянием электрических колебаний — довольно непостоянно; чтобы овладеть явлением, пришлось перепробовать несколько комбинаций. В результате я пришел к устройству прибора, служащего для объективных наблюдений электрических колебаний, пригодного как для лекционных целей, так и для регистрирования электрических пертурбаций, происходящих в атмосфере. Попутно я сделал некоторые опыты с целью выяснения основного явления, но оговариваюсь, что само по себе явление не было предметом моего исследования.

¹ [1, С. 449–458. Там же приведен источник: {Журн. русск. физ.-хим. об-ва, часть физ., вып. 1, 1 (1896)}. В 2, с. 70, приведены и др. публикации: {Эта же статья напечатана с небольшими изменениями в журналах «Электричество», 1896, № 13–14, «Метеорологический вестник», 1896, № 3, а также вышла отдельным изданием (оттиск из «Метеорологического вестника»); рефераты этой статьи были также помещены в иностранных журналах: «Journal de Physique théorique et appliquée», 3-e serie. Paris, 1897, t. VI, p. 602; «L'Eclairage électrique». Paris, 1897, 11 decembre, t. XIII, № 50, p. 524; «Die Fortschritte der Physik des Aethers». Braunschweig, 1896, Abt. 2, S. 387–388}].

² O. I. Lodge. The Work of Hertz. «The Electrician», v. XXXIII.

В 1891 г. Бранли открыл, что тонкие слои металла, осажденные на стекле, эбоните и т. п., а также металлические порошки обладают способностью мгновенно изменять свое сопротивление электрическому току, если вблизи их произойдет разряд электрофорной машины или индукционной катушки.

Не столь значительно, но все-таки заметно изменяется сопротивление порошка, если временно будет через него пропущен ток батареи из большого числа элементов. Сопротивление под влиянием разряда вообще уменьшается, хотя существуют исключения; тонкий слой платины (платиновое зеркало) иногда увеличивает сопротивление¹. Эти свойства порошка сохраняются, если порошок будет помещен в непроводящей жидкости, канадском бальзаме (Бранли) или даже в таких средах, как почти сухой коллодион и желатина (Минчин)², или в гуттаперче (Аппльярд)³.

Механические сотрясения возвращают снова опилкам прежнее состояние, характеризующееся большим сопротивлением. Действие разряда опять может уменьшить его, и снова встряхиванием можно получить прежние величины сопротивления.

Минчин, а затем Лодж применили эти свойства металлических порошков к обнаружению герцевых электрических лучей⁴; а в последнее время Бернацкий⁵ описал опыты в форме, более близкой к герцевым.

Причину явления Бранли видит в том, что в момент разряда все близлежащие, почти не прикасающиеся между собой зерна порошка заряжаются как конденсаторы и благодаря взаимному притяжению наступает лучшее прикосновение между ними. Действительно, изменение сопротивления от электрического колебания — того же знака и порядка, какое можно получить прессованием порошка. Минчин, основываясь на том, что в его опытах подвижность отдельных зерен была стеснена и чувствительность при высыхании желатины убывала, объясняет уменьшение сопротивления молекулярным движением — изменением расположения молекул, подвергшихся действию электромагнитного возмущения (rearrangement of the

¹ E. B r a n l y. *Comptes Rendus*, v. CXI и CXII.

² G. M. Minchin. *The Philosophical Magasin*, v. 37.

³ R. Appleyard. Там же, стр. 38.

⁴ См. цитированные выше статьи.

⁵ *Wied. Ann.*, Bd. 55, 599, 1895.

molecules). Лодж, имея в виду ранее известные факты, что отдельные капли в струе жидкости и даже две отдельные, но близкие струи соединяются между собой¹ под влиянием даже слабых электрических сил, и принимая во внимание аналогичное явление — уничтожение тумана и дыма электризацией, считает возможным объяснить подобным образом и способность порошков к уменьшению сопротивления под действием электрических сил. Лодж предполагает, что близлежащие частицы, когда к действующей между ними силе частичного притяжения присоединяется еще электрическая сила, окончательно соединяются между собой и наступает то явление, которое в физике характеризуется словом «сцепление» (cohesion). Позднее в своей лекции «The Work of Hertz» он для характеристики механизма явления, между прочим, употребляет фразу: «it is a singular variety of electric welding», т. е. уподобляет связь, образующуюся в порошке, электрическому свариванию. Я, со своей стороны, разделяю последний взгляд Лоджа, придавая более значения слову «сваривание», чем то делает Лодж. Я подразумеваю именно под словом «сваривание» возможность образования в порошке нитей сплошного металла по линиям происшедшего разряда, причем способность различных металлов к свариванию, понимаемому в буквальном смысле, стоит в некотором соотношении к чувствительности порошков, как то будет видно из опытов, описанных ниже.

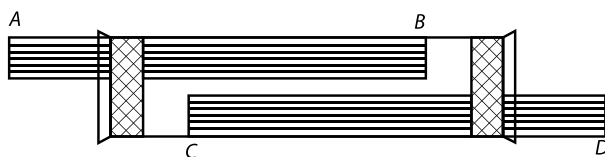
Прежде всего я пожелал дать такую форму прибору с опилками, чтобы иметь возможное постоянство чувствительности. При этом, руководясь высказанным взглядом на явление, надо было испытывать такое расположение частей цепи, содержащей опилки, чтобы увеличить шансы образования нитей металла по линиям тока. Лучшие результаты получились в следующих комбинациях.

1) Внутри стеклянной трубки длиной около 7 см и диаметром около 1 см сквозь пробки натянута две параллельные проволоки, не касающиеся между собой. Опилки насыпаны в трубку так, что они только немного ее не заполняют. Эта форма прибора очень удобна для опытов с грубым гальванометром и разрядом электрофора. Наклоном трубки можно регулировать величины сопротивления, так как в вертикальном положении порошок спрессовывается своим весом.

¹ O. J. Lodge. «On the Sudden Acquisition of Conducting — Power by a Series of Discrete Metallic Particles». *Phil. Mag.*, vol. 37.

2) Железные опилки, висящие на маленьком прямом магните в виде кисти, опирающейся на металлическую пластинку или чашку. В этом случае нити опилок уже образованы магнитными силами и электрический разряд только дает им проводимость. Подобная форма, как я потом узнал, была с успехом применена к измерительным опытам.¹

3) Наиболее удачная форма по значительной чувствительности, при достаточном постоянстве, выполнена следующим образом. Внутри стеклянной трубки, на ее стенках, приклеены две полоски тонкой листовой платины *AB* и *CD* почти во всю длину трубки (см. фиг. 1).



Фиг. 1

Одна полоска выведена на внешнюю поверхность с одного конца трубки, другая — с противоположного конца. Полоски платины своими краями лежат на расстоянии около 2 мм при ширине 8 мм; внутренние концы полосок *B* и *C* не доходят до пробок, закрывающих трубку, чтобы порошок, в ней помещенный, не мог, набившись под пробку, образовать неразрушаемых сотрясениями проводящих нитей, как то случалось в некоторых моделях. Длина всей трубки достаточна в 6—8 см при диаметре около 1 см. Фиг. 1 представляет разрез трубки по диаметральной плоскости.

Трубка при своем действии располагается горизонтально, так что полоски лежат в нижней ее половине и металлический порошок вполне покрывает их. Однако лучшее действие получается в том случае, если трубка наполнена не более чем наполовину.

Во всех опытах как на величину, так и на постоянство чувствительности влияют размеры зерен металлического порошка и вещество его. Наилучшие результаты получаются при употреблении железного порошка, известного в продаже под названием «*ferrum pulveratum*»; железо, известное под названием «*ferrum, hydrogenio reductum*», дает

¹ Реферат в 1 вып. «Журнал Русск. физ.-хим. об-ва» (1895, стр. 17).

слишком большие величины сопротивления; более крупные опилки дают по временам очень большую чувствительность, но не постоянную. Довольно удовлетворительные результаты получаются с медным порошком, полученным восстановлением накаливаемого порошка окиси меди метиловым спиртом. Металлические опилки свеженапиленные не годятся для опытов вследствие того, что имеют очень малое сопротивление; существование тонкого слоя окисла, по-видимому, необходимо для резкого изменения сопротивления.

Первая и третья формы прибора были употребляемы мною в опытах, служащих, как мне кажется, некоторыми аргументами в пользу поддерживаемого мной взгляда на явление. Желая получить более однообразия в строении порошка, я взял вместо опилок мелкую дробь, оказалось, что она представляет слишком большие величины сопротивления и не обнаруживает чувствительности к разряду, даже сильному и проходящему непосредственно через трубку. Поверхность этой дроби имела блестящий черный цвет, я освежил ее, встряхивая дробь в сосуде, стенки которого были покрыты стеклянной шкуркой; тогда дробь, помещенная в трубке с проволоками, давала сопротивления в десятки тысяч омов, но от разряда теряла проводимость, т. е. сопротивление трубки возрастало за 100 000 ом. Другого сорта дробь, поверхность которой имела вид графита, давала лучшую проводимость и всегда изменяла сопротивление в сторону уменьшения его. Первый сорт дроби содержал сурьму, сплав был жесткий; второй сорт был почти из чистого свинца.

Получив такой результат с дробью, я взял для испытания порошок истолченной сурьмы; как и другие свежеприготовленные порошки, он обладал очень большой проводимостью, но, будучи окислен нагреванием, он приобрел особенные свойства по отношению к разряду — его состояние было совершенно неустойчиво: сопротивление от разряда то увеличивалось, то уменьшалось. Случалось и так, что проводимость, приобретенная порошком от электрического колебания, при следующем разряде исчезала; только очень энергические разряды в слегка спрессованном порошке давали однообразный результат — именно уменьшение сопротивления.

Эти опыты, а также опыт с платиновым слоем (Бранли) и совершенная нечувствительность к разрядам угольного порошка (Лодж) при сопоставлении с опытами Спринга над свариванием раз-

личных металлов¹ при низких температурах наводят на мысль, что в порошках под влиянием разряда происходит связь между частицами такого же характера и от подобных же причин, как и в опытах Спринга над свариванием металлов. Сурьма оказывается неспособной к свариванию при температурах ниже плавления; платина сваривается с трудом и только при очень высоких температурах, а уголь сваривается только в вольтовой дуге.

В момент разряда через слабые контакты прикасающиеся частицы могут нагреться (т. е. получить значительные приращения в живой силе), несмотря на очень малую энергию разряда, потому что эта энергия выделяется мгновенно в весьма малом объеме вещества и как тепловая энергия, медленно рассеивается.

Для проверки такого взгляда я сделал еще опыт с окисью меди; порошок зернистой окиси меди был помещен между двух серебряных монет и для увеличения проводимости сжат; он оказался, как и следовало ожидать, нечувствительным к разряду; по крайней мере, его сопротивление не изменялось более 0,5%, каковое изменение при моих опытах можно было ясно заметить. Далее я испытал еще порошок медного колчедана (сернистая медь и железо) и случайно имевшийся у меня продукт, имеющий в металлургии название «белого штейна» и содержащий главным образом сплавленную сернистую медь, — значит, способный плавится, но в то же время хрупкий и с кристаллическим строением. Эти порошки в трубке с платиновыми листочками обнаружили чувствительность: сопротивление их убывало, но амплитуда изменения при прочих равных условиях была значительно менее: сопротивление их изменялось в 2—3 раза под действием таких разрядов, под влиянием которых железные опилки меняли проводимость в 10—100 раз.

Отрицательные свойства платинового зеркала и порошка сурьмы мне кажутся понятными с этой точки зрения; слабые связи могут быть разрушены искрой и даже механическими силами, которыми сопровождаются энергические колебания в порошкообразной массе. По всей вероятности, отрицательные свойства можно придать значительным окислением поверхности и медному и железному порошкам, потому что в этих условиях образование сплошной нити металла будет затруднено, а дальнейшее окисление возможно.

¹ W. Spring. *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, v. XV, 65, 1894.

Ограничиваясь описанием этих опытов, я опускаю различные попытки устроить прибор с достаточным постоянством чувствительности при малом числе контактов (цепочки, комбинации, аналогичные микрофонам, и т. п.); в подобных формах приборы могут достигать чувствительности, значительно превосходящей трубки с опилками, но постоянства чувствительности я пока не мог добиться.

Чтобы покончить с основным явлением, надо упомянуть еще о последних работах, касающихся этого явления. Ашкинас¹ нашел, что решетка, сделанная из тонкого листового олова, изменяет сопротивление на 2% от электрического колебания, и, казалось, надо было признать за электрическими колебаниями способность изменять строение проводников по крайней мере в поверхностном слое, но работы Хага² и Мицуно³ опровергают этот взгляд и сводят явления, наблюдаемые Ашкинасом, к разряду только что рассмотренных нами явлений. Добившись удовлетворительного постоянства чувствительности при употреблении трубки с платиновыми листочками и железным порошком, я поставил себе еще другую задачу: добиться такой комбинации, чтобы связь между опилками, вызванная электрическим колебанием, разрушалась немедленно автоматически.

Такая комбинация, конечно, удобнее, потому что будет отвечать на электрические колебания, повторяющиеся последовательно одно за другим. После некоторых попыток воспользоваться движением рамки гальванометра Д'Арсонваля для сотрясения трубки с опилками я пришел к более простым и верным средствам: употреблению вместо гальванометра телеграфного реле и обыкновенного звонка, как для объективного обнаружения действия электрического колебания на опилки, так и для разрушения проводимости опилок. Таким образом, был комбинирован прибор, к описанию которого я и перейду.

Прилагаемая схема (фиг. 2) показывает расположение частей прибора. Трубка с опилками подвешена горизонтально между зажимами *M* и *N* на легкой часовой пружине, которая для большей

¹ E. Aschkinass. *Verh. d. Phys. Gesellsch. zu Berlin. Jahr.* 13, No 4.

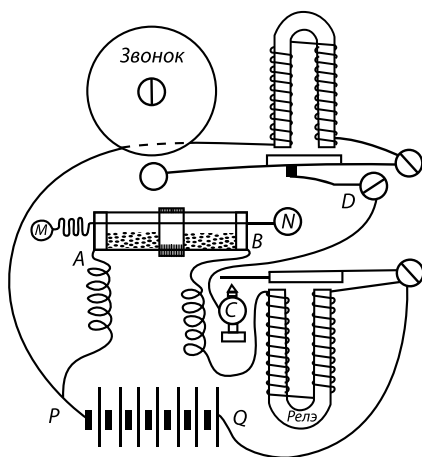
² H. Haga. *Wied. Ann.*, Band 56, p. 571, 1895.

³ T. Mizuno. *Phil. Mag.*, v. 40, p. 497, 1895.

эластичности согнута со стороны одного зажима зигзагом. Над трубкой расположен звонок так, чтобы при своем действии он мог давать легкие удары молоточком посредине трубки, защищенной от разбивания резиновым кольцом. Удобнее всего трубку и звонок укрепить на общей вертикальной дощечке. Реле может быть помещено как угодно.

Действует прибор следующим образом. Ток батареи в 4—5 в постоянно циркулирует от зажима *P* к платиновой пластинке *A*, далее через порошок, содержащийся в трубке, к другой пластинке *B* и по обмотке электромагнита реле обратно к батарее. Сила этого тока недостаточна для притягивания якоря реле, но если трубка *AB* подвергнется действию электрического колебания, то сопротивление мгновенно уменьшится, и ток увеличится настолько, что якорь реле притянется.

В этот момент цепь, идущая от батареи к звонку, прерванная в точке *C*, замкнется, и звонок начнет действовать, но тотчас же сотрясения трубки опять уменьшат ее проводимость, и реле разомкнет цепь звонка. В моем приборе сопротивление опилок после сильного встряхивания бывает около 100 000 ом, а реле, имея сопротивление около 250 ом, притягивает якорь при токах от 5 до 10 ма (пределы регулировки), т. е. когда сопротивление всей цепи падает ниже тысячи ом. На одиночное колебание прибор отвечает коротким звонком; непрерывно действующие разряды спирали отзываются довольно частыми, через приблизительно равные промежутки следующими звонками.



Фиг. 2

Чувствительность прибора можно характеризовать следующими опытами:

Прибор отвечает на разряды электрофора через большую аудиторию, если параллельно направлению разряда провести от точки *А* или *В* проволоку длиной около 1 м для увеличения энергии, достигающей опилок.

В соединении с вертикальной проволокой длиной в 2,5 м прибор отвечал на открытом воздухе колебаниям, произведенным большим герцевым вибратором (квадратные листы 40 см в стороне) с искрой в масле, на расстоянии 30 сажен.

Помещенный в цинковом замкнутом чехле прибор не отвечает на разряды, происходящие в непосредственном соседстве, даже и на искры между чехлом и кругом электрофора, но если вывести из чехла изолированную проволоку, соединенную с точкой *А* или *В*, то при конце, выдающемся из чехла на 10—15 см, прибор отвечает на колебания, производимые маленькими вибраторами Риги, Лоджа и т. п. на расстоянии 3—5 м; удлинение внешней части проволоки значительно увеличивает чувствительность.

Прибор очень чувствителен к разрядам между проводниками, находящимися в непосредственном металлическом соединении с цепью, содержащей трубку с опилками. Так, если соединить точку *А* или *В* со штифтом разрядного электроскопа, то прибор отвечает на всякий разряд листочков, происходящий при заряде электроскопа 300 в. Непосредственные разряды кружка или шарика, заряжаемых сухим столбом, дающим около 500 в, вызывают звонок при энергии заряда, меньшей 5 эрг.

Прибор отзывается на искру, образующуюся в момент перерыва в посторонней цепи, если эта цепь металлически соединена с цепью, содержащей опилки, например, если замыкать элемент Гренэ проволокой от зажима к зажиму и провести от одного зажима к точке *А* недлинный проводник. Если размыкаемая цепь содержит электромагнит, то действие искры размыкания может быть передано к прибору по весьма длинной проволоке. Самоиндукция и емкость в проводнике, передающем колебание, конечно, значительно ослабляют переданную энергию; поэтому искры в перерывах цепи звонка в точках *С* и *Д* действуют на трубку с опилками, но слабо, искра в *Д* даже не имеет значения, потому что в момент разрушения проводи-

мости опилок контакт в точке D замкнут. По этой причине расположение частей прибора, показанное выше, кажется единственным; при других расположениях легко может случиться неудача в том смысле, что проводимость, разрушенная ударом молоточка, восстановится под действием искры, происходящей в самом приборе, и звонок не прекратит звона.

Прибор, введенный на место телефона в одну из свободных линий на центральной станции, не отзывался ни на звонки, ни на разговорные токи соседних линий, ясно слышимые в телефоне, если последний ставили на месте моего прибора. Иногда он отвечал на короткие звонки, означающие конец разговора, и в момент подвешивания телефона на место в одной из соседних линий, но в эти моменты в цепях могли произойти быстрые колебания от образовавшейся искры.

По-видимому, прибор чувствителен и к медленным разрядам, проходящим через опилки, но только при более значительных энергиях: так, прибор отзывается на быстрые движения наэлектризованной эбонитовой палочки, производимые вблизи проводников самого прибора, но медленные движения на него не действуют. Ток, наведенный во вторичной обмотке индукционной спирали размыканием, при разряде через опилки непосредственно или с конденсатором, последовательно включенным в эту же цепь, всегда действует на опилки, вызывая достаточное уменьшение сопротивления; ток же, наведенный замыканием, действует заметно слабее, нерешительно. Подобный эффект, впрочем, согласуется с гипотезой, принятой мною выше. Прибор действует от разряда круга электрофора, в мокрый шнурок, около 1 м длиной, подвешенный к точке A или B , если шнурок смочен подкисленной водой, и не отзывается, если шнурок смочен дистиллированной водой.

В результате этих опытов можно сделать допущение, что всякий разряд через опилки может вызвать эффект уменьшения сопротивления, но величина эффекта зависит не от абсолютной величины энергии, выделенной в металлическом порошке, а от энергии, выделяемой в единицу времени, вернее — от быстроты выделения энергии, или от величины отношения энергия/время. Поэтому опилки более чувствительны к быстрым колебаниям при одинаковой величине энергии.

Прибор, обладающий такой чувствительностью, может служить для различных лекционных опытов с электрическими колебаниями и, будучи закрыт металлическим футляром, с удобством может быть приспособлен к опытам с электрическими лучами; во многих подобных опытах прибор, имеющийся в моем распоряжении, обладает излишней чувствительностью. Однако благодаря тому, что реле может изменять чувствительность в некоторых пределах, а также меняя число элементов батарей, желаемую степень чувствительности получить легко.

Другое применение прибора, которое может дать более интересные результаты, будет его способность отмечать электрические колебания, происходящие в проводнике, связанном с точкой *A* или *B* (на схеме), в том случае, когда этот проводник подвергается действию электромагнитных пертурбаций, происходящих в атмосфере. Для этого достаточно прибор, защищенный от всяких других действий, связать с воздушным проводом, проложенным вдали от телеграфов и телефонов, или же со стержнем громоотвода. Всякое колебание, переходящее за известный предел по своей интенсивности, может быть отмечено прибором и даже зарегистрировано, так как всякое замыкание контакта реле на схеме в точке *C* может привести в действие, кроме звонка, еще электромагнитный отметчик. Для этого достаточно один конец его обмотки присоединить между точками *C* и *D*, а другой — к зажиму батареи *P*, т. е. включить электромагнит в цепь параллельно звонку.

Испытание прибора в соединении с воздушной линией значительной длины даст несомненно более или менее интересные результаты. Лично мне случалось в течение одного лета на Урале¹ пользоваться удаленной от других телефонной линией, при этом в телефоне, когда бы ни пришлось взять его в руки, можно было слышать особенные ритмические звуки, а также очень часто шипение, свист и треск разряда; по свидетельству лиц, пользующихся этой линией, эти звуки слышны не только летом (я наблюдал их с мая по сентябрь), но и зимой; только зимой звуки менее вредят передаче речи, летом же иногда передача речи затрудняется ими.

¹ Линия тянулась на протяжении 15 верст с запада на восток, вдоль горного отрога Урала, в Богословском округе.

Пробное испытание регистрирующего прибора в соединении с громоотводом было сделано минувшим летом Г. А. Любославским в Лесном институте в С.-Петербурге.

На здании института среди других приспособлений, назначенных для наблюдений над направлением и силою ветра, была установлена небольшая, деревянная мачта, превышающая сажени на 4 стержни анемометров и флюгеров и снабженная на вершине обыкновенным наконечником громоотвода. Этот наконечник помощью проволоки, проведенной сначала по дереву мачты, а далее протянутой через двор на изоляторах в метеорологический кабинет, был соединен с прибором в точке А (фиг. 2). Точка В была присоединена к общему с другими метеорологическими приборами проводу, отведенному к земле при посредстве водопроводной сети. Регистрирующая часть состояла из электромагнита, к якорю которого было присоединено перо братьев Ришар, и из цилиндра той же фирмы с недельным оборотом. При этом оказалось, что прибор отвечал звонком и отметкой на всякое замыкание тока при наблюдении направления и силы ветра, потому что в сети проводников, соединенной с прибором общим проводом, идущим к земле, возбуждались в момент перерыва тока электрические колебания. Чтобы отличить эти отметки от других, произведенных атмосферным электричеством, наблюдатели, вызвавшие звонок, делали запись на цилиндре; это побочное действие на прибор было, однако, сохранено для того, чтобы быть уверенным в его исправности.

Прибор в пробном, не совсем исправном виде приводился в действие в последних числах июля н. ст., и затем в последних числах августа н. ст. и дал следующие результаты.

30 июля н. ст. По записям Главной физической обсерватории — гроза с 10^h40^m до 11^h40^m; по записи обсерватории Лесного института — гроза около 1 часа дня. Прибор дал ряд сливающихся между собой отметок, непрерывно следующих друг за другом на протяжении 40 мин. в пределах от 12 до 1 часа дня.

21 августа н. ст. На Главной физической обсерватории записано: гроза от 4^h50^m до 5^h50^m р. м. при ближайшем расстоянии 3 км в 5^h17^m и гроза от 8^h37^m до 9^h10^m вечера, ближайшее расстояние в 8^h40^m. Гроза записана наблюдателями Лесного института и зарегистрирована прибором рядом непрерывно следующих отметок с 4^h50^m до 8^h50^m вечера; в течение ночи прибор дал еще несколько отметок.

23 августа н. ст. Прибор дает непрерывную запись в 1^h15^m, продолжающуюся 25 мин., и другую запись после 9^h вечера продолжительностью 1 час 20 мин. Отметок о грозе и дожде не сделано *наблюдателями Лесного института.*

25 августа. Записи на приборе: 5^h45^m утра — продолжительность 20 мин.; отметки в 9^h10^m, в 10^h0^m, почти непрерывная запись от 10^h25^m а. т. до 7^h45^m р. т. В этот день отмечен дождь до полудня, в час дня и после полудня. По свидетельству студента-наблюдателя, в течение всего дня прибор давал звонки через 5—10 мин. Г. А. Любославский отсутствовал в этот день; по его наблюдению, этот день был жаркий, с большим количеством кучевых облаков. На Главной физической обсерватории отметок о грозе нет.

26 августа. Прибор дает отметки 4^h35^m утра, 5^h10^m утра, 8^h25^m вечера и 9^h45^m вечера; есть отметки наблюдателя о дожде ранним утром.

28 августа. Отметки: 9^h0^m утра и 12^h5^m; на последней отметке разбилась стеклянная трубка, содержащая опилки; в 12 час. отмечен наблюдателем дождь.

Прибор был снова приведен в действие в конце сентября старого стиля с изменением в регистрирующей части: недельный цилиндр заменен двенадцатичасовым, и запись делается на телеграфной ленте, наматывающейся на цилиндр. Скорость перемещения ленты при этом 23 мм в час; на ленте легко различить часто следующие друг за другом штрихи. Прибор стоит на прежнем месте, не защищен от действий на него метеорологических приборов, пользующихся электрическим током, и случайных разрядов при работах в физическом кабинете; поэтому, рассматривая записи прибора по часам, можно считать за несомненно происходящие от атмосферных разрядов только некоторые. Не подлежат сомнению отметки, сделанные в период времени от 11 час. ночи до 7 час. утра, так как в течение этого времени кабинет, в котором помещается прибор, и все соседние помещения здания закрыты. Такие отметки прибора существуют, например, 6 октября в 12 час. 45 мин. ночи и 5 час. утра.

В этом периоде можно отметить сутки 24—25 сентября. Двадцать четвертого сентября — день воскресный, кабинеты закрыты. 24 сентября есть отметки 8^h51^m утра и 5^h0^m, 5^h45^m, 6^h0^m вечера, в 5^h утром следующего дня и 9^h25^m утра. Отметки вечером 24 сентября были ожидаемы: я с Г. А. Любославским в это время находил-

ся в Петербурге, и Г. А., указав мне на резко очерченные облака, сходные по форме с грозowymi тучами, заметил, что очень любопытно — будет ли присутствие этих облаков отмечено прибором; позднее вечером этого дня был очень сильный дождь, имеющий характер летних ливней.

В половине октября испытания были прекращены вследствие необходимости некоторых изменений в пробном экземпляре. До сих пор работавшая при испытаниях батарея из 4 элементов Лекланше истощилась. В настоящее время прибор снова приведен в действие с батареей в 6 элементов Мейдингера.

При опытах с прибором в летний период необходимо, конечно, параллельно трубке с опилками ввести для безопасности гребенчатый громоотвод.

Кроме этого, считаю нужным прибавить еще некоторые замечания о регулировке собранного прибора. Звоник нужно урегулировать так, чтобы молоточек имел наибольший размах, а трубка с опилками должна быть помещена на такой высоте, чтобы она только что касалась молоточка, находящегося в покое, но не следовала за ним под действием своей пружины.

При таких только условиях прибор отвечает отчетливо — коротким звонком на отдельные колебания.

Основываясь на результатах, полученных при описанных выше испытаниях, можно выразить пожелание, чтобы лица, заинтересованные в наблюдениях над грозами, подвергли прибор более продолжительным и тщательным наблюдениям.

В заключение могу выразить надежду, что мой прибор при дальнейшем усовершенствовании его может быть применен к передаче сигналов на расстояния при помощи быстрых электрических колебаний, как только будет найден источник таких колебаний, обладающий достаточной энергией.

Кронштадт, декабрь, 1895 г.

III. НАЧАЛЬНЫЙ ПЕРИОД РАЗВИТИЯ РАДИОСВЯЗИ (1896–1910)

В. Г. Прис Передача сигналов на расстояние без проводов¹

Человечество обязано науке большим благодеянием — она одарила его новым чувством. Отныне мы можем видеть невидимое, слышать неслышимое и ощущать неосознаваемое. Мы знаем, что вселенная заполнена однородной непрерывной упругой средой, передающей без потерь тепло, свет, электричество и другие формы энергии из одной точки пространства в другую. Открытие реального существования этого «эфира» является одним из важнейших научных достижений викторианской эпохи. Строение и действие эфира нам еще не известны. Попытки «изобрести» идеальный эфир показали не по силам величайшим умам. Мы можем повторить слова лорда Сальсбери [Salisbury], что эфир есть имя существительное к глаголу «колебаться». Мы должны довольствоваться знанием того, что он был создан вначале для передачи энергии во всех ее формах, что он передает эту энергию в виде определенных волн и с известной скоростью, что он совершенен в своем роде, но и поныне непостижим, как непостижима сила тяготения или сама жизнь.

Всякое возмущение в эфире порождается каким-либо возмущением в материи. Великолепное обобщение Клерка Максвелла, согласно которому все эти возмущения абсолютно одинаковы по природе и отличаются друг от друга только по своей степени, является одним из величайших научных достижений нашего времени. Свет есть электромагнитное явление, а электричество, распространяясь в пространстве, подчиняется законам оптики.

¹ [1, С. 459–465. Там же приведен источник: { *The Electrician*, 11 июня, 1897 г., т. 39, стр. 216}]. {Реферат доклада, прочитанного в пятницу на вечернем заседании в Королевском институте, 4 июня 1897 года}.

Последнее было экспериментально доказано Герцем и едва ли кто-либо из слышавших прекрасную лекцию о «творении Герца», прочитанную проф. Оливером Лоджем в этом зале три года тому назад, забудет ее¹.

Благодаря любезности проф. Сильвануса Томпсона [Silvanus Thompson] я имею возможность иллюстрировать передачу волн на расстояние при помощи придуманной им прекрасной установки. На одном конце мы имеем передатчик или осциллятор в виде тяжелой подвешенной массы, которой сообщается толчок или импульс, вследствие чего она колеблется с определенным числом колебаний в минуту; на другом конце находится приемник или резонатор, настроенный на колебания того же периода. Они соединяются при помощи ряда свинцовых шариков, подвешенных таким образом, что при каждом колебании каждый шарик отдает часть своей энергии следующему в ряду. Каждый шарик колеблется под прямым углом к линии распространения волны и благодаря тому, что они колеблются в различных фазах, вы видите, как волна передается от передатчика к приемнику. Приемник воспринимает эти колебания и отвечает на них в такт [in sympathy] с передатчиком. Здесь мы имеем наглядное проявление того, что само по себе является абсолютно невидимым. Волны, которые вы видите, отличаются от световых или электрических только своей длиной или частотой.

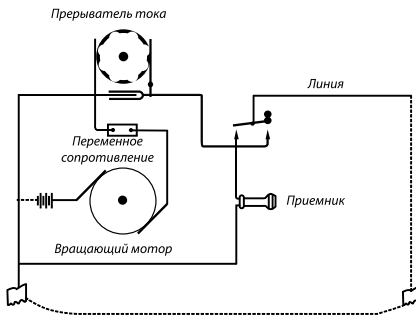
Частота электрических волн меняется от нескольких единиц в секунду в длинных подводных кабелях до нескольких миллионов в секунду при возбуждении по методу Герца. Частота световых волн колеблется от 400 биллионов в красной части спектра до 800 биллионов в фиолетовой и в этом заключается единственное различие между ними и электрическими волнами. Последние отражаются, преломляются и поляризуются, подвержены интерференции и распространяются через эфир по прямым линиям с той же скоростью (186 400 миль в секунду). Число это легко запомнить, так как знаменитое открытие Максвелла об идентичности световых и электрических волн было сделано в 1864 году. В 1884 году сообщения, посылаемые по изолированным проводам, проложенным в железных трубах под лондонскими улицами, обнаруживались посредством телефонных цепей, установленных на столбах над крышами домов, на расстоянии 80 футов.

В 1885 году найдено, что обычные телеграфные цепи способны вызывать возмущения на расстоянии 200 футов. Телефонный разговор был ясно слышен на расстоянии четверти мили, причем это расстояние было впоследствии увеличено до $1\frac{1}{4}$ мили. Путем тщательных опытов, произведенных в

¹ [I, С. 424–443].

1886 и 1887 годах, было доказано, что эти явления обуславливаются чисто электромагнитными волнами и совершенно не связаны с проводимостью земли. В 1892 году отчетливые сигналы посылались через часть Бристольского канала между Пенарсом и Флэт-Холмом, на расстоянии 3.3 мили. В начале 1895 года, ввиду аварии кабеля, соединяющего Обан с островом Мулл, и отсутствия судна для проведения ремонта и восстановления связи, последняя была налажена путем использования параллельных проводов на обоих берегах пролива и передачи сигналов через это пространство при помощи вышеупомянутых электромагнитных волн.

Аппарат (фиг. 1), соединенный с каждым из проводов, состоял из:



Фиг. 1

а) реотома или прерывающего колеса, которое давало около 260 колебаний в секунду в первичном проводе;

б) обыкновенной батареи примерно из ста элементов Лекланше, так называемых сухих и переносного типа;

в) телеграфного ключа Морзе;

г) телефона, выполняющего роль приемника;

д) переключателя для включения и выключения реотома. Качество сигнала зависит в большей степени от быстрого подъема и спада первичного тока, нежели от количества энергии, вложенной в колебания. На расстоянии 3.3 мили элементы Лекланше дают столь же хорошие сигналы, как и 2% лош. силы, преобразованные в переменный ток при помощи альтернатора, что объясняется пологой синусоидальной формой кривой тока у последнего. 260 колебаний в секунду дают приятный звук, при котором сигналы, получаемые разбиением на точки и тире с помощью ключа, могут быть прочтены без затруднения.

В моей электромагнитной системе установлены две параллельных цепи, располагаемые на обоих берегах канала или реки. Каждая цепь поочередно используется как первичная или вторичная цепь индукционного устройства, в зависимости от направления, в котором посылаются сигналы. Обе цепи были отделены друг от друга свободным пространством в пять миль.

Подобные эффекты были известны и наблюдались в лабораториях еще со времен Генри и Фарадея; однако лишь в течение последних нескольких лет мне удалось использовать их практически на более или менее больших расстояниях. Это стало возможным после появления телефона.

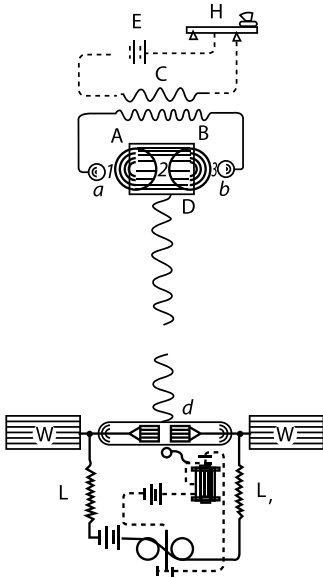
В прошлом году (август 1896 года) была сделана попытка установить связь с плавучим маяком в Норе Сандхеде (Гудвин). Примененный при этом аппарат был сконструирован и изготовлен фирмой Эвершед и Виньоль [Eversched & Vignoles], причем г-ном Эвершедом было изобретено чрезвычайно остроумное реле для установления вызова. Один конец кабеля был уложен в виде кольца на дне моря, охватывая все пространство, на котором плавучий маяк передвигался под влиянием прилива и отлива, тогда как другой конец был соединен с берегом. Другая обмотка окружала корабль над поверхностью воды. Расстояние между обеими обмотками равнялось в среднем 200 саженьм¹. Однако попытка наладить связь окончилась неудачей. Экранирующее влияние морской воды и влияние железной обшивки судна практически сводило на нет всю энергию токов, текущих в свернутом кабеле, и эффекты, воспринимаемые на борту судна, хотя и были заметны, но слишком слабы для сигнализации. Предшествующие опыты не выявили исключительной быстроты возрастания поглощения энергии с увеличением глубины или толщины слоя морской воды. Энергия поглощается на образование вихревых токов. Передача сигналов через слой воды в 15 саженей не встречает никаких затруднений. Телефонный разговор поддерживался через слой толщиной в 6 саженей. Хотя этот опыт и закончился неудачей при передаче через воду, он практически выполнен при передаче через воздух на значительные расстояния в тех случаях, когда представляется возможным протянуть на обеих сторонах пролива провода, примерно той же длины, что и расстояние, которое должно быть перекрыто. Это, однако, не всегда выполнимо, равно как не всегда есть возможность обеспечить достаточную высоту для достижения наилучшего эффекта. Это невозможно на плавучих маяках и маяках, установленных на скалах. Имеется множество мелких островов, как, например, о. Сорк на которых это также является невыполнимым.

В июле прошлого года г-н Маркони привез с собой в Англию новый проект. Г-н Маркони применяет электрические или герцевские волны очень высокой частоты. Он изобрел новое реле, которое по тонкости и чувствительности превосходит все до сих пор известные электрические приборы².

¹ {Fathom — 6-футовая сажень}.

² {Как ясно из последующего описания приемника Маркони, он в точности повторяет

Особенностью системы г-на Маркони является то, что кроме обычных соединительных проводов требуются проводники лишь весьма умеренной длины, причем необходимость в них отпадает при применении рефлекторов.



Фиг. 2

Передатчик. Передатчиком ему служит излучатель Герца, видоизмененный профессором Риги (фиг. 2).

Два сплошных латунных шара, диаметром в 4 дм (A и B) помещены, в непроницаемый для масла сосуд D, сделанный из изолирующего материала таким образом, что наружу выступает только половина каждого шара тогда как другая половина оказывается погруженной в вазелиновое масло. Г-н Маркони применяет обычно волны длиной около 120 см. Поблизости от больших шаров укреплены два маленьких шара a и b, причем каждый соединен с одним из концов вторичной цепи «индукционной катушки» C, первичная цепь которой возбуждается при помощи батареи E, включаемой

и выключаемой ключом Морзе K. При нажимании K в промежутках 1, 2 и 3 проскакивают искры, а так как система AB обладает емкостью и электрической инерцией, в ней возникают чрезвычайно быстрые колебания. Последние распространяются по линии Dd, причем частота колебаний достигает, по всей вероятности, 250 миллионов в секунду.

Расстояние, до которого столь быстрые колебания производят эффекты, определяется, главным образом, энергией происходящего разряда. Катушка, дающая искру длиной в 6 дм, оказалась достаточной до расстояний в 4 мили; однако для больших расстояний нам пришлось применять более мощную катушку, дающую искры длиной до 20 дюймов. Следует отметить, что это расстояние возрастает с увеличением диаметра шаров A и B и почти удваивается при замене полых шаров сплошными.

Приемник. Реле Маркони (фиг. 2) состоит из стеклянной трубочки приемник A. С. Попова. См. предыдущую статью}.

длиной в 4 см, в которой плотно вставлены два серебряных полюсных наконечника, отстоящих друг от друга примерно на полмиллиметра. Этот узкий промежуток заполнен смесью мелких серебряных и никелевых опилок, смешанных с небольшим количеством ртути. Трубка откачивается до вакуума в 4 мм и затем запаивается. Она входит в состав цепи, содержащей местную батарею и чувствительное телеграфное реле. В нормальном состоянии металлический порошок практически является изолятором. Частицы расположены совершенно хаотично, легко соприкасаясь друг с другом, без всякого порядка. Но стоит электрической волне коснуться их, как они «поляризуются» и возникает порядок. Они устанавливаются стройными рядами, они сдавливаются или, по выражению проф. Оливера Лоджа, — они сцепляются [cohere]. В результате возникает электрический контакт и ток проходит. Сопротивление такого промежутка падает от бесконечности до приблизительно пяти омов. В реле Маркони электрическое сопротивление, т. е. сопротивление тонкой прослойки свободно насыпанного порошка, в нормальном или беспорядочном состоянии практически бесконечно велико. Он действительно является при этом изолятором. Его сопротивление в некоторых случаях, при очень интенсивном поглощении электрических волн, падает до пяти омов, вследствие чего он становится проводником. Вполне возможно, что проф. Лодж прав, утверждая, что изменение сопротивления этого прибора может послужить для определения интенсивности падающей на него энергии. Эти изменения изучаются как с точки зрения величины энергии, так и частоты падающих волн. Указанный эффект был получен г-ном Э. Бранли (1890 г.) на медных, алюминиевых и железных опилках¹. Проф. Оливер Лодж, который сделал более чем кто-либо другой в Англии для иллюстрации и популяризации работ Герца и его последователей, назвал этот прибор «когерером». Для «декогерирования» Маркони применяет маленький молоточек, который приводится в быстрые колебания при помощи местного источника тока и весьма эффективно постукивает по стеклянной трубочке, производя при этом звук, позволяющий легко разбирать знаки Морзе.

Декогерирующий ток может быть одновременно применен для записи знаков Морзе на бумагу. Откаченная трубка снабжена двумя крыльями, которые, благодаря своим размерам, позволяют настраивать приемник на передатчик путем изменения емкости устройства².

¹ [Наст. сборн., с. 258 — 261].

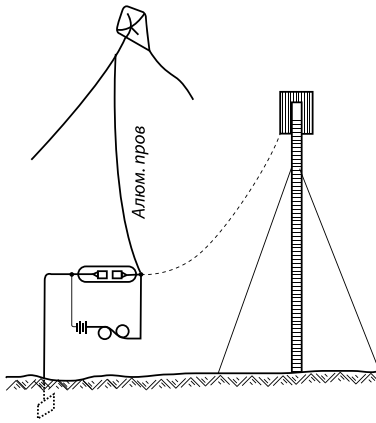
² Период колебания цепи дается уравнением $T=2\pi\sqrt{KL}$, так что путем простого

Дроссельные катушки предотвращают ускользание энергии. Аналогия с волновым аппаратом проф. Сильвануса Томпсона очевидна. Колебания, возникающие в передатчике, падают на приемник, настроенный на него; это приводит к сцеплению [coherence], возбуждаются токи и получаются сигналы.

На открытых пространствах, при взаимной видимости, этого достаточно, но при наличии препятствий, а также на больших расстояниях возникает необходимость в подъеме на известную высоту. С этой целью применялись высокие мачты, воздушные змеи и шары.

Прекрасной передачи сигналов через Бристольский канал на расстоянии около 9 миль удалось достичь между Пенарсом и Брен Дауном, близ Вестон супер Маре (фиг. 3)¹. (Здесь эта система показана в действии.)

Зеркала также облегчают получение эффекта и усиливают последний. Они применялись в более ранних опытах; однако впоследствии от них пришлось отказаться как ввиду их дороговизны, так и вследствие сложности их изготовления.



Фиг. 4

Крылья, изображенные на фиг. 2, могут быть удалены. Один полюс может быть соединен с землей, а другой — поднят на верхушку мачты или укреплен на воздушном шаре с помощью проволоки. Проволока и шар или воздушный змей, покрытый оловянной фольгой, заменяют крыло. В этом случае один полюс передатчика также должен быть соединен с землей. Описанное устройство показано на фиг. 4.

При проведении этих опытов выявилось несколько кажущихся аномалий. Г-н Маркони нашел, что его реле действуют даже будучи заключены в герметически закрытый металлический ящик. Это и послужило поводом для слухов относительно того, что он

изменения емкости К или так называемой «самоиндукции» L приемник может быть настроен на любую частоту. Проще изменять К.

¹ [Карта см. наст. сборн., С. 202, рис. 7]

может взорвать обитое железом судно. Последнее, однако, было бы возможно только в том случае, если бы ему удалось поместить свой соответственно настроенный приемник в пороховой погреб неприятельского корабля.

Сигналы передавались на весьма большие расстояния. На Сальсб-ери Плейн г-н Маркони перекрыл расстояние в четыре мили. В Бристольском канале расстояние было увеличено до восьми миль и более, причем мы далеко не достигли предела. С интересом читаешь предсказания других исследователей. Полмили казалось пределом самых дерзких мечтаний¹. Не представляет труда передавать сигналы одновременно по всем направлениям. Для этого необходимо лишь настроить передатчики и приемники на одну частоту или «ноту». Я мог бы продемонстрировать это здесь, если бы не мешало отражение от стен. Подобные помехи отсутствуют на открытом пространстве. Настройка осуществляется очень легко. Для этого достаточно менять емкость приемника, что достигается увеличением длины крыла W на фиг. 2. Подходящая длина определяется экспериментально на близком расстоянии от передатчика. На большом расстоянии от последнего это сделать практически невозможно.

Существует множество вопросов, которые должны быть обсуждены с практической точки зрения, прежде чем эта система сможет получить коммерческое применение, но сделанного достаточно, чтобы убедиться в ее значении и ее ценности для кораблевождения и маячной службы.

¹ {«К сожалению, в настоящее время электромагнитные волны могут быть выявлены лишь на расстоянии 100 футов от их источника». Тробридж, 1897 г. («What is Electricity», стр. 256).

² «Я упоминаю о сорока ярдах, так как это был один из первых опытов, поставленных на открытом воздухе, хотя я думаю, что граница чувствительности соответствовала скорее расстоянию около полумили. Однако это голое утверждение, пока еще не provenное». Оливер Лодж, 1897. «Творение Герца», стр. 18.

Патент № 12,039¹

Дата подачи заявки, 2 июня 1896.

Полное описание сдано, 2 марта 1897.

Принято, 2 июля 1897.

ПОЛНОЕ ОПИСАНИЕ

Улучшения в передаче электрических импульсов и сигналов,
а также в устройстве, для этого предназначенном

Я, Гульельмо Маркони, Талбот Роуд 67, Вестберн Парк, ранее проживавший по адресу Херефорд Роуд 71, Бейсуотер, в графстве Миддлсекс, настоящим объявляю сущность этого изобретения, а также способ, которым оно должно быть исполнено, с необходимым детальным описанием и пояснением, состоит в следующем:

Мое изобретение относится к передаче сигналов посредством электрических колебаний высокой частоты, которые создаются в пространстве или в проводниках.

Для того, чтобы мое описание стало понятным и прежде, чем перейти к деталям, я опишу сначала наипростейшую схему, составляющую суть моего изобретения, изображенную на фиг. 1.

На этом рисунке А обозначает передающее устройство, а В – приемное устройство, расположенное, например, на расстоянии 1/4 мили.

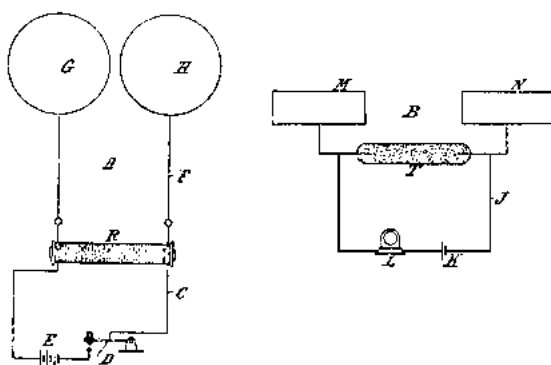
В передающем устройстве R – обычный индукционный преобразователь (катушка Румкорфа или трансформатор). Его первичная обмотка С подсоединена через ключ D к батарее Е, а концы его вторичной цепи F подсоединяются к двум изолированным сферам или проводникам G и H, закрепленным на небольшом расстоянии друг от друга.

¹ [Redhill. Printed for Her Majesty's Stationary Office, by Maicomson & Co, Ltd. – 1897. См. также English Patents Edition, London, June 1897].

При замыкании в первичной цепи трансформатора тока от батареи Е между сферами G и H возникают искровые разряды, а все пространство вокруг сфер будет испытывать пертурбации, являющиеся следствием этих электрических лучей или возмущений.

Устройство А получило название излучателя Герца, а эффекты, распространяющиеся в пространстве – герцевыми лучами.

Приемное устройство В состоит из запитываемой батареей цепи J, которая включает батарею или элемент К, регистрирующее устройство L, и трубку Т, содержащую металлический порошок или металлические опилки, при этом каждый конец столбика из металлических опилок подсоединяется также к пластинкам или проводникам M и N, имеющим подходящие размеры, такие, которые будут соответствовать длине волны излучения, поступающего от передающего устройства.



Фиг. 1

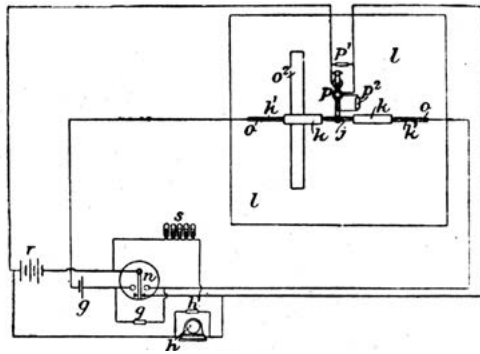
Трубка с металлическими опилками может быть заменена на несовершенный электрический контакт, представляющий собой, например, два неплотно соприкасающихся неполированных куска металла, или на когерер или на что-то подобное.

При обычных условиях порошок в трубке Т не обладает проводящими свойствами и ток от гальванического элемента К не потечет через цепь приемного устройства; но если на приемник начинают действовать подходящие по параметрам электрические волны или излучения, то порошок в трубке Т становится проводящим (и остается таковым до тех пор, пока трубку не встряхнуть или не постучать по ней), а по цепи приемного устройства течет ток.

Благодаря этому электрические волны, которые возбуждаются от передающего устройства, воздействуют на приемное устройство таким образом, что в его цепи замыкается электрический ток, который может использоваться для отклонения стрелки, которая реагирует таким образом на импульс, приходящий от передатчика.

Рисунки 2, 3, 4 и прочие демонстрируют разнообразие более сложных устройств того же типа, полученных из описанной выше простой формы устройства, показанного на фиг. 1.

Я дам описание этих устройств в целом, прежде чем перейду к детальному описанию усовершенствований.



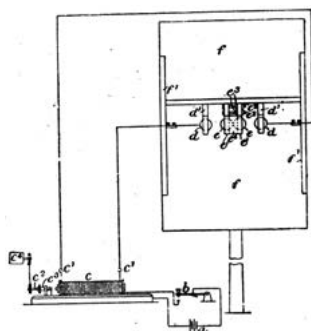
Фиг. 2

Фиг. 2 является схематическим описанием устройства приемной станции, на котором все элементы показаны с их фронтальной плоскости, где **kk** – пластины, соответствующие М и N пластинам на фиг.1, **g** – батарея, соответствующая элементу К на фиг. 1, **h** – регистрирующее устройство, соответствующее L, **n** – реле, замыкающее цепь регистрирующего устройства. **p** – это встряхиватель или тремблер, аналогичный колокольчику электрического звонка, он срабатывает от тока, который возникает в цепи приемного устройства вследствие вышеописанного.

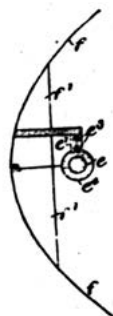
Фиг. 3 является схематическим описанием устройства приемной станции, на котором все элементы показаны с их фронтальной плоскости, где **ee** – две металлические сферы, соответствующие пластинам G и H на фиг. 1.

c – индукционная катушка, соответствующая R на фиг. 1. **b** – ключ, соответствующий D, а **a** – батарея, соответствующая E.

Фиг. 4 является вертикальным сечением излучателя или возбuditеля колебаний, установленного на фокальной линии цилиндрического параболического отражателя f , содержащим боковой вид сфер $e e$, данных на фиг. 3.



Фиг. 3



Фиг. 4

Фиг. 5 – это полномерный вид приемных пластин $k k$ и чувствительной трубки j .

Фиг. 5А является модификацией формы чувствительной трубки.

Фиг. 6 является модификацией излучателя, в которой сферы $e e$ и $d d$ установлены в эбонитовой трубке d^3 .

Фиг. 7 является другой модификацией источника колебаний, в которой сферы заменены на полусферы.

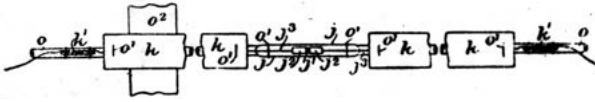
Фиг. 8 является модификацией приемника, в которой пластины $k k$ изогнуты в отличие от предыдущих случаев, где они были прямые.

Фиг. 9 – другая форма передатчика, в которой используются две большие пластины $t^2 t^2$.

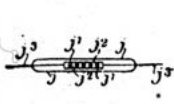
Фиг. 10 – модификация устройства на передающей стороне, а фиг. 11 – модификация устройства на приемной стороне, которые позволяют осуществлять передачу-прием сигнала сквозь такие препятствия, как холмы или горы.

Фиг. 12 – это детектор, который используется для определения подходящей длины пластин $k k$ вышеописанных приемников.

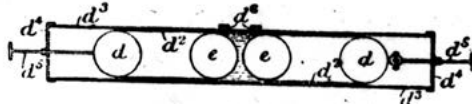
Фиг. 13 – это усовершенствованный прерыватель, который используется в трансформаторной цепи передатчика.



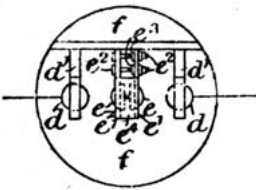
Фиг. 5



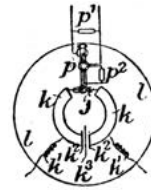
Фиг. 5a



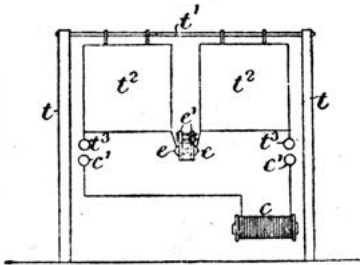
Фиг. 6



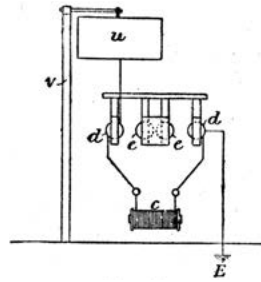
Фиг. 7



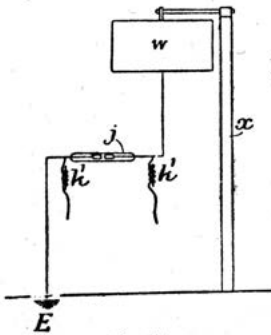
Фиг. 8



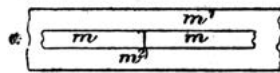
Фиг. 9



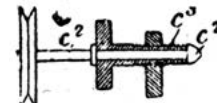
Фиг. 10



Фиг. 11



Фиг. 12



Фиг. 13



Фиг. 14

Фиг. 14 – это водяной дополнительный резистор, назначение которого будет пояснено ниже.

Мое изобретение состоит по большей степени в том, как следует наиболее подходящим образом изготовить и соединить между собой описанные выше устройства. С помощью некоторых из этих модификаций я могу получать сигналы Морзе и задействовать обычные телеграфные устройства и другие установки; также с модификациями вышеописанных устройств можно передавать сигналы не только через сравнительно небольшие препятствия, такие как кирпичные стены, деревья и т.д., но и через или сквозь массы металла, холмы, горы, которые могут встретиться между передающим и приемным устройством

<...>

После детального и точного описания и прояснения сути моего указанного изобретения, а также метода его изготовления, я объявляю, что заявляемое мной является:

1. Метод передачи сигналов посредством электрических импульсов приемному устройству, имеющему чувствительную трубку или другую форму несовершенного контакта, имеющую свойство восстанавливаться с определенностью и регулярностью до своего нормального состояния, именно так, как описано выше.

2. Приемное устройство, состоящее из чувствительного несовершенного контакта, или контактов, цепь, проходящую через контакт или контакты, и средства для восстановления контакта или контактов с определенностью и регулярностью до его или их нормального состояния после приема импульса, именно так, как описано выше.

3. Приемное устройство, состоящее из чувствительного несовершенного контакта, или контактов, цепь, проходящую через контакт или контакты, и средство, задействуемое посредством этой цепи для восстановления с определенностью и регулярностью контакта или контактов до его или их нормального состояния после приема импульса.

4. В приемном устройстве, таком, как заявлено в п. 2 и п. 3, использование сопротивления, имеющего собственную низкую индуктивность, или иные элементы для предотвращения образования искр в контактах или других нежелательных возмущений.

5. Комбинация с приемниками, описанными в п. 2 и п. 3, сопротивлений или других элементов для предотвращения влияния самоиндукции приемника на чувствительный контакт или контакты, именно так, как описано выше.

6. Комбинация с приемниками, описанная выше, катушек, создающих резкие импульсы, именно так, как описано выше.

7. В приемных устройствах, содержащих несовершенный контакт или контакты, чувствительные к электрическим импульсам, использование автоматически работающих устройств, которые восстанавливают контакт или контакты с определенностью и регулярностью до их нормального состояния после приема импульса, именно так, как описано выше.

8. Конструктивная разработка чувствительного непроводника, способного стать проводником под воздействием электрических импульсов, состоящего из двух металлических притычек или их эквивалентов, содержащих между ними некое вещество, именно так, как описано выше.

9. Чувствительная трубка, содержащая смесь двух или более порошков, гранул или стружек, именно так, как описано выше.

10. Применение ртути в чувствительном несовершенном электрическом контакте, именно так, как описано выше.

11. Приемное устройство, имеющее локальную цепь, включающую чувствительный несовершенный электрический контакт или контакты, а также реле, позволяющее устройству производить сигналы, действия или регистрацию, именно так, как описано выше.

12. Чувствительное устройство, в котором столбик порошка или опилок (или их эквивалент) поделен на секции посредством металлических разделителей или затычек, именно так, как описано выше.

13. Приемники, именно такие, как описано выше, и показанные на фиг. 5 и 8.

14. Передатчики, именно такие, как описано выше, и показанные на фиг. 6 и 7.

15. Приемник, состоящий из чувствительной трубки или другого несовершенного контакта, включенного в цепь, при этом один

вывод чувствительной трубки или несовершенного контакта подключается на землю, в то время как второй вывод подключается к изолированному проводнику.

16. Комбинация передатчика, имеющего один конец своего искрового устройства или один из полюсов подключенным к земле, а другой – к изолированному проводнику, с приемником, как описано в п. 15.

17. Приемник, состоящий из чувствительной трубки или другого несовершенного контакта, включенного в цепь, и соединения с землей каждого конца чувствительного контакта или трубки через конденсаторы или их эквивалент.

18. Модификации в передатчиках и приемниках, в которых подвешенные пластины заменены цилиндрами или подобными им, размещенными сверху, надетыми на полярные выводы как колпачки, или шарами полыми или воздушными змеями аналогичным образом, именно так, как описано выше.

19. Индукционная катушка, имеющая вращающийся прерыватель, именно так, как описано выше, и для целей, описанных выше.

Гульельмо Маркони

Датировано 2 марта 1897 года.

А.С. Попов О телеграфировании без проводов¹

Милостивые государи!

Я являюсь перед вами посреди своей работы и занятого времени, так что все, что я сюда привез, было собрано наскоро и имеет скорее значение схематического опыта для разъяснения принципов, которые лежат в основе столь много теперь нашумевшего вопроса о телеграфировании без проводников.

Вопрос о телеграфировании без проводников у пылких голов явился с тех пор, как только познакомились с электрическими и электромагнитными действиями на расстоянии. Историю вопроса, как она ни интересна, я оставляю в стороне, а подчеркну две попытки практического осуществления телеграфа без проводников, предшествующие способу, теперь нас занимающему. Одна попытка была сделана в Америке и приписывается Эдисону, а другая, примерно того же времени, относится к опытам Приса в Англии, который много участвовал и в позднейших опытах Маркони.

Действие на расстоянии может быть возбуждено двумя весьма различными приемами: сильным зарядом, периодически появляющимся и исчезающим и возбуждающим переменное электростатическое поле, или электромагнитными действиями прерывистого или переменного тока. Первый способ телеграфирования был осуществлен Эдисоном в следующем виде. Высокая мачта, снабженная большим шаром, соединена была со специальным генератором вроде трансформатора Тесла, возбуждаемого действием прерывистого тока, и затем другая мачта, снабженная также шаром, соединена через телефон с землей. Заряды

¹ [Доклад, прочитанный в Петербургском Электротехническом институте 19 (31) октября 1897 г. «О телеграфировании без проводов», Санкт-Петербург, 1897 г., Типография Э. Арнольда, Литейный проспект, № 59, – брошюра из Фонда Мемориального музея А. С. Попова].

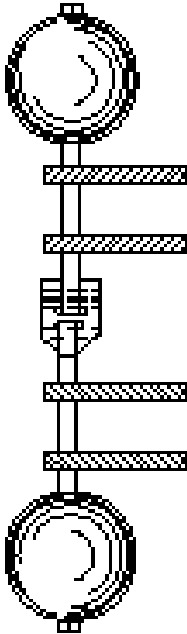
первого шара могли отозваться электростатической индукцией на втором шаре. Другой способ основан на взаимном действии параллельных проводников. Этот способ осуществлен Присом, который был натолкнут на эти опыты тем фактом, что прерывистые телеграфные токи в отдаленном даже проводнике возбуждают настолько сильные индукционные токи, что можно слышать в телефоне действие телеграфа.

Прис пытался воспользоваться этим на практике, и на Чикагском конгрессе он сделал доклад о достигнутых результатах. Однако же эти два способа не имеют прямого отношения к современному способу телеграфирования без проволоки, основанному на особом явлении, известном под именем электрического колебания. Это не будет прерывистый ток, а явление особого рода. Об этом явлении я скажу несколько слов и затем рассмотрю некоторые приборы, которыми можно пользоваться для возбуждения электрических колебаний. Далеко в подробности этого явления входить трудно, и я позволю себе только указать, на какие стороны явления нужно обратить внимание.

Остановимся на каком-нибудь общепонятном не электрическом колебании, например возьмем маятник. Если маятник мы выведем из положения равновесия, мы, поднимая, сообщим ему потенциальную энергию. Если отпустить его, то маятник начнет двигаться и потенциальная энергия постепенно будет переходить в кинетическую. Когда же он поднимается на другую сторону, кинетическая энергия вновь превращается в потенциальную. Что благоприятствует и что препятствует продолжительности явления? Понятно, значительная величина первоначального запаса энергии, т. е. высота первоначального поднятия, определяющая размах, и масса маятника играют здесь первую роль. Препятствующим обстоятельством будет сопротивление движению. Вся энергия по пути превратилась бы не в потенциальную, а тепловую, если бы мы пустили маятник, например в воде, колебаний совсем не получили бы. Чтобы колебания долго не прекращались, надо чтобы трата посторонняя была мала: сопротивления движению механическому должны быть, по возможности, ничтожны. Эти два обстоятельства имеют место во всяком колебании без исключения, какое бы мы движение ни взяли.

Посмотрим, как можно осуществить переход энергии потенциальной в кинетическую и обратно в электрических явлениях. Если мы возьмем два хорошо изолированные и разноименно заряженные

тела, то они неопределенно долго могут сохранять свой заряд. Они будут обладать потенциальной энергией. Если эти два тела соединить прямолинейным проводником, то начнется электрический ток. Проявится особый род кинетической энергии.



Черт. 1

На черт. 1 показаны два шара и между ними прямолинейный проводник с перерывом. Ток наступает тогда, когда заряд шара достигнет разности потенциалов, при которой электрические силы будут в состоянии разрушить целостность изолятора. До тех пор, пока не перейдена прочность этого изолятора, пока не наступил разряд, происходит накопление потенциальной энергии. С наступлением разряда, пока ток идет, например, сверху вниз, является вблизи прямолинейного проводника магнитное поле с линиями сил, расположенными концентрическими кругами около этого проводника. Это магнитное поле есть какой-то вид кинетической энергии. Как только потенциалы шаров сравниваются, ток должен бы прекратиться, как следствие причины, которая его возбудила. Но движение не прекратится, точно так же как и в маятнике прекратится действие тяжести, но он еще не остановится.

Здесь за счет запасенной в виде энергии магнитного поля ток поддержится в том же направлении и будет заряжать шары, но в противоположном прежнему заряду направлению. Затем все явления будут повторяться, и за мгновение, в которое мы видим искру, может произойти несколько тысяч таких колебаний.

Прибор для возбуждения электрических колебаний, не прекращающихся быстро, должен удовлетворять некоторым условиям. На концах проводника, в котором возбуждаются колебания, помещаются шары или листы, обладающие значительной электрической емкостью. Чтобы начальный запас энергии был большой, надо возбудить большую разность потенциалов; для того же, чтобы происходил колебательный разряд, т. е. что-

бы взаимные превращения энергий не скоро прекратились, надо, чтобы побочные затраты энергии, помимо электростатической и электромагнитной, были возможно малы. Каждый раз, как ток идет по проводнику, часть энергии превращается в тепловую, проводник поэтому должен иметь возможно малое сопротивление. Чтобы в искре энергии тратилось мало, она не должна превосходить известной длины. Для того чтобы запастись большую потенциальную энергию, можно увеличить длину перерыва, в котором происходит разряд, но тогда легко может случиться, что мы совсем не получим колебаний.

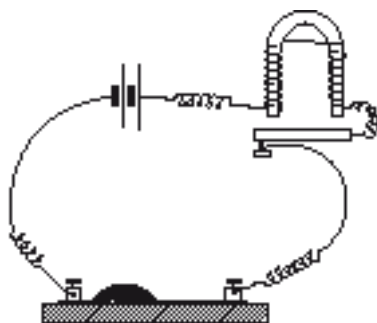
Такой источник электрических колебаний впервые был осуществлен Генрихом Герцем в конце восьмидесятых годов, опубликовавшим ряд работ над электрическими колебаниями, которые положили начало новому, теперь уже широко развившемуся отделу учения об электричестве, имеющему первостепенное значение в науке и в практических приложениях.

Посмотрим теперь, что происходит в пространстве, окружающем источник электрических колебаний? Не пытаясь проникнуть в сущность явления, мы можем сказать, что во всякой точке пространства вблизи проводника тока возбуждается магнитное поле, вблизи же электрических тел существует электростатическое поле; если же мы имеем изменяющиеся величины и направления тока или величины и знаки заряда в источнике, то и в среде, окружающей источник электрических колебаний, будут периодически изменяться величины напряженности магнитного и электрического поля: мы говорим, что в среде возбуждается электромагнитная волна.

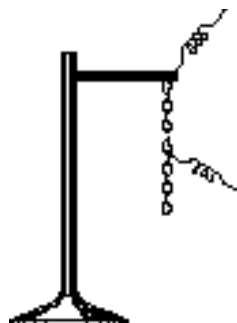
Электромагнитная волна распространяется от источника по всем направлениям. Как обнаружить ее на расстоянии? Понятно, что для сигнализации мы будем посылать электромагнитную волну и присутствие ее должны как-нибудь обнаружить.

Сам Герц наблюдал прямое явление индукции; он ставил прямолинейный проводник параллельно линии разряда; при небольших расстояниях можно было и в этом проводнике вызвать столь энергичные колебания, что, прервав его по середине, можно наблюдать в этом перерыве искру. Это — способ Герца. В позднейшее время появлялось много различных способов обнаружения электромагнитной волны. Мы остановимся на способе Бранли. Во время исследований сопротивления

тонких металлических слоев Бранли случайно заметил, что в то время, когда у него на мостике было уравновешено некоторое сопротивление, вдруг мгновенно изменилось равновесие в мостике. В этот момент по соседству был произведен разряд электрофорной машины. Он уловил этот факт и показал, что тонкие слои металла обладают свойством мгновенно изменять свое сопротивление, если до них достигнет электромагнитная волна; сопротивление при этом уменьшается. Таким же свойством обладает металлический порошок; отдельные зерна железа, составляющие порошок, настолько слабо прикасаются друг к другу, что ток небольшого числа элементов не проходит через него, но как только электромагнитная волна достигнет массы порошка, порошок мгновенно делается хорошо проводящим. Это можно демонстрировать простыми средствами. Составим цепь из обыкновенного звонка и двух-трех элементов (черт. 2), присоединив к ее концам две металлические пластинки. Прикосновением пластинок мы замкнем цепь и заставим звонок действовать. Если же мы положим на столе обе пластинки рядом, не касаясь друг друга, и заполним пространство между ними железными опилками, то, хотя цепь звонка и будет замкнута через опилки, сопротивление цепи будет весьма велико и звонок не будет звонить.



Черт. 2



Черт. 3

Но если по соседству будет произведен колебательный разряд в каком-либо вибраторе, то электромагнитная волна тотчас же устанавливает связь между разъединенными частичками порошка, сопротивление цепи уменьшится и звонок начнет действовать. Эта связь может быть снова разрушена, если встряхнуть порошок.

Чтобы выяснить сущность явления, я сделаю другой аналогический опыт. Замкнем 2 элемента через звонок и металлическую цепочку (черт. 3), звонок звонит; будем постепенно увеличивать число звеньев цепочки, введенных в цепь, — звонок скоро перестанет работать. Натянув цепочку, мы опять вызываем звон. Электрическая волна делает то же, что прямое нажатие. Встряхнем цепочку, ток опять прерывается.

Может быть причина увеличения проводимости чисто механическая, так как под влиянием электромагнитных волн отдельные частички наэлектризовываются, притягиваются между собою, или же, что вероятнее, здесь должно произойти в контакте выделение электрической энергии и достаточно интенсивное молекулярное движение, чтобы произвести соединение вроде сваривания.

Опыт с цепочкой позволяет подчеркнуть некоторые элементы явления. Не делая опытов, я укажу, что если бы я прибавил элемент, то оказалось бы, что число звеньев, которое прежде служило изолятором для 3 или 4 элементов, перестанет быть изолятором. Надо увеличить число контактов. Если имеем дело с опилками, нужно раздвинуть пластинки, на которые насыпан порошок. Если мы возьмем малое расстояние, источник нужен слабый, если мы желаем изменить источник, мы должны также увеличивать или уменьшать число звеньев этой цепи. Подбирая число звеньев цепочки в соответствии с электродвижущей силой источника тока, можно достигнуть высокой чувствительности, но она не будет постоянна. После действия нескольких разрядов вибратора чувствительность цепочки делается грубее.

Постоянства чувствительности можно достигнуть большим параллельным числом цепочек или употребляя порошок, в котором и образуется ряд параллельных цепей. Если мы возьмем мелкий порошок, то много частичек пойдет в цепь последовательно. Поэтому приходится подбирать крупность зерна порошка, расстояние между пластинками и число вольт источника. Эти все элементы весьма важны для достижения постоянства чувствительности. Только с большой и постоянной чувствительностью можно переходить к практическим приложениям.

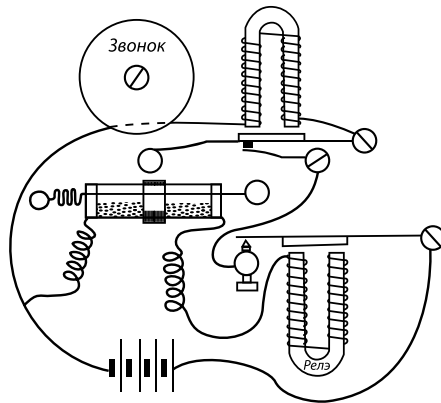
Два рода рассмотренных нами явлений и служат основанием для телеграфирования без проводников.

На одной станции мы имеем источник электрических колебаний, возбуждающий в пространстве электромагнитные волны. Эти волны, достигнув проводников другой станции, возбуждают на них так-

же электрические колебания. Эти колебания, распространяясь до опилок, замыкают ток местной батареи на принимающей станции.

Однако только что описанные приборы не будут обладать еще одним существенным свойством, которое необходимо для сигнализации. Вы видели, что действие электромагнитной волны приводит к тому, что цепь местной батареи замыкается и затем ток уже не прекращается. Для того чтобы было возможно телеграфировать, нужно сделать дальнейший шаг, который и был сделан в моем приборе в 1895 г.

Бранли, Лодж и другие пользовались простым механическим сотрясением для того, чтобы нарушить связь опилок и разомкнуть цепь, но можно сделать так, чтобы замыкание местной цепи автоматически вызвало и сотрясение опилок. В таком случае ток замкнется только на мгновение. Достигнуто это было самыми простыми средствами. Внутри стеклянной трубочки (черт. 4) наклеены две платиновые пластинки и на них насыпан порошок.



Черт. 4

Эта трубочка помещается на пружине, так что слабым ударом можно вызвать ее сотрясение и встряхнуть опилки. Автоматического встряхивания опилок я достигаю следующим расположением. Ток от батареи 2—6 вольт проводится последовательно через трубку с порошком и обмотку телеграфного реле. Пока опилки находятся в обыкновенном состоянии, в цепи циркулирует ток чрезвычайно слабый и якорь реле остается не притянутым, но как только до опилок достигнет электромагнитная волна,

тотчас сопротивление всей цепи уменьшится, якорь реле притянется и замкнет побочную цепь звонка. Звонок тотчас же произведет удар, и вместе с тем молоточек его встряхнет трубочку с опилками, вследствие чего цепь реле разомкнется, так как опилки опять перестанут хорошо проводить ток, и якорь реле будет оттянут назад. Таким образом мы имеем возможность всякую волну, достигшую трубки, отметить электрическим звонком. Прежде всего я воспользовался своим прибором для того, чтобы решить вопрос, есть ли в нашей атмосфере электрические колебания, а если есть, то как они часты и от каких причин зависят. Для этого нужно присоединить к прибору приемник: взять обыкновенный громоотвод и довести его до зажима трубки. Для того чтобы иметь возможность отметить всякую волну, надо пустить в ход какой-нибудь пишущий аппарат. Для этого можно было бы взять медленно идущий телеграфный аппарат или же, как я сделал, привести телеграфную ленту в движение 12-часовым цилиндром, обыкновенно употребляющимся в регистрирующих приборах Ришара, и обыкновенное электромагнитное перо.

Как только колебания достигают прибора, он ставит черточку на ленте. Такой прибор был мною установлен в июле 1895 года в Лесном институте. Моя задача была устроить прибор постоянной чувствительности. Оказывается, что если рядом действует звонок, то этого достаточно, чтобы вызвать волну и отметку на ленте. Этим воспользовались, чтобы каждый день проверять чувствительность прибора.

Этот прибор служит метеорологическим целям и работает уже более двух лет. Потом этот прибор был приспособлен для опытов Герца с электрическими лучами.

Герц построил приборы, которыми доказал возможность отражения и преломления электромагнитных волн. Параболический рефлектор Герца имел высоту 2 метра. Вибратор представлял два цилиндра 15 сантиметров длины при диаметре 3 сантиметра. У меня же поставлены весьма маленькие цилиндры, может быть сантиметров пять, рефлектор имеет в высоту сантиметров сорок и представляет собою цилиндрическо-параболическое зеркало. При действии индукционной спирали получается искра между цилиндрами в масле и две искры вне масла у концов цилиндров. (Это добавление сделано впервые Риги.)

Прибор, которым я пользуюсь, был также демонстрирован в Физико-химическом обществе в марте 1896 г. Для опытов с лучами надо, чтобы волны достигали трубки только с какой-нибудь одной

стороны, для чего прибор скрыт в металлическом ящике и электрические волны могут проникнуть внутрь только через небольшое отверстие, закрытое каучуковой пробкой при помощи приемного цилиндра, находящегося вне ящика, но соединенного металлически с одной из пластинок чувствительной трубки.

Этот приемный цилиндр, как и цилиндр-вибратор, помещен в фокусе цилиндрическо-параболического рефлектора. Установив оба рефлектора, можно наблюдать некоторые свойства герцевых лучей. Заставим работать вибратор — на каждый разряд вибратора мы получим ответный звон в нашем приборе. Если мы на пути лучей, т. е. между рефлекторами, поместим тонкий металлический лист, то увидим, что волны будут задерживаться им. Доски, картон, толстые книги не задерживают электромагнитного луча, тело человека — сравнительно хороший проводник, всегда задерживает лучи. Если мы на деревянной рамке натянем ряд параллельных проволок и такую решетку поместим на пути лучей, то убедимся, что решетка задержит волны, если проволоки ее будут параллельны осям вибратора и приемника; если линии решетки перпендикулярны им, то решетка не задерживает лучей; при косвенном положении решетка только отчасти задерживает лучи. Поставив рефлекторы так, чтобы их плоскости симметрии пересекались, легко можно показать отражение лучей от металлических листов и от решетки, если ее проволоки параллельны линии разряда в вибраторе, т. е. убедиться в том, что если металлический лист и решетка не пропускают электромагнитных лучей, то и не поглощают их, а только отражают их и дают им иное направление...

Имея прибор, который я описал, было интересно определить, на каких расстояниях возможно было этим прибором обнаружить электромагнитную волну. Лодж (в Англии, 1894 г.) пытался достигнуть больших расстояний и достигал 60 ярдов. С тем прибором, который мы видели здесь, весной 1895 г., я перебрался из комнаты в сад делать испытания и тут первые эксперименты показали, куда надо идти, — прибор отвечал на расстоянии 30—40 сажень. В течение целого года я не возвращался к опытам на открытом воздухе и занимался различными испытаниями приборов в лаборатории. Осенью 1896 г. дошли из Англии газетные сведения, что Маркони под руководством Приса производит опыты сигнализации с помощью

электромагнитных волн и достиг расстояния до $\frac{1}{2}$ мили. С каким прибором работал он, совершенно было неизвестно. Зимой 1896 г. Прис делал сообщение в Английском электротехническом обществе, показывая приборы, те самые, как потом оказалось, которые здесь вы видели, но источник волн был поставлен в деревянном ящике. На электрическую волну, выходящую из этого ящика, отвечал электрический звонок в другом, также закрытом ящике, через большую аудиторию. Это все, что было известно до июня текущего года.

Прис засвидетельствовал, что опыты им производились и сигналы достигали расстояния немного более мили. Эти опыты относятся к августу прошлого года.

Специальные журналы, делавшие догадки об опытах Маркони, введенные быть может в заблуждение заявлениями, что приборы Маркони представляют новый открытый им способ телеграфирования, высказывали сомнения в возможности пользования чувствительной трубкой с опилками для значительных расстояний. Но я лично был убежден, что в закрытых ящиках Маркони был помещен прибор аналогичный с моим и потому с марта этого года начал готовить приборы для опытов передачи сигналов с помощью электромагнитных волн на большие расстояния. Два средства могут быть употреблены для достижения больших расстояний: увеличение энергии источника волн и увеличение чувствительности приемника.

Если мы будем брать малые размеры вибратора, то потенциальная энергия при заряде его мала и увеличить ее мы не можем. Значит мы должны прежде всего увеличить размеры частей вибратора и выбрать такой, в котором при большой длине искры, т. е. при значительной разности потенциалов в первый момент разряда, легко сохранить колебательный характер последнего. Теория, работы других наблюдателей и своя опытность указали на то, что самый первый вибратор, построенный Герцем, должен обладать указанными свойствами и дать большое расстояние. Вибратор этот имеет шары около 30 сантиметров и между ними разрезанный стержень немного менее метра. Колебания, возбужденные в таком вибраторе, не быстро затухают, а потому можно в нем сделать значительной длины искру и достигнуть значительной разности потенциалов в начале колебания, не опасаясь того, что разряд утратит колебательный характер.

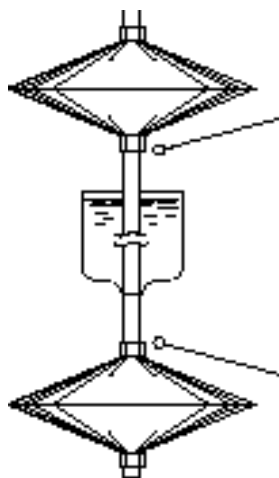
Такой вибратор был испытан на больших расстояниях сначала на дворе, но расстояния оказались малы. Пришлось производить опыты в гавани на подвижном маленьком судне, и первые же опыты показали возможность обнаружения волн вполне отчетливо на расстоянии до 300 саженей, а дальше могли быть обнаружены только наиболее энергичные разряды, случайно выделяющиеся среди более слабых.

Теперь другая сторона — приемник также может служить средством для увеличения расстояния. Сначала употреблялся в чувствительных трубках порошок, но после многих проб оказалось, что большей чувствительности можно достигнуть употребляя вместо порошка мелкий стальной бисер, вроде крупных опилок. Бисер, как показал опыт, дал расстояние в 3—5 раз большее, чем опилки, причем увеличение чувствительности произошло с сохранением ее постоянства. Употребление бисера и увеличение вибратора дало расстояние до 300 саженей с маленькой спиралью, которая не могла дать искры при данных условиях более 4—5 миллиметров. Употребление следующего номера спирали сразу дало расстояние более версты. Если же приемник снабдить очень длинным вертикальным проводником, что можно легко сделать на судне, то расстояние, на котором волны будут действовать на приемник, еще увеличится, так как, увеличивая длину приемной проволоки, мы захватываем энергию с большей части пространства. Есть и еще средства для увеличения чувствительности приемника, именно увеличение чувствительности реле, употребляемого в цепи с чувствительной трубкой. Воспользовавшись и этим средством, мы достигли на открытом месте с тем же вибратором расстояний, доходящих до полуторы версты.

Это были первые шаги. Устроив вибратор, способный запасать еще большую первоначальную энергию, можно было достигнуть еще больших расстояний. Вместо шаров на концах стержня были укреплены диски, перпендикулярные стержню. Для прочности они сделаны в виде двух абажуров (черт. 5), сложенных вместе. Это увеличило электрическую емкость. Расстояние между дисками осталось прежнее, диаметры их менее метра. Обыкновенные индукционные катушки позволяют увеличивать длину разрядной искры, но колебательный разряд пропадает, потому что сопротивление длинной искры велико. Если мы вместо маленьких шляпок, в месте перерыва стержня вибратора, поставим диски около 10 сантиметров в диаметре, то получится род конденсатора, который не будет мешать колебательному разряду, потому что после

образования искры между этими пластинками не будет большой разности потенциалов, но в первый момент энергия этого конденсатора будет выделена в искре и уменьшит ее сопротивление.

Это прибавление дало нам такие результаты. Вибратор был поставлен на берегу моря, приемник на катере с мачтой около 4 сажений. На этой мачте была подвешена проволока, ведущая к приемнику. Таким образом можно было получить достаточно большую энергию. Уходя от вибратора, замечали предельное расстояние, на котором все волны сопровождаются действием приемника. Оказалось, что с большим вибратором можно дойти до 3 верст. Сейчас же можно было увеличить расстояние, взяв более высокую мачту. При высоте ее около 8—9 сажений (на большом судне) достигнуто расстояние в 5 верст. Так как нами была поставлена задача



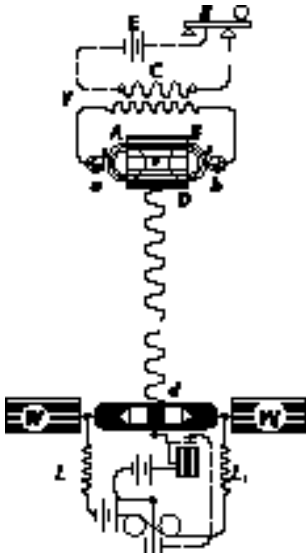
Черт. 5

определить прежде всего, на какие расстояния можно посылать достоверные сигналы, то самые опыты велись в таком порядке: по знаку флагом с катера на берегу производили три отдельные разряда и замечали, все ли разряды достигли приемника. Под предельным расстоянием я подразумеваю расстояние, на котором приемник работает без пропуска. Эти опыты повторялись многократно, постоянство чувствительности многократно определялось, и всегда определенный размер искры давал одни и те же расстояния.

Опыты наши производились на средства Морского министерства. Большая часть испытаний произведена на Минном отряде в Транзунде ассистентом Минного офицерского класса Петром Николаевичем Рыбкиным при помощи минных офицеров отряда.

Наши опыты были подготовлены к началу кампании, а в июне месяце появились публикации о приборе Маркони. Все, что имелось у нас, содержится и в приборе Маркони. Вибратор Марко-

ни взял другой. Он состоит из двух шаров, которые близко сходятся. Два перерыва, которые имелись в этом приборе, имелись и у нас. Между двумя шарами происходит разряд. Следовательно, по сравнению с герцевским вибратором в этом уничтожен промежуточный проводник. Это сделал Риги умышленно, его цель была получить как можно меньшие размеры колебаний и малую длину волны. Маркони остановился на вибраторе Риги, как самом лучшим.



Черт. 6

Схема опытов Маркони здесь начерчена (черт. 6), и вы видите полную тождественность составных частей с нашим прибором. В приемной части оказался прибор *d* с порошком, но иной формы. Здесь не две пластинки, а два маленьких цилиндра, пространство между которыми заполнено порошком. Диаметр этих цилиндров одинаков с внутренним диаметром трубки. Порошок он взял никелевый, который, по нашим опытам, как будто не лучше и не хуже железного. Чувствительность прибора Маркони немного больше. Мы не стремились увеличить чувствительность

приемника, потому что, имея дело с атмосферным электричеством, мы видели, что приемник часто действует по целым часам от атмосферных разрядов. Затем он выкачал воздух из трубки, что было естественно сделать и что приходило в голову и нам.

Но в позднейших статьях он говорит, что можно действовать и без пустоты. Вся остальная часть, как и у нас. Здесь батарея, ведущая ток через трубку и контакт в опилках, замыкается через обмотку реле. Затем далее побочная цепь содержит молоточек, в котором нет ничего особенного. Все остальные части те

же самые, что и у нас, за исключением никелевых опилок и пустоты. На чертеже поставлены катушки L и L_1 , чтобы случайные колебания, происшедшие от искры в перерывах реле и звонка, ослаблялись катушками с самоиндукцией и не достигали чувствительной трубки. Мы этой цели достигли вставлением трубки между обмотками реле.

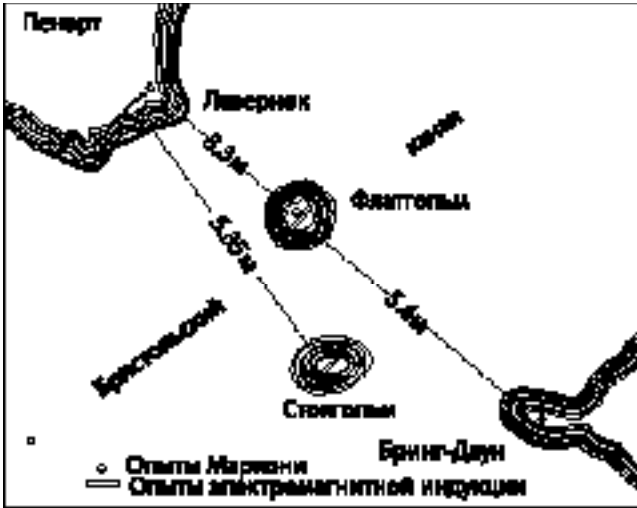
Маркони пользуется явлением резонанса. Если мы имеем два тела, способные звучать в унисон, то колебания в воздухе, произведенные одним, могут вызвать звучание второго тела. Так как всякому проводнику присуще свое собственное колебание определенного периода, то можно подобрать приемник такого размера, чтобы его колебания отвечали колебаниям вибратора. Мы пытались в своих опытах воспользоваться резонансом, но он мало помогал. Мы усиливали вибратор тем, что получали предельные длины искры. Если же уменьшить разрядное расстояние, то колебания будут затухать медленнее и резонанс выразится резче. У Маркони расстояние между шарами невелико — около миллиметра. Следовательно, начальная энергия его вибратора сравнительно мала, но зато легко можно увеличить расстояние, на котором действует приемник, пользуясь резонансом. В этом я также вижу отличие опытов Маркони по сравнению с нашими.

На прилагаемом черт. 7 указана схематическая карта местности, где производились опыты Маркони, которые велись также на море. На карте показаны места приборов Маркони и расстояния. Это наибольшее расстояние опытов Маркони.

Прис говорит, что он, увеличивая размеры вибратора, достигал больших расстояний, до 14 километров. Здесь же указаны чертами места опытов Приса с параллельными проводниками.

Вот все, что было до сих пор опубликовано Маркони.

Сравнительные результаты и история наших опытов и опытов Маркони уже теперь позволяют мечтать о дальнейшем развитии этого дела и о практических применениях его в военно-морском и военном деле на суше, а также в помощь маячным световым и звуковым сигналам, так как электромагнитные волны не задерживаются ни туманом, ни бурей.



Черт. 7

Теперь остается только продемонстрировать прибор в связи с телеграфом. Вопрос состоит только в подборе элементов, вибратора, молоточка, сопротивления обмоток телеграфа и т. д. Все это надо подобрать. Всякая волна делает точку на телеграфной ленте, но одними точками действовать нельзя, надо чтобы вибратор действовал периодически. 5, 10, 15 точек дадут черту, и сигнализация становится возможною.

Здесь собран прибор для телеграфирования. Связной телеграммы мы не сумели послать, потому что у нас не было практики, все детали приборов нужно еще разработать.

В заключение остается сказать, что слишком легкие первые шаги в этом деле позволяют надеяться и на значительные увеличения расстояний.

На прилагаемом черт. 7 указана схематическая карта местности, где производились опыты Маркони, которые велись также на море. На карте показаны места приборов Маркони и расстояния. Это наибольшее расстояние опытов Маркони.

Прис говорит, что он, увеличивая размеры вибратора, достигал больших расстояний, до 14 километров. Здесь же указаны чертами места опытов Приса с параллельными проводниками.

Вот все, что было до сих пор опубликовано Маркони.

Сравнительные результаты и история наших опытов и опытов Маркони уже теперь позволяют мечтать о дальнейшем развитии этого дела и о практических применениях его в военно-морском и военном деле на суше, а также в помощь маячным световым и звуковым сигналам, так как электромагнитные волны не задерживаются ни туманом, ни бурей.

Теперь остается только демонстрировать прибор в связи с телеграфом. Вопрос состоит только в подборе элементов, вибратора, молоточка, сопротивления обмоток телеграфа и т. д. Все это надо подобрать. Всякая волна делает точку на телеграфной ленте, но одними точками действовать нельзя, надо чтобы вибратор действовал периодически. 5, 10, 15 точек дадут черту, и сигнализация становится возможною.

Здесь собран прибор для телеграфирования. Связной телеграммы мы не сумели послать, потому что у нас не было практики, все детали приборов нужно еще разработать.

В заключение остается сказать, что слишком легкие первые шаги в этом деле позволяют надеяться и на значительные увеличения расстояний.

Э. Дюкрете
О герцевой телеграфии без проводов
с радиокондуктором Бранли
и приспособлениями А. Попова
и Э. Дюкрете¹

...Я не описываю экспериментов Герца, показывающих, что электрические волны могут пронизывать изолирующие среды, что вполне возможно получить их отражения, преломление, интерференцию и дифракцию, что можно осуществлять поляризацию прямолинейную, эллиптическую и круговую. Их способность распространяться в пространстве позволяет нам прийти к беспроводному телеграфу, осуществленному в 1895 г. русским ученым профессором Поповым, а затем в таких же условиях в 1896 г. Маркони; и тот и другой использовали трубочку с опилками нашего соотечественника профессора Бранли, которая составляет необходимый элемент для данного практического использования электрических волн...

Прибор, описанный и построенный в 1895 г. профессором А. Поповым, ...был применен для приема электрических волн, возбуждаемых атмосферными разрядами, и для передачи на большие расстояния телеграфных сигналов, регистрируемых приемником. Начиная с 1895 г., г. Попов в своих публикациях и в сообщениях Российскому научному обществу показал, что его аппарат может быть практически использован во флоте для передачи сигналов на большие расстояния. Чтобы повысить чувствительность аппарата, Попов соединял один из электро-

¹ [Доклад на заседании Французского Физического общества, 21 января 1898. *Séances de la Société française de physique, Année, 1898, pp. 51-61. (Séance du 21 janvier 1898). Рисунки в наст. сборн. не приводятся*].

дов радиокондукторов Бранли с изолированной металлической проволокой, укрепленной на конце мачты, другой электрод соединялся с землей. Эта система может быть использована и для вибратора со сферическими поверхностями. В обоих случаях оба эти проводника служат электрической емкостью, как я уже об этом сказал выше.

Изолированный проводник приемного аппарата является улавливателем электрических волн, излученных в пространство; у передатчика же он является излучателем. Их общая длина может подбираться и меняться сообразно с преодолеваемым расстоянием. Для двойных станций с помощью переключателя мачты попеременно выполняют обе эти функции.

Как легко убедиться по чертежам схем, эти проводники не имеют соединения с электромагнитами аппарата, в противоположность обычной телеграфии, где земля служит обратным проводом для линейного тока, протекающего по обмотке электромагнита.

Мы теперь знаем все отдельные части, составляющие систему телеграфирования без проводов, изобретенную и примененную Поповым. Итак, электрические волны, возбужденные искровым вибратором, служащим передатчиком, достигают радиокондуктора Бранли, который становится проводником. В результате этого цепь с включенным в нее регистрирующим приемным реле замыкается. В то же время автоматически маленький электрический молоточек встряхивает опилки радиокондуктора. В результате этого проводимость трубки с порошком исчезает и все возвращается в первоначальное состояние, пока новая волна не достигнет чувствительной трубки.

Я опишу теперь аппараты, которые я имею честь вам представить и которые отличают некоторые практически важные усовершенствования, сделанные мною. Как и все телеграфные аппараты, они имеют передатчик и приемник.

Передатчик содержит индукционную катушку Румкорфа, достаточно мощную, если она должна работать на большие расстояния. Модель, <...>, которую я создал, портативна. В первичной цепи индуктора находится вибратор или прерыватель непрерывного действия, в зависимости от мощности ин-

дукционной катушки. Тот, с которым я экспериментировал и который я представил Обществу, задействуется мотором. Его работа не оставляет желать ничего лучшего в смысле регулярности и скорости. Специальной ручкой манипулятора производятся длинные и короткие разряды.

Батарея аккумуляторов вырабатывает электрический ток, который периодически циркулирует в индукторе. Именно эта электрическая энергия, определенной мощности, но напряжением всего в несколько вольт, превращается во вторичной обмотке из тонкой проволоки и хорошо изолированной от первичной обмотки, в высокое напряжение, превосходящее 200 000 в для катушки, фигурирующей в опыте. Оно позволяет получить искры большей длины, которые так и брызжут между сферами разрядника. Будет полезным отметить, что после этой трансформации электрическая энергия высокого напряжения не превосходит 60 вт или примерно $\frac{1}{12}$ лошадиной силы.

Вибратор сконструирован согласно данным профессора Риги, но эта модель позволяет получить широкую регулировку длины искр, начиная с контакта сфер, а также наблюдать эти искры внутри сосуда, если они проскакивают в изолирующей жидкости, как об этом было сказано выше. Вибратор с тремя шарами, использованный г. Лоджем и г. Бозе, дал хорошие результаты. Искровые разряды, короткие или длинные, производятся ручным манипулятором и дают электрические волны, которые воздействуют на расстоянии на приемник.

Приемник содержит:

1. Радиокондуктор Бранли с автоматическим встряхивателем, расположенным, как у Попова. Моя модель не содержит стеклянной трубки, и внутренние цилиндры, между которыми находятся опилки, имеют регулятор. Благодаря конструкции этих чувствительных трубок действие внешнего воздуха на порошок исключено, точно так же как не требуется и его возобновление в трубке. Электроды радиокондуктора, как это было сказано, соединены с изолированным проводом (приемник Попова) и с землей.

2. Телеграфное реле высокой чувствительности. Я указывал, что гальванометрическое реле может быть использовано с успехом как реле, приводящее в действие электромагниты как самого регистратора, так и встряхивателя. Чтобы избежать действия искр от прерывателя тока, достаточно включить в цепь, как я это указывал в 1893 г., или маленький вольтметр, или сопротивление, или конденсатор и т. п. Реостат от вольтметра с платиновыми стержнями дает хорошие результаты.

3. Приемник-регистратор. Как я уже говорил, приемник, который я построил, действует автоматически. Он позволяет упразднить телеграфиста при беспроводном приеме герцевских волн. Это имеет большое значение, и вы сами убедитесь в этом. Приемник благодаря большой чувствительности радиокондуктора Бранли может регистрировать все электрические волны, способные воздействовать на чувствительность трубки даже тогда, когда эти волны атмосферного происхождения. Обычное участие телеграфиста сводится к развертыванию бумажной ленты при каждом вызове и к останавливанию ее, когда волны перестают поступать.

Сделав приемник автоматическим, я устранил обязательное участие телеграфиста для регистрации сигналов. Приемник сам развертывает бумагу, когда приходят волны, и останавливает ее, когда волны перестают поступать. Пробелы отделяют каждую депешу и каждый прием волн. Для телеграфии без проводов радиокондуктор со встряхивателем возбуждаются электрическим реле. Они вполне удовлетворяют условиям приема: чтение сигналов может производиться на слух с помощью портативных аппаратов. Эта группа при желании может быть соединена также с портативным, независимым приемником-регистратором. Эти портативные аппараты, передатчик и приемник со стержнем мачты, могут быть помещены в обычных телеграфных повозках или на автомобилях.

Расстояния, достигнутые в первых опытах г. Попова, составляли: 1500 м, затем 5 км над морем с вертикальной изолированной проволокой 18 м высотой. Работы Попова ни разу не прерывались. Г. Маркони получил дальности: 5, 16 и 23 км с мачтами в 25, 30 и 36 м высоты; примененные аппараты имели мощность той

же величины, как и те, которые я имел честь вам показать. Эксперименты показывают, что эти расстояния практически смогут быть превзойдены без пропорционального увеличения высоты вертикальных проводов.

Не следует думать, что эти интересные эксперименты приводят к тому, что герцевский телеграф без проводов заменит обычный электрический и оптический телеграф. Но на основании приведенных данных можно предвидеть, какую помощь он может оказать для связи между судами и берегом, для маяков, для связи между берегом и ближайшими островами, для отдельных постов наших африканских и азиатских колоний, для текущих военных служб и служб эксплуатации и т. д.

Можно видеть, что новая система телеграфирования не будет иметь недостатка в практическом применении.

Дистанционный эффект, характеризующий герцевский телеграф, связан с применением весьма слабой электрической энергии. Бранли показал, что эта энергия может быть усилена: батарея более чем из двенадцати аккумуляторов может быть включена в цепь с мощным радиокондуктором; в результате сила тока в такой цепи будет изменяться от нуля до 15–20 а именно в тот момент, когда опилки в трубке становятся проводником под действием искры. Введя в цепь электромагнит (представляющий собой реле для сильного тока) вместе с одним из моих маленьких радиокондукторов, стало возможным получать весьма сильное действие, как только на расстоянии возбуждается искра: якорь электромагнита замыкает ток от сильной батареи аккумуляторов. Отправным моментом для действия служат всегда электрические волны, посланные в пространство. Итак, я могу воспроизвести перед вами:

- накаливание длинной металлической проволоки;
- пуск мощного электрического мотора;
- введение в действие сильного электромагнита;
- зажигание лампочки накаливания;
- взрыв капсулы мины.

Таким образом, с помощью реле можно использовать в зависимости от обстоятельств и желаемого эффекта мощные потоки электрической энергии.

Я надеюсь, господа, что сумел вас заинтересовать и показать, что наша французская промышленность и, в частности, мое предприятие не зависят от иностранной промышленности. Я постарался также исключить в этом сообщении все иностранные термины, так как французский язык достаточно богат, чтобы найти подходящие слова. Я благодарю вас, господа, за благосклонное внимание, которое вы мне уделите. Я благодарю моего инженера г. Роже (Roger) за его помощь при подготовке экспериментов, которые я воспроизвел перед вами.

В. Ф. Васильев, А. С. Попов, П. Н. Рыбкин
Отчет Комиссии об опытах электрической сигнализации
без проводников, произведенных на Минном отряде
в кампанию 1897 г.

2 декабря 1897 г.

В течение зимы 1896/97 г. были получены известия об опытах, производимых в Англии Маркони и Присом над телеграфированием без проводников, причем сущность этих опытов тщательно скрывалась. Между тем, еще в 1895 г. в Минном офицерском классе преподавателем А. С. Поповым был сконструирован прибор, дающий возможность делать сигналы электрическим звонком на расстоянии. Опытов в большом масштабе с ним не было произведено, но теоретически можно было ожидать, что некоторые изменения в приборах дадут возможность достигнуть сигнализации на расстоянии, достаточные для практических приложений этого способа, при переговорах между судами, хотя бы стоящими на рейде или идущими в эскадренном строю.

Весной 1897 г. в Кронштадтской гавани были произведены опыты с приборами, для этого специально построенными, давшие в результате возможность установить сигнализацию на расстоянии около 300 саженей между крейсером «Россия» и «Африка», а также некоторые данные для решения задачи об увеличении расстояния сигнализации. Пользуясь результатами этого опыта отчасти на основании лабораторных испытаний, отчасти на основании теоретических работ, относящихся к этому вопросу, были заказаны приборы для летних опытов на минном отряде на средства, ассигнованные Морским техническим комитетом. Для испытаний этих приборов была назначена комиссия.

Самый способ телеграфирования без проводников по существу содержит два рода приборов: источник электрических волн, так называемый вибратор, в котором происходят разряды весьма сильной Румкорфовой спирали, и прибор, обнаруживающий электрическую волну

на расстоянии, если таковая достигнет вертикального приемного проводника, ведущего к прибору. Всякий отдельный разряд в вибраторе вызывает замыкание тока местной батареи в приемном аппарате; таким образом можно передавать точки азбуки Морзе. Для возможности телеграфирования обычной азбукой Морзе (точки, тире) нужны еще вспомогательные приборы, на станции отправления особый прерыватель для действия Румкорфовой спирали, дающий ряд разрядов, следующих ритмически, чтобы составить на приемной станции из пунктирной линии длинные и короткие черты, а для станции получения — нужный телеграфный аппарат, более чувствительный, чем существующий в практике, с лентой, медленно идущей, так как самый способ возбуждения электромагнитной волны требует, чтобы отдельные импульсы следовали друг за другом не слишком часто. Для разработки вопроса на первый план были поставлены следующие задачи:

1. Увеличить расстояние, на котором можно посылать сигналы. Этого можно достигнуть двумя средствами: увеличением мощности источника волн и увеличением чувствительности приемника. Лабораторные опыты минувшей зимы дали возможность увеличить чувствительность приемника в 5–6 раз, и так как дальнейшее увеличение чувствительности может иметь некоторые неудобные стороны, то внимание было направлено на усиление энергии электромагнитной волны; для этого были заказаны различные формы вибраторов.

2. Опытном надо было найти из заготовленных приборов комбинацию, дающую наибольшие расстояния правильного действия сигнализации.

3. Определить степень постоянства чувствительности приборов, а также изучить причины, обуславливающие изменение чувствительности, если она будет непостоянна.

4. Определить влияние атмосферных условий на дальность и исправность действия сигнализации.

5. Испытать действие приборов в судовой обстановке с целью определить влияние на сигнализацию металлических частей судна, найти наиболее выгодное помещение приборов на судне и вообще определить те особенности, которые потребуются для приборов, назначенных к употреблению на судах.

Так как не имея приборов, действующих достоверно на значительных расстояниях, было бы преждевременно разрабатывать детали системы, то на второе место были поставлены следующие задачи:

6. Попробовать приспособить имеющиеся в распоряжении телеграфные приборы к установлению постоянной связи между судами.

7. Разработать вспомогательные приборы для телеграфирования.

8. Выработать приспособление для пользования током от судовых динамо-машин источниками электромагнитных волн.

Для решения задач, поставленных в пунктах 1, 2, 3 и 4, на берегу острова Тейкарсари была установлена станция отправления, а на катере, постепенно удалявшемся от источника волн, — приемная станция, причем расстояние между приборами можно было знать по заранее расставленным вехам, с точностью до 10–20 саженей. На станции отправления производилось по знаку флагом с приемной станции всякий раз три отдельных разряда, следующих с равными промежутками, а на приемной станции наблюдалось число замыканий тока на гальванометре. Таким образом можно было решить: на каком расстоянии (максимальном) все посланные волны дают полный эффект на приемном приборе, от каких причин зависит это расстояние и насколько можно считать постоянным максимальное расстояние при повторении опыта в разное время как при тождественных атмосферных условиях, так и при различных.

Эти опыты дали следующие результаты.

Наибольшие расстояния достигаются увеличением энергии волны; величина же этой энергии определяется размерами вибратора и действующей разностью потенциалов, в свою очередь обусловливаемой мощностью индукционной спирали и длиной разрядной искры в вибраторе. При данном вибраторе и при данной длине искры всегда получались одни и те же максимальные расстояния, если состояние погоды было одинаково, что доказывало очень ценное свойство приборов: постоянство чувствительности приемника и постоянство мощности источника волн. Дальность сигнализации из сравнительных опытов оказалась, кроме того, чувствительно зависящей, как и следовало ожидать, от высоты вертикального проводника, принимающего волну на станции получения сигнала. Наибольшая дальность, достигнутая с береговой станции, помещенной на высоте 1 сажени над уровнем воды, при передаче на катер с приемной мачтой 4 сажени, была 3 версты. Когда, впрочем, станция отправления была помещена на верхнем мостике транспорта «Европа», стоявшем на якоре, а приемный аппарат на крейсере «Африка», причем длина приемной проволоки достигла 8 саженей, то расстояние, определяемое по положению «Африки», бывшей на ходу, достигало 5 верст (3 миль).

Состояние погоды может сказываться на действии приборов по следующим причинам:

1) Грозовые тучи и даже облака, давая электрические разряды, служат источниками электромагнитных волн, которые могут вызвать действие приемного прибора помимо станции отправления, и при частых разрядах во время грозы телеграфирование невозможно. Помимо грозовых разрядов, электрические колебания хотя и возникают иногда, но сравнительно редко, как показывают двухлетние наблюдения на Метеорологической обсерватории Лесного института, производимые над прибором, подобным приемнику, а потому не могут мешать сигнализации.

2) Влажность атмосферы оказывает неблагоприятное действие на изолировку вибратора и ослабляет разряд, но это влияние вполне устранимо устройством закрытых приборов, что легко осуществимо. С приборами, заготовленными для опытов нынешнего лета, нельзя было во время дождя делать опытов на открытом воздухе, но, помещая вибратор внутрь рубки (на «Европе»), можно было испытывать действие приборов и во время дождя.

3) Очень важно было решить, влияет ли состояние атмосферы (дождь, туман и т. п.) на распространение волн, — для этого делались опыты во время проливного дождя и очень частого мелкого дождя. Ослабляющего действия не было замечено. Тумана не было во время опытов (по английским данным туман не препятствует действию приборов).

Влияние судовой обстановки сказывается в следующем: все металлические предметы - мачты, трубы, снасти — должны мешать действию приборов как на станции отправления, так и на станции получения, потому что, попадая на пути электромагнитной волны, они нарушают ее правильность, отчасти подобно тому, как действует на обыкновенную волну, распространяющуюся по поверхности воды, брекватер, отчасти вследствие интерференции волн, в них возбужденных, с волнами источника, т. е. влияют неблагоприятно.

Для изучения этих условий станция отправления была помещена на транспорте «Европа», а приемная станция — на «Африке». Оказалось, что для успешного действия между станциями достаточно, чтобы непосредственно между вибратором и приемной проволокой не попадались вертикальные проводники; проводники же, расположенные по соседству, не препятствуют. Взаимное расположение приборов можно определить так: нужно чтобы от вибратора была видна приемная проволока.

Ослабляющее действие промежуточных проводников неоднократно проявлялось во время опытов. Так, например, когда суда, стоящие на якоре, располагались на створе мачт, то приходилось приемную проволоку переносить на бак или на ют, смотря по положению судна.

Наблюдалось также влияние промежуточного судна. Так, во время опытов между «Европой» и «Африкой» попадал крейсер «Лейтенант Ильин», и если это случалось при больших расстояниях, то взаимодействие приборов прекращалось, пока суда не сходили с одной прямой линии.

При низком положении вибратора и приемника мешает взаимодействию приборов и борт судна, в чем можно было убедиться опытом, помещая приемный прибор на катере, а вибратор на палубе.

Эти опыты приводят к заключению, что приборы надо помещать по возможности высоко.

Попытки приспособить имевшиеся в Минном офицерском классе телеграфные аппараты показали несоответствие его частей с другими необходимыми приборами, но эта часть задачи не представляет затруднений и решается лабораторными опытами. Задача, поставленная в пункте 8, также требует кабинетных работ.

В конце июня в специальных журналах были опубликованы некоторые данные об опытах Маркони и Приса, произведенных в Англии. Оказалось, что устроенные ими приборы были по существу тождественны с нашими, но в некоторых деталях английские приборы имеют отличие. По словам Приса, ими были испытаны также многие видоизменения, сходные с нашими. Так, в некоторых случаях они достигали более значительных расстояний. Поэтому мы сочли важным заказать приборы, следуя указаниям, появившимся в литературе, но эти приборы, заказанные нами в Петербурге, не были своевременно готовы (главный из них был окончен в октябре), так что сравнительные опыты с ними — дело будущего.

Выводы из опытов минувшего лета могут быть резюмированы в следующих пунктах.

Легко достигнутое увеличение расстояния с десятков саженей до 2 тысяч — дает надежду на дальнейшее увеличение расстояний (по литературным данным, впрочем противоречивым, на опытах в Италии достигнуты расстояния до 18 километров).

При достигнутых уже расстояниях употреблять сигнализацию на эскадрах.

Применение источника электромагнитных волн на маяках в добавле-

ние к световому или звуковому сигналам может сделать видимыми маяки в тумане и в бурную погоду: прибор, обнаруживающий электромагнитную волну звонком, может предупредить о близости маяка, а промежутки между звонками дадут возможность различать маяки. Направление маяка может быть приблизительно определено, пользуясь свойством маяч, снастей задерживать электромагнитную волну, так сказать, затенять ее.

Способ сигнализации может допускать употребление как обыкновенной азбуки Морзе, так и употребление цифровой системы и сигнальной книги.

Все до сих пор сделанное может рассматриваться, как первый шаг в этом направлении. Продолжение опытов очень желательно, так как детали приборов могут быть усовершенствованы только при постоянных контрольных испытаниях.

Для дальнейшей разработки дела необходимо устройство двух постоянных пунктов, между которыми могла бы быть установлена постоянная связь. Чтобы к началу кампании будущего года иметь для испытания практические приборы, необходимо теперь же продолжать работы, на что нужны новые затраты. По литературным данным, такие опыты производятся в настоящее время в Англии, Италии, Германии и Австрии; на первоначальные опыты в Англии было израсходовано 600 фунтов стерлингов.

Помимо применений телеграфирования без проводников, в морской жизни этот способ может и теперь иметь значение для сообщения между отдельными фортами в укрепленных районах, где часто расстояния не превосходят 5–8 верст.

Расходы, произведенные на предварительные опыты, немного превосходят ассигнованную сумму (900 рублей), и, конечно, опыты стоили бы гораздо дороже, если бы не пользовались готовыми приборами Минного офицерского класса. Определить точно цифру, необходимую для дальнейших работ, не представляется возможным, но если задаться устройством двух станций, снабженных всем необходимым, помимо средств Минного класса, и иметь еще в виду разработку приборов, причем первые экземпляры всегда будут сравнительно дороги. Поэтому необходимые средства можно определить от 3000 до 4000 руб. (Ценность бывших в деле приборов около 1500 руб.)¹

<...>

Подписали преподаватель А. Попов, ассистент П. Рыбкин, капитан 2-го ранга Васильев. Письмоводитель Бологовский.

¹ [2, С. 138–144. Там же приведен источник: {ЦГАВМФ, ф. 440, оп. 1, д. 108, лл. 48–52. Копия}].

А. С. Попов
Об опытах телеграфирования
без проводников, произведенных
в кампанию 1898 г. на Минном отряде¹

Опыты прошлого года показали, что передача сигналов помощью электромагнитных колебаний вполне возможна на расстояниях до трех миль, поэтому в течение зимы 1897 г. разрабатывались преимущественно детали собственно телеграфных приборов. Пользуясь старыми телеграфными аппаратами Минного офицерского класса, удалось скомбинировать две телеграфные станции, которые могли работать помощью электрических колебаний. Несколько необходимых дополнительных опытов было сделано до начала кампании Минного отряда благодаря содействию его превосходительства главного командира Кронштадтского порта, представившего для опытов катер «Рыбка». В этих опытах станция отправления была помещена на «Рыбке», крейсировавшей по малому рейду, а приемные приборы — на мостике эскадренного броненосца «Петропавловск», стоявшего около стенки в средней гавани.

Первой задачей, которую нужно было решить на опыте в кампанию этого года, было устранение одного довольно крупного недостатка, проявившегося в прошлом году, именно вредного, загораживающего действия металлических снастей, мачты и трубы судна, когда они попадали на пути распространения электрических волн. Для этого на берегу о-ва Тейкарсари была устроена станция отправления, измененная против прежнего: самый источник электрических волн был помещен в будке и связан с

¹ [4, С. 9496. Там же приведен источник: {ЦГАВМФ, ф. 421, оп. 4, д. 612, лл. 23–24 об. Подлинник}].

изолированной сетью проводников, натянутых на мачтах, установленных возле. Подобная же сеть была натянута на крейсере «Африка» через клотики и по концам рей в два параллельных кольца; к этой сети присоединялся приемный телеграфный аппарат, стоявший в рубке. При таком устройстве станций передача сигналов уже не зависела от положения судна, так как при всевозможных относительных положениях его электрическая волна встречала незагороженный, изолированный проводник, связанный с приемником. Только одно положение оказалось менее благоприятно, именно, когда судно было обращено к станции носом, но и здесь оказалось вредное влияние соседнего проводника: передний приемный проводник, протянутый сверху мачты к носу судна, хотя и не касался нигде металла судна, но был очень близок к штагу. Сеть была везде удалена от металлических снастей по крайней мере на три фута, и прием сигналов стал происходить беспрепятственно. Та же самая сеть проводников служит и для отправления с судовой станции; в таком случае разрядник, возбуждающий колебания, соединяется с сетью, а приемный аппарат отделяется от нее.

После того как была решена эта задача, были произведены сравнительные испытания различных видов разрядников, результат которых был очень важен; оказалось, что сама сеть служит хорошим источником для электрических волн, а размер и форма разрядника уже не играют большой роли; вместо громоздких вибраторов Герца может быть употреблен таковой же, но самых небольших размеров. Это значительно упрощает устройство станции отправления, сводя ее только к трем частям: индукционная катушка Румкорфа, небольшой разрядник и сеть изолированных проволок. На станции получения — та же сеть и приемный телеграфный прибор. Все приборы устанавливаются внутри рубки, и только сетка из проволок остается для внешних действий. К концу кампании были установлены две тождественные станции: одна на крейсере «Африка», другая на транспорте «Европа». Таким образом, между этими судами было установлено постоянное телеграфное сообщение; к этому времени была уже достаточно обучена телеграфированию команда, служившая во время опытов, и было возможно поль-

зоваться этим телеграфом для обмена служебными депешами. С 21 августа по 3 сентября было передано сто тридцать шесть служебных телеграмм, не считая ежедневного обмена депешами исключительно для практики команды. Во время шторма 3 сентября телеграф остался единственным средством сообщения между судами, действовал совершенно беспрепятственно и оказал чувствительные услуги команде крейсера «Африка».

Расстояние, на котором обмен телеграмм был совершенно правилен, определяется наибольшим расстоянием, на которое удалялся крейсер «Африка» во время учений, т. е. около трех миль, причем наибольшие расстояния неодинаковы для обеих станций, потому что различны были высоты мачт и сила индукционных спиралей на обеих станциях.

Что касается желательного увеличения дальности телеграфирования без проводников, то и опыты и литературные данные указывают простые средства для ее увеличения: *главным образом необходимо иметь на той и на другой станции изолированные проводники, по возможности возвышенные над металлическими частями судна. Абсолютная высота мачт хотя и помогает увеличению дальности, но небольшое возвышение проводников над металлической мачтой оказывается более действительным.* Если будет возможность установкой специальной стрелы поднять проводник выше металлических снастей или отчасти устранить их по соседству с проводниками для телеграфа, то можно и совершенно уничтожить сетку на реях и между мачтами и вместе с тем увеличить дальность телеграфирования.

В опытах компании Маркони достигнуты расстояния 54 км при высоте мачты 200 м; при высоте мачты 70 м наибольшее расстояние было 16 км — расстояние увеличивается почти пропорционально высоте мачты, если изменять одну мачту, почти пропорционально квадрату высоты, если увеличивать обе мачты. *В наших опытах высота мачты была около 18 м и при этом мачты содержали в себе громоотводы, что значительно вредило дальности телеграфирования,* так что мы не можем пока сравнить своих результатов с результатами английской компании беспроволочного телеграфа. В течение зимы предположено сделать несколько опытов в Кронштадте между башней Мор-

ского телеграфа и некоторыми фортами с целью определения дальности при изолированных мачтах, а также для испытания новых комбинаций в приборах, обещающих увеличение дальности телеграфирования.

В настоящее время вопрос о телеграфировании между судами эскадры может считаться решенным. В ближайшем будущем желательно снабдить несколько судов Практической эскадры приборами и людьми, обученными телеграфному делу, чтобы сделать оценку полезности и применимости новых приборов в ежедневном обиходе и в различных случайностях морской службы.

В недалеком будущем, вероятно, все большие океанские суда будут иметь приборы для телеграфирования без проводников, чем значительно будут уменьшены шансы столкновения судов во время тумана, и тогда будет уместно снабжать такими же приборами и маяки вдобавок к их световым источникам.

Преподаватель А. Попов

Акт комиссии о производстве опытов телеграфирования без проводов по способу А. С. Попова на Черном море¹

13 октября 1899 г.

Приборы для телеграфирования без проводов были доставлены на суда эскадры 24 августа, накануне начала маневров, и были размещены следующим образом: на броненосцах «Георгий Победоносец» и «Три Святителя» — полные станции, т. е. приборы для отправления и для приема. На минном крейсере «Капитан Сакен» была установлена только станция отправления.

На броненосце «Георгий Победоносец» станция помещена на мостике между трубами в парусиновой палатке. Приемный провод был укреплен на гафеле, с передней стороны мачты и затем на рейке. Гафель был привязан на ноке нижней реи. Отсюда провод между снастей и приспособлений для подъема шлюпок проходил к палатке.

Это обстоятельство неоднократно останавливало действие станции во время спуска и подъема гребных судов, так как приходилось убирать провод. Все это было устроено наскоро, дабы иметь возможность испытать действие приборов во время маневров, в обстановке наиболее близкой к боевой.

Вторая станция, установленная на броненосце «Три Святителя», была помещена в условиях, несравненно выгоднейших (в командирской рубке, под мостиком). Приемный провод был проведен в достаточном удалении от снастей и приспособлений для подъема шлюпок. Вследствие этого и благодаря удобствам помещения эта станция действовала непрерывно, так как было возможно устано-

¹ [ЦГАВМФ, фонд МТК, д. 53, 1898–1902 гг., н. 1, л. 60–64, подлинник].

вить постоянное дежурство телеграфистов и ассистента Минного офицерского класса П. Н. Рыбкина.

На крейсере «Капитан Сакен» первоначально не было специального помещения для станции, и приборы устанавливались на юте на открытом воздухе только по временам, когда можно пользоваться змеем для подъема приемного провода. При приборах был лейтенант Колбасьев.

Телеграфное сообщение началось 25 августа на Севастопольском рейде, куда возвратилась эскадра вследствие бурной погоды.

Были пущены в действие станции на броненосцах «Георгий Победоносец» и «Три Святителя», при расстоянии в 4 кабельтовых, причем между станциями стоял броненосец «Двенадцать апостолов».

28 августа эскадра снова вышла в море, и в течение дня производились опыты телеграфирования между броненосцами «Георгий Победоносец» и «Три Святителя».

С крейсера «Капитан Сакен» также было принято несколько депеш, причем крейсер «Капитан Сакен» находился при эскадре.

В следующий день... броненосцы стояли у Казачьей бухты. Крейсер «Капитан Сакен» был послан к месту первой высадки у реки Качи, причем от него было принято на телефон несколько депеш на броненосце «Три Святителя» и одна на броненосце «Георгий Победоносец». Расстояние между Казачьей бухтой и рекой Казачьей — 9 миль.

Вечером того же дня броненосец «Три Святителя» снялся с якоря и отделился от эскадры, идя навстречу десантных судов; при этом был сделан опыт передачи депеши на дальнюю дистанцию. На броненосце «Георгий Победоносец» был пущен змей и отправлялись депеши, записываемые по часам в течение 2 часов 20 минут по снятии с якоря. Депеши были принимаемы на расстояниях до 14 миль. Из последней депеши, посланной с броненосца «Георгий Победоносец» на расстоянии около 16 миль, были разобраны два слова.

В последний день маневров приборы были испытаны во время непрерывной стрельбы с обоих судов в течение 2 часов.

Хотя стрельба производилась холостыми выстрелами, однако вследствие помещения приборов на мостике ощущались чувствительные сотрясения. Несмотря на это, на броненосце «Георгий

Победоносец» было принято 7 депеш, а на броненосце «Три Святителя» — 10 депеш, в среднем по 7 слов. Сотрясения от собственных выстрелов изредка отзывались на приемном приборе лишней точкой, но телеграфист всегда мог заметить эти точки. Последняя депеша была получена на броненосце «Три Святителя», когда он становился на якорь на Севастопольском рейде, а броненосец «Георгий Победоносец» был еще вне рейда.

После маневров приборы с броненосца «Три Святителя» перенесли на броненосец «Двенадцать апостолов», где опять были помещены в командирской рубке.

Станция на броненосце «Георгий Победоносец» с верхнего мостика была перенесена в каюту в правом коридоре в батарейной палубе. Провод был введен через иллюминатор с наружного борта, причем с реи он был взят через отводной реек на мостике для обхода шлюпбалок. Помещение станции внутри корпуса корабля не оказало влияния на передачу депеш при переговорах на рейде и на ходу эскадры при дальнейшем ее следовании из Севастополя в Ялту.

На крейсере «Капитан Сакен» к этому времени также была установлена полная станция в кормовой рулевой рубке; при станции был минный офицер лейтенант ЩигOLEв, уже ознакомившийся с действием приборов на броненосце «Три Святителя».

2 сентября крейсер «Капитан Сакен» с другими мелкими судами был отправлен в Балаклавскую бухту и остановился в глубине бухты, совершенно закрытый горами. Во время прохода эскадры мимо Балаклавы сигналы, посылаемые с крейсера «Капитан Сакен», не достигали до броненосцев и обратно. Впрочем крейсер «Капитан Сакен» был почти на предельном расстоянии действия его приборов, так как на этот раз нельзя было воспользоваться змеем, и на крейсере «Капитан Сакен» была только мачта, удлиненная до 60 футов, считая от ватерлинии. На время боевой стрельбы по щитам от Балаклавы приборы на броненосцах были сняты и отнесены в нижние палубы. После стрельбы станции были возвращены на места. Во время стоянки эскадры в Ялте были сделаны испытания на быстроту передачи; наибольшая достигнутая быстрота получалась 15 букв в минуту.

При переходе эскадры из Ялты в Феодосию был установлен взаимный обмен депешами между тремя станциями по условным вызовам (высота мачты на крейсере «Капитан Сакен» в это время была увеличена до 70 футов).

7 сентября был сделан опыт переговора между броненосцами «Двенадцать апостолов» и «Георгий Победоносец». Броненосец «Георгий Победоносец» оставался на Феодосийском рейде, а броненосец «Двенадцать апостолов» удалялся от него. Взаимный обмен депеш между ними без перерыва продолжался до расстояния в 6 миль в обе стороны. Потом на броненосце «Георгий Победоносец» была сделана попытка поднять змей, но вследствие маловетрия не удалось. В это время броненосец «Двенадцать апостолов» удалился на 11 миль и делал циркуляцию. С броненосца «Георгий Победоносец» была сделана телеграмма и была получена на броненосце «Двенадцать апостолов» на телефон. Ответ был получен на броненосце «Георгий Победоносец». На новый вопрос с броненосца «Георгий Победоносец» была послана депеша: «Расстояние 9 миль», при этом цифра «9» не была разобрана. На просьбу о повторении была получена совершенно отчетливая депеша. В это время броненосец «Двенадцать апостолов» был на 8-й миле от «Георгия Победоносца». С этого момента сообщение опять установилось.

8 сентября был произведен добавочный опыт; энергия источника была уменьшена и установлена передача между броненосцами «Двенадцать апостолов» и «Георгий Победоносец» (расстояние 3 кабельтовых).

Затем станция на броненосце «Двенадцать апостолов» была перенесена вниз на батарейную палубу, а приемный провод был проведен внутри железной мачты с нока нижней реи, причем верхняя часть провода осталась на своем месте. Такой перенос станции внутрь судна, по-видимому, не повредил совершенно действию станции.

9 сентября был сделан еще опыт с крейсером «Капитан Сакен» при мачте, увеличенной до 76 футов от ватерлинии; на броненосце «Георгий Победоносец» высота провода — 120 футов. (Мачта «Двенадцать апостолов» — 103 фута. Высота провода «Три Святителя» — 125 футов.)

В обе стороны переговоры прекратились на 5-й миле, но депеши, отправленные с крейсера «Капитан Сакен», принимались на броненосце «Георгий Победоносец» до 7-й мили. В это время над эскадрой прошла дождевая полоса, не задевая крейсера «Капитан Сакен». Дождь нисколько не повредил приему депеш на броненосце «Георгий Победоносец». На 11-й миле на крейсере «Капитан Сакен» был пущен змей и отправлена депеша; она была принята на броненосце «Георгий Победоносец» на телефон. Этим были закончены опыты на эскадре.

10 сентября приборы были упакованы для отправления в С.-Петербург.

На броненосце «Георгий Победоносец» был случай обливания приборов волной через иллюминатор; это не повредило приборов, но остановило действие станции на несколько часов. Это обстоятельство всегда может быть устранено особым устройством иллюминатора для прохождения в нем изолированного проводника. При обсушивании прибора в одной из кают вблизи машинного помещения температура (около 30 градусов Реомюра) оказалась излишне высокой для изолировки индукционной катушки.

Из опытов можно сделать следующее заключение:

1. Помещение для станции должно быть закрытое, не подверженное влиянию высокой температуры.

2. Относительно приемного провода (он же и отправительный) произведенные опыты указали, что высота подвешивания... для увеличения района действия телеграфа имеет первостепенное значение. Вредное действие металлических снастей при соответствующем положении судов замечалось во время маневрирования, и необходимо удалить металлический такелаж стенок. Громоотвод должны сделать хорошо изолированным и взять его за приемный провод. Во время грозы его можно соединять с мачтой, так как телеграф во время грозы не может функционировать правильно.

Стеньгу желательно повесить, насколько позволяют судовые условия каждого отдельного типа, причем высшая точка провода должна быть не ниже 100 футов от ватерлинии.

3. Станция состоит из приборов отправления и приемных приборов. Именно:

Индукционная спираль с разрядником, прерыватель к ней и особый телеграфный ключ. Спираль может питаться током динамомашины, при употреблении соответствующих реостатов или от батарей аккумуляторов в 20 элементов.

Приемный аппарат с двойным комплектом частей.

Автоматический телеграфный аппарат Морзе. Стоимость отдельных приборов не может быть определена по неимению данных, но не превзойдет 3000 рублей в общей сложности.

При каждой станции должен быть опытный телеграфист и три подручных минера для постоянного дежурства. Станция должна находиться в ведении минного офицера.

Правила для совместной работы на многих станциях, чтобы они не мешали друг другу, могут быть выработаны только при продолжительных опытах и при большем числе станций. Эта задача, как и выработка удобнейшего криптографа, должна быть представлена будущему. Затруднение это, однако же, нельзя считать непреодолимым. Во время производившихся опытов был случай, когда при одновременном телеграфировании с броненосца «Георгий Победоносец» и крейсера «Капитан Сакен» на станции броненосца «Двенадцать апостолов» были отличены позывные сигналы крейсера «Капитан Сакен» от депеши, посланной с броненосца «Георгий Победоносец».

Пользование сигнальными книгами может ускорить передачу, а повторение сигнала обеспечит правильность сигнализации, сохранив секрет от неприятеля.

Члены: *Штабс-капитан Михайлов. Лейтенант Шрейбер. Лейтенант Скаловский. Лейтенант Совинский. Лейтенант (подпись). Капитан второго ранга Бострем.*

Участвующие: *Флагманский штурман капитан Ильин. Флагманский минер лейтенант Манеловский.*

Преподаватель М. о. класса А. Попов. Ассистент П. Рыбкин.

А. С. Попов Телеграфирование без проводов¹

1. Опыты Герца, опубликованные в конце 80-х годов, твердо направили учение об электричестве на путь, указанный Фарадеем и Максвеллом, и своею гениальной простотой увлекли почти всех занимающихся экспериментальной физикой к воспроизведению вновь открытых явлений.

Дружная работа теоретиков и экспериментаторов скоро привела к тому, что электрические колебания, электромагнитные волны стали в ряду обычно наблюдаемых явлений. Появилась возможность практических приложений в этой новой области: —возник новый способ телеграфирования с помощью электромагнитных волн — «без проводов».

Как и все другие способы телеграфирования, этот способ пользуется источником энергии, помещенным на станции отправления. Часть этой энергии может быть передана на расстояние на станции приема, где и обнаруживается соответственным приемником. <...>²

9. Электрические колебания, обладая свойствами переменного тока, с трудом проходят по проводнику с самоиндукцией. По свидетельству Маркони, без этих самоиндукций расстояние телеграфирования уменьшается примерно вдвое.

¹ [2, С. 206—227. Там же приведен источник: {Физико-математический ежегодник, 1900, № 1, стр. 100—121. Доклад А. С. Попова впервые был напечатан в «Физико-математическом ежегоднике», а затем в «Трудах Первого Всероссийского электротехнического съезда», т. 2. СПб., 1901, стр. 288—309. Обе публикации имеют незначительные редакционные отличия. Доклад воспроизводится по «Физико-математическому ежегоднику»}. Доклад на соединенном заседании VI отдела Русского технического общества и Первого Всероссийского электротехнического съезда 29 декабря 1899].

² (Текст пп. 2-8 близок по содержанию тексту доклада А.С. Попова в ЭТИ (наст. сб. стр. 188—198); нумерация фигур оставлена как в [2] — прим. сост.).

Наличность этих самоиндукций, однако, необходима только в присутствии ветви без самоиндукции, параллельно обмотке реле, что в свою очередь необходимо только при употреблении обыкновенных реле, обладающих весьма большой самоиндукцией.

Подготовленные мною опыты были произведены на Минном отряде ассистентом Минного офицерского класса Петром Николаевичем Рыбкиным.

Употребленный мною вибратор изображен на фиг. 50¹. Он помещался на возвышенном месте на судне или на открытом месте на берегу. На станции приема трубка соединялась с вертикальным проводом, поднимаемым на судовой мачте, и с землею (с корпусом судна).

Вместо телеграфного реле употреблялся чувствительный вольтметр с подвижной рамкой (Карпантье) иногда просто вместо гальваноскопа, иногда в роли реле. В чувствительной трубке употреблялся стальной раздробленный бисер. Опыты этого лета (1897) имели целью главным образом выяснить пределы возможного для сигнализации расстояния.

Достигнутые результаты показали возможность передачи сигналов до 5 верст расстояния без специальных мачт. Употребление судовых мачт, снабженных громоотводами по всей их длине и укрепленных металлическими канатами, отражается неблагоприятно на электромагнитной волне².

Колебания, образующиеся во всех проводниках, соседних с приемным проводом, ослабляют волну, и энергия электромагнитной волны рассеивается как на станции приема, так отчасти и на станции отправления. В течение этого лета мы не употребляли проводников, соединенных с вибратором на станции отправления, хотя мне были известны опыты Тесла, и в саду Минного класса я употреблял уже и ранее с некоторыми вибраторами вертикальный проводник на станции отправления.

10. Первые опыты Маркони были произведены на средства Английского почтово-телеграфного ведомства при непосредственном участии его специалистов, но по получении привилегии в Англии образовалась «Компания беспроволочного телеграфа» (Wireless

¹ [См. черт. 5 в наст. сборн., С. 199. О телеграфировании без проводов. (Доклад, прочитанный в Петербургском Электротехническом институте 31 (19) октября 1897)].

¹ [Наст. сборн., С. 210–215].

Telegraph C°), приобретшая патент Маркони, и дальнейшая разработка этого дела была поставлена на коммерческую ногу.

В течение зимы 1897/98 г. не было сделано чего-нибудь существенного в этом деле.

Но как только была опубликована привилегия Маркони¹, многие занялись опытами телеграфирования помощью электромагнитных волн.

В Германии проф. Слаби, занимавшийся и ранее этим вопросом, воспроизвел (осенью 1897 г.) опыты телеграфирования без проводов и получил со своими приборами, частью лабораторного приготовления, хорошие результаты. Он употреблял в качестве реле, как и мы, гальванометр с подвижной обмоткой, но более чувствительный. Его трубка содержала чистый никель. Он устранил в своем приборе все ветви без самоиндукции, оставив только ветвь, параллельную перерыву в контакте реле. В этом месте ток не прерывался, а только вводилось большое сопротивление, через которое не могли работать молоточек и телеграф, соединенные параллельно. В некоторых опытах проф. Слаби поднимал изолированный проводник помощью воздушного шара и получил возможность передавать депеши на расстояния до 18 км.

В специальных английских журналах появились статьи о первенстве в изобретении беспроволочного телеграфа, вызванные главным образом формулировкой привилегии Маркони, в которой он много общеизвестных фактов приписывал себе, игнорируя работы и имена известных ученых, в особенности О. Лоджа, после Герца более других потрудившегося для изучения электрических колебаний, и Э. Бранли, открытием которого он воспользовался.

Был ли мой прибор известен Маркони или нет, что пожалуй, вероятнее, но во всяком случае *моя комбинация реле, трубки и электромагнитного молоточка послужила основой первой привилегии Маркони как новая комбинация уже известных приборов*. Не подлежит сомнению, что первые практические результаты по телеграфированию на значительных расстояниях были достигнуты Маркони прежде других.

Во Франции мой прибор был описан в некоторых журналах, и при появлении описаний приборов Маркони указано было сходство его приемной станции с моим прибором.

¹ [Наст. сборн., С. 180–187].

В докладе Э. Дюкрете во Французском физическом обществе¹ было выяснено, что все составные элементы приемной и отправительной станций телеграфирования без проводников были уже налицо ко времени взятия патента Маркони.

Г. Дюкрете занялся разработкой приборов телеграфирования и конструировал полную станцию, пользуясь данными моей статьи, и сделал некоторое усовершенствование в устройстве трубки Бранли. Трубка Дюкрете сделана из слоновой кости. Электроды ее, два стержня из никеля, плотно входят в трубку. Расстояние между ними может изменяться по произволу и может быть регулируемо микрометрически винтом, нарезанным на одном из стержней.

Вопросы о приоритете на новые изобретения в настоящее время часто весьма трудно разрешимы вследствие того, что многие лица занимаются одновременно одним и тем же предметом, и могут решаться только чисто формальным образом — по времени печатного опубликования работ.

Имея одинаковые приборы для телеграфирования без проводников с приборами Маркони, трудно и в дальнейшем разойтись с ним существенно. Так, в течение лета 1898 г. на Минном отряде продолжались опыты², подготовленные в течение весны этого года. Вибратор на станции отправления соединялся с сетью изолированных проводников, натянутых на мачтах и реях судна, в том расчете, что колебания, полученные в вибраторе, как показал еще Герц, распространяются по проволокам, связанным с вибратором, и таким образом увеличивается тело, испускающее колебания.

Те же проводники на станции приема служили проводниками, принимающими волну, и были тогда связаны с электродом трубки. На двух судах были установлены приборы для телеграфирования; при этом на одной из станций разбился сосуд с маслом в вибраторе (фиг. 50)³, однако действие приборов не ухудшилось. Это привело к мысли о бесполезности масла.

Сравнивая между собой вибраторы различных размеров и форм, мы пришли к заключению, что в присутствии сети и соединения с землею одного из электродов вибратора можно работать с самым

¹ [Наст. сборн., С. 204–209].

² [Наст. сборн., С. 204–209].

³ [Наст. сборн., С. 216–219].

малым вибратором Герца, т. е. производить разряд между двумя маленькими цилиндриками, оканчивающимися сферическими основаниями.

11. В Англии, в опытах военного ведомства, уменьшая размеры вибратора Риги, введенного Маркони (шары в 20 см диаметром), пришли к употреблению обыкновенного разрядника с шариками около 2—3 см диаметром. Маркони также принял этот разрядник и уничтожил масло. Опыты Маркони продолжались, и приборы разнообразились. Были испытаны различные сети проводников на станции приема и на станции отправления. Был период времени, когда Маркони приписывал большое значение форме поднимаемых проводников, но потом постепенно все ухищрения были оставлены, и источник электрических колебаний был упрощен до одиночного проводника, поднятого по возможности выше и связанного с одним из шариков обыкновенного разрядника, другой шарик разрядника соединяется с землею.

Существенными оказались только следующие обстоятельства: высота изолированного проводника, служащего источником колебаний на станции отправления и приемного проводника на станции приема, возможная тождественность обоих проводников, что, вероятно, важно для резонанса, и хорошее соединение с землею на обеих станциях. Высота поднятия проводников доходила до 200 м и расстояние между станциями до 54 км. К весне 1899 г. было установлено сообщение с упрощенными приборами через Ламанш при высоте мачт в 50 м на расстоянии 45 км.

Таким образом, на современных станциях уже нет специального «вибратора», и электрические колебания образуются в самой проволоке в момент разряда, причем в образовании явления первостепенное участие принадлежит земле.

Если присоединить к разряднику только воздушный провод, не соединяя другого шарика разрядника с землей, то присутствие провода почти ничем не скажется — получится такой же разряд, какой дает сама спираль.

Но, присоединяя землю, мы тотчас увидим существенное изменение в характере разряда. Разряд приобретает такой же вид, какой можно получить, присоединяя к разряднику лейденскую банку обеими обкладками.

Присоединение одной только обкладки конденсатора будет отвечать первому случаю, т. е. соединению только изолированного провода.

Таким образом, вертикальный провод и земля образуют собою род конденсатора, колебательный разряд которого и служит источником электромагнитных волн в окружающей среде.

12. Что касается характера возмущений, произведенных таким электрическим колебанием, то можно ожидать, что они сохранят отчасти вид волн, возбужденных герцевым вибратором с вертикальной осью. Несомненно, к этим возмущениям присоединяются еще возмущения, идущие по поверхности земли, так сказать, волны на поверхности уровня электростатического потенциала земли, о чем свидетельствуют необходимость соединения через трубку с землею приемного провода на станции и ослабляющее действие сравнительно низких предметов, встречающихся на пути колебаний, например, леса и мелких судов с металлической оснасткой.

Самый механизм возбуждения колебания в прямолинейной вертикальной проволоке можно с большим вероятием уподобить явлениям, происходящим в обыкновенной закрытой органной трубе. Таким образом, возможная длина волны, возбужденной вертикальной проволокой, может равняться четверной длине самого провода или вообще должна удовлетворять равенству

$$L = (2n - 1) \frac{\lambda}{4}$$

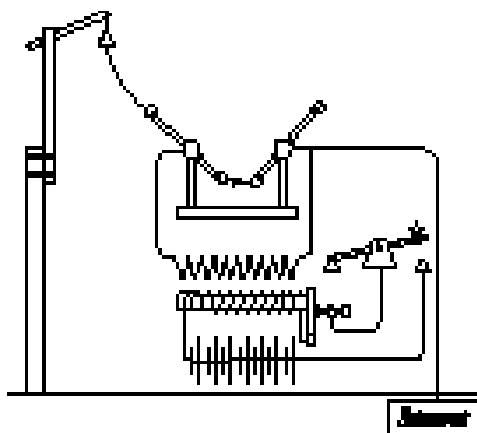
где L — длина провода, λ — длина волны, а n — произвольное целое число.

Прилагаемые схемы (фиг. 51 и 52) представляют соединения приборов на станции отправления и на станции приема.

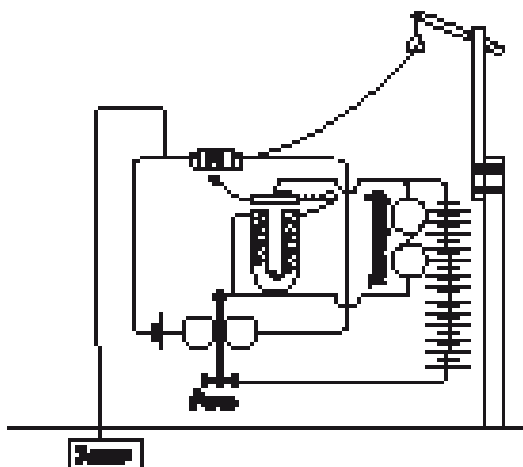
В течение минувшего лета в опытах, произведенных нами, наряду с этим способом приема депеш был испытан еще другой, основанный на особом отношении чувствительной трубки к слабым электрическим колебаниям.

В одном из опытов между островами, окружающими Кронштадт, производимых ассистентом Минного офицерского класса Петром Николаевичем Рыбкиным и заведующим Кронштадтским крепостным телеграфом капитаном Троицким, оказалось, что

снаряженные для опыта приборы не действовали. Не будучи уверенными в полной исправности их, попробовали включить в цепь трубки вместо реле обыкновенный телефон, чтобы на слух узнать о замыкании цепи, и тотчас услышали, что каждый разряд на станции отправления вызывает слабый треск в телефоне; легко можно было принять на слух самую депешу.



Фиг. 51



Фиг. 52

Таким образом оказалось, что трубка под действием слабого импульса временно, только в момент самого колебания, становится проводящей, но проводимость ее не сохраняется.

Дальнейшее изучение явления показало, что при сильных импульсах сопротивление трубки значительно меняется и сохраняет свою величину малого сопротивления, но при слабых импульсах стрелка чувствительного гальваноскопа, введенного в цепь трубки, чуть-чуть колеблется, но не меняет своего положения, при этом существует некоторая весьма малая проводимость трубки. Сопротивление ее 1000—10 000 см. Испытания, произведенные нами, показали, что при помощи телефона можно принимать депеши на расстояниях, значительно больших, нежели при помощи реле и телеграфа при той же высоте мачт.

Особенно удобно принимать депеши на слух, если на станции отправления спираль приводится в действие электролитическим прерывателем Венельта.

Вообще же в телефон отчетливо слышно, с какой частотой работает прерыватель на отравительной станции. Таким образом, можно отличать отправительные станции друг от друга, если их прерыватели работают с различной скоростью.

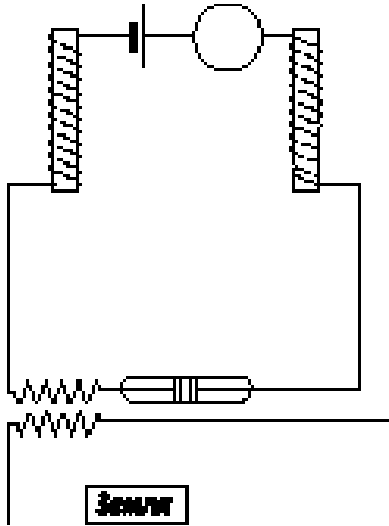
Наибольшее расстояние, на котором нам случалось работать с телефоном, было около 35 верст, причем на станции отправления (на миноносце) для подъема проводника длиной 50 сажен употреблялся змей. На станции приема, на берегу, проводник был поднят на мачту 8—9 сажен высотой. С телеграфным прибором (приборы были изготовлены Дюкрете в Париже) мы достигали при аналогичных, но не тождественных условиях расстояний до 25 верст.

Приемная станция с телефоном, состоящая из одного элемента, телефона и трубки, настолько компактна и легка, что позволяет надеяться на употребление ее в качестве переносного прибора. Большая чувствительность этого способа позволяет употреблять малые размеры спирали для малых расстояний.

Такая комбинация была, между прочим, испытана нами минувшим летом для переговоров между привязным воздушным шаром и землею. На земле приемный проводник поднимался на небольшую мачту и употреблялось обычное соединение с землею, а с шара проводник опускался книзу; роль земли на шаре играли

алюминиевые листы, укрепленные вокруг корзины несколькими проволоками, натянутыми на оснастку шара для увеличения емкости.

Опыты Маркони в Англии осенью этого года дали наибольшее расстояние, достигающее до 150 км между прибрежными береговыми станциями.



Фиг. 53

В последней привилегии Маркони, взятой в Англии на имя Wireless Telegraph C°, введено следующее изменение. Приемный изолированный провод идет прямо в землю через первичную обмотку маленького трансформатора без железа (Тесла), трубка же включена во вторичную обмотку (фиг. 53). Достигнут ли большой успех только этим нововведением или есть что-нибудь еще неопубликованное, пока неизвестно.

Возбуждение трубки вторичным индуктированным колебанием было введено еще прежде Лоджем в его опытах 1898 г., а употребление на станции приема трансформатора Тесла — американцем Фессенденом (R. Fessenden).

Компания Маркони в настоящее время устроила много станций на английском берегу Ламанша для опытов.

В газетных описаниях этих опытов неоднократно упоминалось о том, что есть возможность с данной станции по произволу направлять депешу на любую из соседних станций. Можно также четырьмя станциями, находящимся в общей сфере действия, переговариваться между собою попарно, не мешая друг другу. Подробности решения этой задачи до сих пор не опубликованы. Однако можно рассчитывать, что, настраивая источник и приемник электрических колебаний в унисон благодаря явлениям резонанса, на

большом расстоянии можно вызвать действие только одного приемного аппарата, если предварительно все приемные приборы будут настроены различно.

Важное значение беспроводного телеграфа на море, ввиду того что ни туман, ни бури не мешают распространению электромагнитных волн, заставляют почти все правительства интересоваться этим новым применением электричества.

В настоящее время всюду производятся подобные опыты. Дружная работа многих лиц и значительные материальные средства, затрачиваемые на это дело, надо надеяться, скоро дадут хорошие результаты для более широкого применения нового способа телеграфирования и, может быть, поведут еще к новым научным открытиям в этой новой области учения об электричестве.

А. Попов

А. С. Попов
Описание телефонного приемника
для депеш, посылаемых с помощью
электромагнитных волн¹

[Приложение к заявлению в Департамент торговли
и мануфактур о выдаче привилегии.

Привилегия за №6066 выдана 30 ноября
(13 декабря) 1901 г.]

14 июля 1899 г.

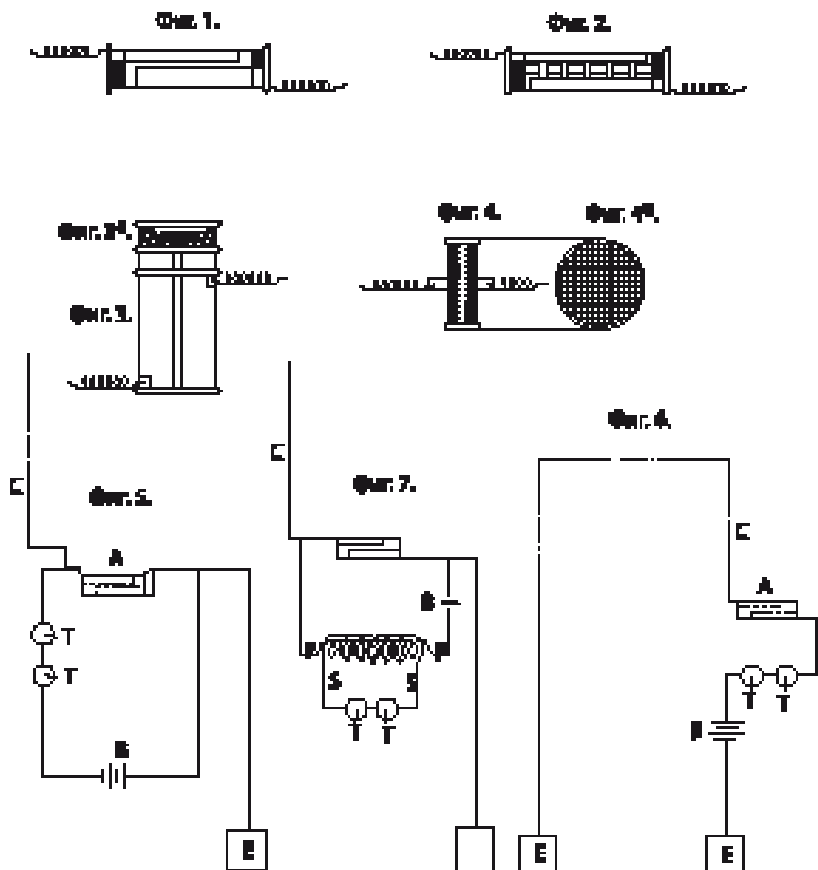
Основанием для устройства нового приемника депеш, посланных по системе Морзе, с помощью электромагнитных волн, служит вновь открытое свойство трубки Бранли — когерера. Это свойство обнаруживается только при известных условиях и ускользало в прежних опытах.

Как известно, трубка, содержащая металлические опилки, изменяет свое сопротивление электромагнитному току под действием электромагнитных волн, встречающих трубку непосредственно или воспринимаемых особыми приемными проводниками, связанными с трубкой. Это изменение сопротивления наступает мгновенно и сохраняется после действия электромагнитной волны; сопротивление трубки при этом падает на несколько десятков или сотен омов почти с бесконечности и должно встряхнуть трубку, чтобы разрушить проводимость опилок.

Между тем некоторые частные случаи устройства чувствительной трубки, металлические цепочки, цепочки, составленные попеременно из угольных и металлических колец, и вообще так называемые свободные контакты (микрофонические) обнаруживают малостойкие и незначительные изменения сопротивления, по величине достигаю-

¹ [Текст по 4, С. 122—130. Там же указан источник: {ГИАЛО, фонд Департамента торговли и мануфактур. Комитет по техническим делам, дело о привилегии Попова, 1899 г., лл. 7—10, автограф}. Схемы: фонд Мемориального музея А. С. Попова, ММП, Ф.2.1.1., № 11218].

шие только тысяч и даже десятков тысяч омов, но в момент прохождения через такие трубки или цепочки электрического колебания они имеют значительно меньшие сопротивления. Поэтому, составляя цепь из элемента телефона и чувствительной трубки, мы услышим в телефоне треск, соответствующий всякому разряду посылающей станции.



Последовательные разряды дают длинные и короткие сигналы и, таким образом, может быть принята на слух депеша, посланная азбукой Морзе. Опыт показывает, что при этом настолько сохраняется характер действия прерывателя индукционной спирали, что без труда можно отличать депеши различных станций, если они достигают данной станции в разное время...

Употребление телефона в последовательном соединении с малым перерывом в Герцовом резонаторе уже применялось для изучения электрических колебаний. Наша трубка заменяет микрометрически получаемое малое расстояние для искры, давая возможность иметь в свободном контакте настолько малое расстояние, которое недоступно для микрометрических приспособлений. Это свойство случайно обнаружено с трубкой, мной изобретенной для телеграфа без проводников моими непосредственными помощниками — ассистентом Минного класса П. Н. Рыбкиным и капитаном Д. С. Троицким во время опытов, производимых в Кронштадте в начале июня сего года.

Около этого же времени было опубликовано письмо Юза в иностранных журналах, в котором он указывает на свои опыты с индукционными весами, относящиеся к началу 80-х годов, в которых он заметил действие на микрофон экстратоков размыкания, и тогда же высказывал мысль, что эти действия на микрофон принадлежат особым электрическим возмущениям, происходящим вблизи проводников в момент прерывания тока. Юз указывает при этом, что металлические контакты не могут в этом случае служить вследствие их спаивания или сваривания.

Действительно, не всякая трубка может служить для приема колебаний. По-видимому, для действия трубки в указанном смысле необходима известная степень окисления металла, служащего в ней, его твердость и самый вид зерен металла. Только трубка с платиновыми электродами и раздавленным или растолченным стальным бисером всегда удовлетворяет своему назначению: при слабых импульсах, которые дает электромагнитная волна на больших расстояниях, очень редко вызывает полное сваривание, легко устраняемое легким сотрясением.

Трубка такой формы придумана мной для действия беспроволочного телеграфа, но при комбинации с телефоном прием депеш при прочих равных условиях возможен на расстояниях значительно больших.

Мной было произведено несколько опытов, подтверждающих полную пригодность новой комбинации для приема депеш на слух. Одна станция отправления, снабженная моими приборами телеграфирования, помещалась на миноносце, вторая такая же станция была помещена на форте «Константин» и третья — в Кронштадте на центральной телефонной и телеграфной станции крепостного телеграфа.

На этой последней имелся только приемник, содержащий трубку, элемент, два телефона, соединенные последовательно. Один конец трубки был соединен с землей, а другой с изолированным проводником, поднятым на шесте около шести саженей над крышей здания телеграфа (фиг. № 5).

Станция на «Константине» имела телеграфный приемник с такой же трубкой, мачта на «Константине» была высотой около восьми саженей. Миноносец имел такую же станцию и мачту... Как на миноносце, так и на форте станции отправления состоят из индукционной катушки Румкорфа, разряжающейся через обыкновенный искромер, один шарик которого соединен при отправлении с землей, другой — с вертикальным проводником на месте. Прерыватель на форте ртутный, с электромотором, а на миноносце — электротехнический, с особенностями, которые будут упомянуты ниже. Между фортом и миноносцем произведен был обмен депешами, начиная с расстояний двух верст, причем миноносец удалялся от форта малым ходом. На расстоянии около пяти верст был пущен змей, поднимавший проволоку на 25 саженей. Некоторое время на «Константине» также был поднят змей сначала очень высоко, потом понижен до высоты мачты. Обмен депешами не прекращался до Толбухина маяка, откуда миноносец стал возвращаться назад.

В течение этого времени на станции в здании кронштадтского телеграфа дежурил при телефонном приемнике телеграфный унтер-офицер и по временам капитан Троицкий. Все депеши, посланные с форта и с миноносца, были приняты в Кронштадте без малейшего упущения. Станции при этом опыте были расположены так, что средняя станция-форт лежала немного в стороне от прямой, соединяющей крайние станции, т. е. городскую и миноносец. Расстояние между этими крайними станциями изменялось постоянно от пяти до двенадцати верст.

Кроме этого опыта, повторенного дважды, телефонные приемники были испытаны между фортами и показали большую чувствительность нового приемника и достаточную простоту обращения с ним. Единственное условие, которое нужно соблюсти при пользовании телефонным приемником, — это возможность защитить чувствительную трубку от резких толчков во время при-

ема депеши. Для этого достаточно укрепить трубку на мягкой резине: например поместить ее на конце каучуковой трубки или подвесить на тонких резиновых полосках, конечно для большей достоверности полезно иметь два телефона, чтобы защитить ухо принимающего депешу от посторонних звуков, хотя действие телефона часто бывает достаточно громко...

Чувствительная трубка, употребляемая мной, устроена следующим образом. Внутри стеклянной легкой трубочки, диаметром от 8 до 12 миллиметров, длиной 6—8 сантиметров, наклеиваются с помощью лака две тонкие платиновые полоски на расстоянии от 0,5 до 1,5 миллиметра (фиг. № 1), пластинки имеют металлическое сообщение с двумя проволочками, укрепленными в обыкновенных пробках, закрывающих трубку. Они могут быть припаяны к платине или просто прижаты, если эти проволочки сделаны также из платины. Пластинки покрывают половину внутренней поверхности трубки и наполняются раздавленным бисером. Для этого годится имеющийся в продаже стальной бисер от № 3 до № 10. При выборе необходимо руководиться только соответствием крупности зерен и расстоянием между полосками. Лучший результат получается при условии помещения одного или двух зерен между полосками.

Предпочтение бисера всяким другим видам зерен основывается на постоянстве его формы, степени твердости и степени окисления: блестящая поверхность бисера покрыта тончайшим слоем окисла, чрезвычайно стойкого против дальнейшего окисления. Внутренние части бисера покрыты довольно толстым слоем окиси, и, наконец, свежий излом при раздавливании бисера с помощью плоскогубцев дает поверхность с острыми выступами и свободную от окисла. Это разнообразие свойств поверхности почти при полном тождестве зерен бисера дает моей трубке сравнительно с другими большое постоянство и значительную чувствительность. Эта же трубка превосходит все другие комбинации в пользовании ею для слухового приемника электромагнитных волн.

Количество бисера в трубке должно быть равным по объему от 0,3 до 0,5 всего объема трубки. В видах более равномерного распределения бисера трубку полезно разделить перпендикулярно оси перегородками из непроводящего ток вещества, как это представлено на фиг. № 2. Другой вид чувствительной трубки, также представленный на фиг. № 3, отличается только формой: внутри четвероугольной ко-

робочки вместо платиновых листков помещены две призмы из угля, зерна раздавленного бисера наполняют отчасти коробочку. Третий вид изображен там же (фиг. № 4). Бисер насыпан в короткой цилиндрической трубке, закрытой с обеих сторон угольными кружками, внутренняя поверхность которых имеет выступы подобно вафельной доске. Такие угли употребляются в микрофонах. Бисера насыпается столько, чтобы он покрыл вполне основание цилиндра при вертикальном положении трубки; при этом верхнее основание не должно нажимать на бисер, но почти касается его. Обе последние формы не уступают первой. Цепочки, очень хорошо работающие в качестве когерера, я изготовляю из пружинок, служащих в качестве часовых волосков. Эти плоские спирали кладутся в ряд так, что они перекрывают друг друга вроде чешуи, от трех до семи пружин достаточно в цепи с одним элементом Лекланше.

К конечным спиральям припаиваются проволоки, ведущие ток; все укрепляется на эбонитовой пластинке или другом изоляторе. Простейшая схема расположения приемной станции представлена на фиг. № 5, но можно работать и с другими расположениями приборов. Фиг. № 6 и № 7 представляют возможные и испытанные нами видоизменения в расположении приборов для приемника с телефоном. Конечно, возможно пользование трансформаторами как в микротелефонной станции, но необходимости в этом нет.

Предмет привилегии составляют:

Комбинация телефона с когерером, изготовленным из стального бисера или вообще стальных зерен, покрытых окислами различных степеней; зерна других металлов также могут служить в чувствительной трубке. Электроды трубки платиновые или угольные предпочтительны, но могут быть стальными и вообще из трудно изменяющихся металлов.

Трубка со стальным бисером сама по себе, безотносительно от того, соединена ли она с телефоном.

Когерер из стальных, палладиевых, бронзовых и других спиральных плоских пружинок, расположенных, как описано выше.

Преподаватель Морского инженерного училища *А. Попов*

А. С. Попов
Усовершенствование когереров¹
Английский патент № 2797 от 12 февраля 1900 г.
Принят 25 апреля 1900 г.

Приемник, примененный в беспроводной телеграфии, основан на открытии когерера или радиокондуктора Бранли. Этот прибор нормально указывает прохождение электрического тока через большое сопротивление, которое, однако, исчезает под действием электрических волн. Изменение сопротивления происходит мгновенно и продолжается после прекращения прихода электрических волн. С целью уничтожения проводимости металлических опилок с возможно большей скоростью трубка сотрясается или переворачивается. Придумано много автоматических приспособлений с этой целью.

Новый приемник не требует восстановления сопротивления опилок. Этот важный результат достигнут применением трубки, содержащей уголь и металл, образующих микрофонный контакт. Изменения сопротивления оказываются более значительными и более постоянными.

При первом появлении волн сопротивление радиокондуктора падает и поддерживается на некоторой величине в течение всего времени воздействия электрической волны. Сопротивление изменяется без необходимости сотрясать трубку.

Эти изменения сопротивления удобно наблюдаются в телефоне. Устройство приемника представлено на прилагаемых фигурах. Цепь, содержит трубку с опилками, один или несколько гальванических элементов, один или несколько телефонов, в которых оператор слышит характерные звуки, сопровождающие всякий разряд на станции отправления. Таким образом, на приемной станции получается прием сигналов Морзе.

¹ [Текст: перевод из журнала «L'Eclairage électrique», т. XXVI, 1-й триместр, 1901, с. 169-170. Чертежи: фонд Мемориального музея А. С. Попова, ММП, Ф2.1.1., № 11219].



Date of Application, 12th Feb., 1900—Accepted, 7th Apr., 1900

COMPLETE SPECIFICATION.

Improvements in Coherers for Telephonic and Telegraphic Signalling.

I, ALEXANDER STEPHANOVICH POPOV, of Cronstadt, Russia, Professor, do hereby declare the nature of this invention and in what manner the same is to be performed, to be particularly described and ascertained in and by the following statement:—

- 5 The improved receiver of messages sent into space by means of electromagnetic oscillations, is based upon Branly's discovery of the tubes filled with filings, known as coherers or radioconductors and presenting a great resistance to the passage of electric currents and adapted to become suddenly conductors when influenced by electric oscillations, even when these oscillations have but
10 little strength, which reach said tubes either directly or through conductors secured to the tubes; said conductors serving to collect the electric waves.

- The change of resistance is ordinarily accomplished instantaneously and continued after the passage of the electric oscillation: in order to stop the conductivity of the metal filings, as quickly as is possible, the tube is ordinarily
15 shaken or jogged, and to this end automatic devices have been invented.

- My improved receiver comprises the omission of this means for restoring the resistance of the filings, and it will be sufficient to compose my tube with the result to be obtained in view. The result has a real importance and is attained by composing the tube of a conducting chain formed of carbon and
20 metal portions placed alternately and having what is known as "free microphonic contacts." Thus the changes or variations of the resistance are less considerable, and of shorter duration and constancy. At the first influence, the resistance of such radioconductors decreasing, it maintains still a certain value, and during all the time of the influence of electric oscillation, said
25 resistance will be varying without it being necessary to shake or jog the tube. These variations of the resistance are easily perceived in the telephone.

- Under these conditions, the arrangement of the improved receiver, according to the accompanying drawings illustrating the invention by way of example, embodies in its main portion:—a circuit composing the tube filled
30 with filings, one or more elements of a battery, one or more telephonic apparatus in which the operator hears special sounds, which are dry, short or long and correspond to each discharge at the transmitting station; thus at the receiving station, I obtain a good reception of the signs of the Morse code. The character of the action of the switch for the induction coil is not at all affected
35 and it is thus possible to distinguish from each other, cablegrams transmitted by different stations and received at different moments.

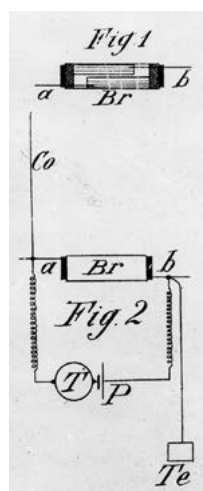
- The employment of the telephone in connection with Hertz's sounding board at micrometric intervals has been realized by Mr. Turpin, but this arrangement is convenient only for classic experiments at short distances, and cannot be
40 combined with my system of tube (special radioconductor) filled with steel grains, having free contacts, and producing the shortest distances between them which cannot be obtained by any Hertzian sounding board. My improved device enables me to transmit messages without conducting-wires to very great distances.

[Price 8d.]

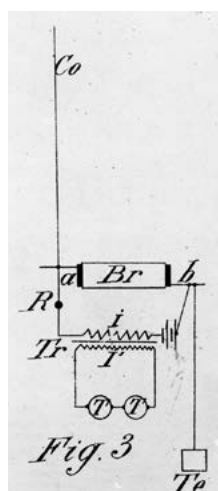
Первая страница английского патента А. С. Попова (фотография)

Применение телефона, присоединенного к резонатору Герца с микрометрическим промежутком, было уже выполнено Тюрпеном (Turpin), но его устройство пригодно только для производства классических опытов на маленьких расстояниях. Это устройство не может быть соединено с когерером, содержащим стальные зерна со свободным контактом, и позволяет реализовать расстояния меньше, чем те, которые достигаются с резонатором Герца.

Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

С этим радиокондуктором можно пересылать сигналы без проволоки на всякое расстояние.

Наилучшим металлом является продажная сталь в форме полированных перлов, которые в раздробленном состоянии дают зерна, применяемые в радиокондукторе. Во избежание тряски когерера, во время передачи, трубка поддерживается достаточно мягким каучуком. Звук в телефоне может быть слышен на некотором расстоянии от уха. Применение двух телефонов освобождает оператора от влияния внешних шумов.

Наконец, можно приспособить микротелефонное реле для вызова и регистрации посылок.

Радиокондуктор представлен на фиг. 1. В небольшой стеклянной трубке или трубке из изолирующего материала расположены две полоски вблизи одна от другой. Внутри трубки находятся стальные зерна, полученные раздроблением. Размер зерен зависит от расстояния между двумя полосками.

Степень окисления поверхности зерен обеспечивает за аппаратом большую чувствительность. Этот радиокондуктор полностью подходит для приема на телефоне электромагнитных волн.

Для обеспечения однородного распределения металлических зерен трубка может быть разделена перегородками из непроводящего вещества на мелкие части.

Фиг. 2 представляет наиболее простые из приемных устройств.

Фиг. 3 дает то же устройство, дополненное трансформатором. **Т** суть первичные и вторичные обмотки, как они применяются в микротелефонных аппаратах. Это устройство увеличивает интенсивность звука в телефонах, но оно не необходимо.

А. С. Попов
Докладная записка Главному инспектору минного дела
контр-адмиралу Остелецкому о снабжении кораблей
Балтийского и Черноморского флотов
радиоприборами¹

30 января 1901 г.

На запрос Вашего превосходительства от 23 января 1901 г. имею честь доложить, что 20 января с. г. мной подана была докладная записка Его превосходительству главному командиру Кронштадтского порта по поводу снабжения судов Балтийского флота, уходящих на Дальний Восток, приборами телеграфирования без проводников. В этой записке мной было сообщено, что из 15 приборов, которые до сих пор были приобретены, 3 первоначальной конструкции употребляются в учебно-минном отряде для обучения. Из 12 станций нового образца, приобретенных в 1901 г., 3 установлены на броненосцах, ушедших в Тихий океан («Полтава», «Севастополь», «Громовой»). Две станции недавно отправлены в Черное море в Севастополь для того, чтобы пользоваться ими для практики команды теперь же, до начала кампании. Кроме этих двух станций, я предложил отправить в Черное море еще 5 станций, а остающиеся две оставить в Кронштадте: одну для броненосца «Пересвет» и одну для образца при работах мастерской и для проверки устанавливаемых на судах Балтийского флота приборов.

Таким образом для Черного моря предназначалось мной всего 7 станций, из них 5 желательно установить на судах Практической эскадры: на броненосцах «Ростислав», «Екатерина», «Двенадцать апостолов», «Георгий Победоносец» и на минном крейсере «Ка-

¹ [4, С. 192–193. Там же приведен источник: {ЦМС д.1: «А.С. Попов», л. 11, автограф}].

питан Сакен», а две станции употребить, сообразуясь с местными требованиями, на берегу или на других судах Черноморского флота. Что касается судов Балтийского флота, назначенных к отправлению в течение будущей кампании, то мною предложено теперь же озаботиться заказом новых станций у Дюкрете, если, как было мне сообщено в Кронштадтском порте, потребуется вновь всего 9 судовых станций. Вновь устраиваемая мастерская для изготовления приборов телеграфирования без проводников только на днях начала работать и не имеет еще полного устройства; я предполагаю заняться в ней изготовлением четырех станций одновременно. Срок их изготовления, однако, трудно назначить, не имея опыта.

По поводу обучения офицеров обращению с приборами телеграфирования без проводов я предполагаю следующую комбинацию. Так как до апреля я не имею свободного времени вследствие усиленных занятий в Минном классе, а в апреле уже начинаются работы по сооружению судов, то я, с согласия Его превосходительства главного командира и начальника Минного класса, предполагаю соединить чтение лекций по телеграфированию для офицеров прежних выпусков Минного класса и теперешних слушателей... Для такого совмещения необходимо для минных офицеров прочесть 4 лекции подготовительных отдельно от слушателей класса в течение пятой недели поста. Практические занятия для офицеров вести отдельно от слушателей и в большем числе, потому что слушатели будут потом практиковать на Минном отряде летом. Теоретических лекций предполагаю 10 и практических занятий на каждого человека. Таким образом желательно собрать офицеров к 13 марта в Кронштадт.

Относительно вызова офицеров из Черного моря, я предоставляю на усмотрение Вашего превосходительства... В течение кампании настоящего года на практической эскадре Черного моря необходимо выяснить вредное значение верхнего металлического такелажа для дальности телеграфирования опытом непосредственного сравнения. Для сего потребуется, избрав два по возможности сходные по вооружению броненосца, на одном из них снять весь верхний металлический такелаж, временно заменив его пеньковым, а также временно удалить верхнюю часть громоотвода...

А. Попов

Б. И. Зубарев
Несколько слов о деятельности
Александра Степановича Попова
в Электротехническом институте¹

...На рождественских каникулах 1901 г. происходил съезд естествоиспытателей и врачей, на одном из заседаний которого Александр Степанович делал доклад о новейших успехах беспроводного телеграфа и между прочим впервые демонстрировал физикам настройку принимающего провода в резонанс с вибратором. Станции были установлены одна в Электротехническом институте на Новоисаакиевской ул., другая в Физическом институте Университета.

В начале 1902 г. Александр Степанович производил опыты проектирования на облаках при помощи морского прожектора, а затем студенты института несколько вечеров подряд делали объявления о своем бале.

В конце весеннего полугодия Александр Степанович занялся опытами с радием, небольшое количество которого было получено в это время в химической лаборатории института. Результатом этого явилось сообщение на заседании 7 мая 1902 г. «О приборе, регистрирующем напряжение электрического поля атмосферы для шаров, зондов и змеев». Так как сообщение это нигде не было напечатано, а осталось только в памяти у сравнительно небольшого числа членов, бывших на этом весеннем заседании, то я позволю себе повторить в кратких чертах содержание доклада.

... 5 мг бромистого радия, помещенных на часовое стеклышко и заклеенных тонким листком алюминия, соединяются метал-

¹ [Доклад, сделанный в заседании ФОРФХО 24 января 1906, 4, С. 220–223. Там же дан источник: {Оттиск из ЖРФХО, статья Б. И. Зубарева «Несколько слов о деятельности Александра Степановича Попова в Электротехническом институте», вып. 1, 1906}].

лически с листочком разрядного электроскопа, разрядник которого отводится, например, через когерер приемной станции беспроводно́го телеграфа Александра Степановича, в землю. Если где-либо в окружающем пространстве явится заряд, например $+q$, то радий, ионизируя окружающий воздух, заставит отрицательное электричества теряться с электроскопа, и он начнет заряжаться положительным электричеством. Когда электроскоп зарядится до некоторого потенциала $V_1 < V = q/r$, где r — расстояние заряда до препарата радия, то листок электроскопа коснется разрядника, и электроскоп разрядится, а затем под влиянием радия опять начнет заряжаться. Потеря электрического заряда противоположного знака, а следовательно и зарядение электроскопа будет происходить тем быстрее, чем выше потенциал V , тем чаще будут происходить и удары листочка электроскопа разрядника, а сопровождающиеся при этом разряды будут вызывать отметки на ленте телеграфного аппарата. Естественно ожидать пропорциональности между числом разрядов в единицу времени и напряжением окружающего электрического поля, что Александру Степановичу и удалось доказать на опыте, устанавливая заряженную до определенного потенциала лейденскую банку на разных расстояниях от электроскопа. Следовательно, зная постоянную скорость ленты телеграфа, можно оценивать изменения напряжения электрического поля атмосферы...

Во время посещения Электротехнического института Всероссийским электротехническим съездом Александром Степановичем была произнесена речь о новейших успехах беспроводно́го телеграфирования и о попытке беспроводно́го телефонирования, в физической лаборатории института были налажены для демонстрации различного рода приемники электрических колебаний и детекторы, как-то: электролитический, Рутерфорда и т. п...

На масляной неделе Александр Степанович читал в институте лекцию об электрических колебаниях и беспроводно́м телеграфировании и телефонировании в пользу общества вспомоществования студентам Электротехнического института и их столовой, а в посту — подобную же лекцию по приглашению офицерского собрания в Гренадерском полку...

В 1904/05 учебном году Александр Степанович занимался исследованием затуханий электрических колебаний в вибрирующих системах при помощи трубки Брауна, причем катодный поток, находившийся под совместным действием колеблющихся электрического и магнитного полей, описывал на экране трубки более или менее правильные архимедовы спирали, число завитков которых и указывало на число колебаний в затухающей цепи. Для целей лабораторных наблюдений этот метод оказался весьма полезен, и Александр Степанович этим занятиям посвятил довольно много времени, но когда он пытался сделать более чистую установку для целей демонстрирования, то ему не удавалось избежать появившихся при этом посторонних влияний; особенно капризно было электрическое поле...

На Рождество 1904 г. Александр Степанович читал лекцию об электрических колебаниях и беспроводном телеграфировании в присутствии генерала, инспектора инженерных войск в Николаевской инженерной академии. Здесь впервые было показано избирательное и перекрестное телеграфирование на учебных станциях Брауна системы «Телефункен». Существенная и более новая часть этой лекции была повторена в докладе, читанном Александром Степановичем весной этого года в Электротехническом институте для кружка преподавателей физики...

Весною... 1905 г. мы с Александром Степановичем занимались исследованием некоторых вибрирующих связанных систем. Поводом для исследования послужила присланная в Морской технический комитет привилегия на схему, дающую, по словам ее автора, незатухающие колебания. В этой схеме встретилось интересное сочетание емкости и самоиндукции в курьезном соединении с другими частями цепи. Сама система не показала никаких особенных преимуществ, а это сочетание, вероятно поставленное для затемнения смысла и для возможности взять на что-нибудь привилегию, вызвало в нас желание попробовать несколько более сложных комбинаций...

В конце августа 1905 г. Александр Степанович прочел три интересных лекции в Павловске для учителей народных школ о телеграфе обыкновенном и беспроволочном. Особенно первая из этих лекций, посвященная выяснению свойств электромагнитного поля и явлений индукции токов, подчеркнула лишний раз выдающиеся педагогические способности Александра Степановича. В заседании Физического общества 20 сентября 1905 г. Александр Степанович делал сообщение о волномерах, служащих для определения периода электрических колебаний...

Ф. К. Браун
Из речи Нобелевского лауреата
11 декабря 1909 г.
Мои работы по беспроволочной телеграфии
и по электрооптике

Высокопочтимое собрание! На мою долю сегодня выпала высокая честь говорить пред этой Академией, славной своими традициями и постоянно обновляемой притоком молодых сил. Я вижу, однако, свою задачу не в том, чтобы дать общий очерк беспроволочной телеграфии, и надеюсь, что вы одобрите мое решение ограничиться более скромной задачей: я хочу представить вам в кратких чертах те моменты моих собственных работ, где мне удалось внести свою лепту в развитие целого.

Я не стану останавливаться на описании своих опытов, имевших место летом 1898 года и относившихся к распространению электромагнитных волн через воду, а прямо перейду к опытам передачи через пространство.

<...>

Осенью, того же [1897] года С л а б и (Slaby), пользуясь существенно тем же расположением опытов, как и Маркони (Marconi), достиг на суше 21 км, причем для поднятия проволоки длиной в 300 м применял воздушные шары.

Для меня возник вопрос: почему достижение больших расстояний представляет такие трудности? Если, например, данные аппараты позволяют достигнуть расстояния в 15 км, то почему нельзя путем увеличения начального напряжения, на что ведь средства имелись, достигнуть двойного или любого

иною расстояния? Опыты, однако, указывали, по-видимому, на то, что достижение больших расстояний всегда сопряжено с увеличением размеров антенны. Под этим впечатлением я находился, — я не вхожу в рассмотрение того, насколько правильны были сообщения газет об опытах Маркони и Слаби, — когда я осенью 1898 года принялся за разработку вопросов беспроволочной телеграфии.

Я поставил себе целью создать более мощный передатчик.

Для того, чтобы был понятен тот путь, который я себе наметил, я попрошу вас перенестись в то время и стать на точку зрения наших тогдашних знаний.

Какие факты были нам тогда известны и что из них вытекало?

Было известно, что герцевские колебания сильно зависят от свойств искрового промежутка, далее, что удлинение искры может даже оказать вредное влияние на их интенсивность, так как при этом искра теряет свою «активность». Уже в своей первой работе Герц (Hertz)¹ указал на сильное затухание осцилляторов и сравнил их колебания с плохо выраженными акустическими колебаниями от удара молотком о деревянный брус. В 1891 году Бьеркнес (Bjerknes) количественно исследовал затухания герцевских осцилляторов и нашел их логарифмический декремент (служащий, как известно, мерой затухания) равным 0,26 в том случае, когда искровой промежуток был мал. С увеличением искры до 5 мм логарифмический декремент возрос до 0,40. Как эти, так и другие факты указывали на большое влияние искрового промежутка на затухание. Так как увеличение начального напряжения в схеме Маркони неизбежно сопряжено было с увеличением искрового промежутка, то ясно, что увеличение напряжения не могло повести к желанной цели, потому что искра при маленьких емкостях передатчика поглощает большую долю энергии, которой мы располагаем, и эта доля тем больше, чем длиннее сама искра.

¹ [Речь, произнесенная при получении премии Нобеля в Стокгольме 11 декабря 1909 г. Перевод с рукописи Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси. С 25 рисунками и портретом автора. Тип. акц. Южно-Русского о-ва Печ. дела. Одесса, Пушкинская, Соб. дом 18. 1910. 92 с.].

С другой стороны, уже давно было известно, что ряд конденсаторов большой емкости в замкнутых контурах обыкновенных размеров всегда имеет колебательный характер. Очевидно, колебания таких контуров отличаются гораздо меньшим затуханием. И действительно, уже в 1862 г. Феддерсену (Feddersen)¹ удалось непосредственно сфотографировать до 20 колебаний. Способность же их индуцировать токи в соседних проводниках была уже известна из опытов П. Рисса (P. Riess) и особенно Тесла (Tesla). К этим колебаниям я и обратился. Имея в своем распоряжении большие количества энергии, которые можно было скопить в конденсаторах, я надеялся, кроме того, быть в состоянии на некоторое время пополнять излучаемую воздушным проводом энергию. Принимая все это в соображение, я пришел к следующему заключению: если удастся при помощи замкнутого колебательного контура большой емкости возбудить в антенне, не содержащей искрового промежутка, колебания потенциала, средняя величина которых равна начальной разности потенциалов в передатчике Маркони, то мы будем иметь тогда более мощный передатчик...

Летом 1902 года мне представилась возможность установить для дальнейших опытов две станции на страсбургских фортах. Нашей задачей было отыскать наиболее благоприятные условия для приема. При помощи колебательного контура, составленного из известных емкостей и известных самоиндукций, мы настроили в резонанс обе части системы передатчика. Мы также определили оба колебания, возникших благодаря связи, и отыскиали их и в приемнике. Результаты опытов были для того времени довольно неожиданные. В подтверждение я приведу только следующий пример. Если колебания воздушного провода приемника индуктировались через посредство включенной в него катушки на другую катушку, входившую в состав контура, настроенного в резонанс на воздушный провод и содержащего детектор, то по мере того, как увеличивалось расстояние между обеими катушками, увеличивалась не

¹ [Наст. сборн., С. 82–94 (109)].

только острота резонанса, но — что было неожиданным — и интенсивность возбужденных колебаний. Эта интенсивность увеличивалась с увеличением расстояния между катушками — разумеется, только до определенного расстояния, при дальнейшем увеличении она, конечно, начала уменьшаться. В обычной терминологии это значило: *с ослаблением связи действие усиливалось*. Этот результат, полученный для приемника, не зависел от того, было ли одновременно выполнено в передатчике условие слабой связи или же нет.

Эти опыты повели к двум важным результатам: во-первых, они научили, как сделать приемник менее чувствительным к посторонним влияниям; во-вторых, они положили основание измерительному прибору, ценному для техники телеграфии без проводов¹...

Летом 1902 года появилось фундаментальное теоретическое исследование М. Вина о моем сложном передатчике. В этой работе он разбирает преимущественно влияние затухания и показывает путем вычислений преимущества этого передатчика. В одном месте своей работы он резюмирует полученные им результаты следующим образом: «Смотря по силе связи, можно получить как мощное, но быстро затухающее возбуждающее действие, которое распространяется на большое расстояние, так и медленно замирающий ряд слабых волн, который может возбудить настроенные в резонанс с ним резонаторы, не оказывая никакого действия на другие, — пушечный выстрел, слышимый на далекое расстояние или нужный медленно замирающий тон камертона».

Это теоретическое исследование имело фундаментальное значение, которое за ним и останется. Выбранные же численные примеры не вполне соответствуют практическим условиям. Весь материал, бывший в то время в распоряжении, ограничивался несколькими вычисленными и немногими определенными в лаборатории коэффициентами затухания. Это и неудивительно: методы для производства измерений при условиях практики, как мы видели, тогда ведь только возникали.

¹ [I, С. 292–304].

Начиная с этого времени, наступает более выраженное разграничение работы: на работу в лаборатории, с одной стороны, и на применение результатов ее к сложным условиям практики, к ее разнообразным и большим требованиям, с другой. Успехи в этом последнем направлении являются заслугой графа Арко и Рендаля...

Я уже давно старался найти средства заставить колебательный контур автоматически выключаться как раз в тот момент, когда вся энергия передана им антенне. Я старался достичь этого следующим образом. В колебательный контур включалась тонкая проволока, и я надеялся, что вследствие полного распыления ее первичный контур автоматически выключится как раз в желаемый момент. Этот опыт, по крайней мере, при тех колебаниях, которыми я пользовался, не удался. Нагретые до очень высокой температуры металлические пары, очевидно, остаются слишком долго ионизированными. Эта задача была решена М. Вином с помощью так называемых «отрывных искр» и Рендалем при помощи трубки с ртутными электродами.

Практика разработала дальше открытие Вина. Исходя из него, Арко и Рендаль создали систему так называемых «музыкальных» искр. Маленькие отрывные или шипящие искры Вина *сами по себе* выполняют те условия, которые я хотел создать искусственно. Первичный колебательный контур выключается в наиболее выгодный момент. Большая часть первичной энергии находится в это время в антенне, которая с этого момента начинает совершать *свободные колебания*. Так как энергия теперь не передается обратно первичному контуру и так как вредные потери в антенне, не содержащей искрового промежутка, малы, то коэффициент полезного действия значительно больше, а логарифмический декремент затухания значительно меньше.

Я закончил мой первый доклад в ноябре 1900 года следующими словами:

«Беспроволочную телеграфию иногда называли искровой телеграфией. Правда, до сих пор нельзя было обойтись совсем без искры. Здесь (т. е. в моих схемах) удалось сделать ее возможно

менее вредной. Это обстоятельство очень важно; ибо искра, порождающая колебания, сама же уничтожает их, подобно тому, как Сатурн пожирает своих собственных детей. Мое стремление можно было бы скорее назвать стремлением создать безыскровой беспроволочный телеграф».

Я радуюсь тому, что при помощи только что упомянутых средств удалось ближе подойти к этой цели и таким образом сделать крупный шаг вперед в развитии сложного передатчика, без которого в настоящее время невозможна работа на большое расстояние, а тем самым и в развитии беспроволочной телеграфии.

Э. Бранли, О. Лодж
Письма в Комиссию
по вопросу о научном значении
работ А. С. Попова¹

ПИСЬМО Э. БРАНЛИ

Милостивый государь, я считаю, что роль антенн была достаточно выяснена в моих сообщениях 1890 и 1891 гг. Я буду цитировать дословно.

І. АНТЕННЫ НА ПЕРЕДАТЧИКЕ
Отчеты Академии от 12 января 1891 г.

Из всех опытных установок, позволяющих добиться результатов, я опишу одну, являющуюся особенно интересной.

Чувствительное вещество находится приблизительно в 10 м от машины Гольца и его возбудителя. Две изолированные друг от друга цилиндрические латунные трубки А и А', связанные с возбудителем и удаленные друг от друга на 40 см, идут параллельно. Лейденские банки, которые обычно соединяются с аппаратом Гольца, здесь не подключаются, но латунные трубки в какой-то степени исполняют ту же роль емкости. Сферы возбудителя находятся на расстояниях в 1, 0,5 и даже 1/10 мм. Искры возбудителя, сведенные до такой небольшой длины, не оказывали на расстоянии 10 м никакого непосредственного действия на

¹ [2.с. 259-263]

чувствительное вещество. В этом убеждались, меняя расстояние между чувствительным веществом и концами латунных трубок, сохраняя при этом связь трубок с возбудителем для того, чтобы не влиять на искру.

Чувствительное вещество было помещено против трубок на некотором расстоянии от концов, которые было более удобно расположить вертикально. При вспышке искр наблюдалось уменьшение сопротивления чувствительного вещества. Обе трубки А и А' необязательны, уменьшение сопротивления можно было легко получить, когда заставляли работать только одну трубку. Опыты с трубками А и А' протекают таким же образом и при замене машины Гольца небольшой катушкой Румкорфа, в которой индуктированные и чрезвычайно короткие искры вспыхивают в обеих ветвях возбудителя.

*Журнал «Космос» (14 мая, 1891 г.)
(Редакция не моя личная)*

Вот опыт, который г. Бранли любезно повторил передо мною. Чувствительное вещество включено, как и прежде, в цепь тока батареи. На некотором расстоянии горизонтально помещают латунный цилиндр АВ, присоединенный к длинному металлическому треугольнику, который оканчивается в помещении, смежном с тем, где находится чувствительное вещество. Такое расположение позволяет заряжать и разряжать латунный цилиндр АВ от лейденской банки без непосредственного влияния искры заряда или разряда на чувствительное вещество, над которым производится опыт. Цилиндр АВ заряжают через этот металлический треугольник посредством одной искры лейденской банки, заставляя искру вспыхнуть на металлическом треугольнике, на расстоянии 10 м от цепи тока чувствительного вещества; сопротивление этой цепи тотчас уменьшается, и стрелка гальванометра перемещается с нуля до 90°. Если же, наоборот, цилиндр был заряжен до включения испытываемого чувствительного вещества в цепь, то при разрядке цилиндра происходит такое же уменьшение сопротивления.

Бюллетень Международного общества электриков, май 1891 г.

Для наблюдения явления уменьшения сопротивления трубки с металлическим порошком иногда просто приводят в действие находящийся вблизи от нее аппарат Гольца или, что еще лучше, устанавливают вблизи проводник, по которому протекают колебательные токи разрядки конденсатора.

Журнал «Электрический свет» (16 июня 1891 г.)

Изменения сопротивления, полученные мною при использовании различных электрических влияний, до сего времени не наблюдались.

1. Действие электрических искр. Я начинаю с описания этого действия...

2. Действие проводника, приключенного одной точкой к цепи тока разрядки конденсатора. Я отдалил искру настолько, чтобы не считаться с ее собственным действием на металлический порошок. Возьмем длинную латунную трубку, расположенную одним концом вблизи цепи, содержащей металлический порошок. К другому концу этой трубки, отстоящей от порошка на несколько метров, приближают арматуру заряженной лейденской банки, искра вспыхивает, проводник заряжен. В момент этой разрядки токи высокого напряжения, стремительно проходящие по трубке, вызывают увеличение проводимости металлического порошка. Такое же влияние на проводимость имеет место и в случае разрядки трубки независимо от того, происходит ли разрядка вблизи или вдали от цепи, включающей металлический порошок.

Журнал «Электрический свет» (13 июня 1891 г.)

Если влияющее действие электричества состоит в переходе токов разрядки конденсатора в металлический прут, то зафиксированная проводимость чувствительного вещества увеличивается с увеличением длины искры, вспыхивающей между шарами возбuditеля; она также увеличивается при приближении металлического прута к цепи тока, содержащего чувствительное вещество.

II. АНТЕННЫ НА ПРИЕМНИКЕ

Журнал «Электрический свет» (13 июня 1891 г.)

В металлический ящик помещают одновременно металлический порошок, элемент Даниэля и гальванометр, составляющие электрическую цепь тока. Кубической формы ящик снаружи покрыт фольгой. Смещения зеркала гальванометра можно наблюдать через широкие ячейки металлической сетки, покрывающей небольшую часть стенки ящика. Трубка с металлическим порошком расположена внутри, на небольшом расстоянии от съемной поверхности. Когда эта подвижная поверхность снята, трубка с металлическим порошком оказывается напротив проводника А, возмущаемого током разрядки конденсатора. Действие [изменение сопротивления] наблюдается, когда эта поверхность снята, и не наблюдается, если ящик плотно закрыт.

Металлическая проволока, приключенная внутри ящика в некоторой точке цепи тока трубки с порошком, выходит наружу через небольшое отверстие, просверленное в стенке ящика. Если длина этой проволоки снаружи доходит до 20—50 см, то в трубке с металлическим порошком возникает проводимость. При ударах по стенкам ящика для восстановления сопротивления порошка стрелка гальванометра остается отклоненной, что не имело бы места, если бы влияющее действие на порошок не продолжалось бы. Не переставая направлять разряды в проводник А, снаружи оставляют только небольшую часть проволоки f длиной в несколько миллиметров; в этом случае достаточно нескольких легких ударов по стенкам ящика, чтобы тотчас восстановить сопротивление, так как влияние исчезает.

Примите мои наилучшие пожелания

Э. Бранли

1 сентября 1908 г.

ПИСЬМО О. ЛОДЖА

Уважаемый сэръ!

Я всегда был высокого мнения о работе профессора Попова над беспроводным телеграфом. Я действительно использовал для восстановления чувствительности когерера автоматический молоточек или другой встряхиватель, приводимый в действие часовым или каким-либо иным механизмом. Однако Попов впервые достиг того, что сам сигнал осуществлял обратное воздействие. Я полагаю, что в этом и состоит новшество, которым мы обязаны Попову. Оно было в скором времени принято Маркони и другими, хотя сам я сейчас им не пользуюсь. На некоторое время я вернулся к механическому методу декогерирования и использую для этой цели вращающееся стальное заостренное колесико, погруженное — через пленку масла — во ртуть и непрерывно медленно вращающееся вокруг своей оси.

Вам лучше, чем мне, известно, как далеко пошел Попов в применении своего изобретения для непосредственной передачи смысловых сообщений телеграфными сигналами. Раньше я удовлетворялся долгими и краткими сигналами, которые, при желании, всегда могли быть приняты и расшифрованы телеграфистами.

Видимо, Попов весьма рано и одним из первых использовал метод простейшей корабельной сигнализации. Думаю, что я не ошибусь, предположив, что он читал мою небольшую книжку, посвященную этим вопросам, которая вышла в 1894 г. под заглавием «Творение Герца и его последователей»; в ней достаточно полно описан мой первоначальный метод передачи сигналов. В качестве приемника я пользовался зеркальным гальванометром, а не обычным телеграфным линейным реле; однако, как Вам известно, зеркальный гальванометр может быть использован как телеграфный приемник, и был использован для этой цели при передаче первых телеграмм; правда, в данном случае он использовался с отклонениями вправо и влево, а у меня — с длительными и краткими отклонениями; при этом в сигналах, передаваемых без проводов, не было обращения полярности, но только различие в длительностях.

Сочту за честь ответить на любые Ваши вопросы, и я рад, что работа профессора Попова получит признание у него на родине.

Возможно, Вы видели мою книгу; если такой случай Вам не представился, то экземпляр ее последнего издания вы сможете легко приобрести у Electrician Co., Salisbury Court, Fleet Street, London. E. C.

О работе профессора Попова в ней говорится на стр. 62 или где-то рядом. Но в первом издании моей книги, вышедшем в 1894 г., естественно, не упоминается о работах других ученых, это я смог сделать в последующих изданиях.

Остаюсь, уважаемый сэр, искренне Ваш
Оливер Лодж

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Из предыстории радио: Сб. статей и материалов / Сост. С. М. Рытов; под ред. Л. И. Мандельштама. М.; Л.: АН СССР, 1948. 472 с.
2. Изобретение радио. А. С. Попов: Документы и материалы / Сост. Е. А. Попова-Кьяндская, В. М. Родионов, М. И. Мосин, В. И. Шамшур; под ред. А. И. Берга. М.: Наука, 1966. 284 с.
3. Александр Степанович Попов в характеристиках и воспоминаниях современников / Сост. М. И. Радовский; под ред. К. К. Баумгарта. М.; Л.: АН СССР, 1958. 454 с.
4. А. С. Попов: Сб. документов. К 50-летию радио / Сост. Г. И. Головин, Р. И. Карлина; под ред. М. А. Шателена, И. Г. Кляцкина, В. В. Данилевского. Лениздат, 1945. 256 с.
5. Браун К.Ф. Речь, произнесенная при получении премии Нобеля в Стокгольме 11 декабря 1909 г. Перевод с рукописи Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси. С 25 рисунками и портретом автора. Одесса, 1910. 92 с.
6. Изобретение радио А. С. Поповым: Сб. документов и материалов / Под ред. А. И. Берга. М.; Л.: АН СССР, 1945. 310 с.
7. Родионов В. М. Зарождение радиотехники / Отв. ред. член-корр. АН СССР В. И. Сифоров. М.: Наука, 1985. 240 с.
8. Материалы по истории развития связи в России. XVIII – начало XX вв.: Обзор документальных материалов / Сост. Ф. И. Бунина, К. П. Генкина, Р. Ю. Мацкина, З. С. Ешурина, В. И. Вельбель; под ред. Н. А. Мальцевой, Б. И. Расина. Л.: ЦМС им. А.С. Попова, 1965. 320 с.
9. Из истории отечественной радиопромышленности: Сб. документов и материалов / Сост. Г. И. Головин и В. В. Петраш; под ред. Н. Н. Пальмова, Б. В. Брауде, З. И. Моделя, Л. А. Гаухмана, В. Н. Норнова. Л.: ЦГАВМФ, 1962. 309 с.
10. Александр Степанович Попов: Библиографический указатель. 2-е изд., переработанное и дополненное / Сост. А. М. Лукомская; под ред. К. И. Шафрановского. М.; Л.: АН СССР, 1951. 298 с.
11. Александр Степанович Попов. 1859–1906: Библиографический указатель за 1950–1995 гг. / Сост. О. И. Лысяк, Г. Д. Сушкова; под ред. Л. И. Золотинкиной. СПб.: Изд-во ГЭТУ «ЛЭТИ», 2002. 138 с.
12. Материалы к истории Минного офицерского класса и школы. СПб., 1899. 240 с.

13. Глущенко А. А. Место и роль радиосвязи в модернизации России (1900–1917 гг.). СПб.: ВМИРЭ, 2005. 709 с.
14. Бренев И. В. Начало радиотехники в России / Под ред. С. И. Зилитинкевича. М.: Сов. радио, 1970. 256 с.
15. Пестриков В. М. От электрической дуги Петрова – к радиопередаче речи (история электродугового радиопередатчика) // Itnews (Новости информационных технологий). 2008. № 10 (107). С. 26–27; № 11 (108). С. 26–27; № 12 (109). С. 26–27, 31.
16. Пестриков В. М. Первый радиосигнал пришел с небес // ITnews (Новости информационных технологий). 2007. № 8 (81). С. 30–31; № 9 (82). С. 26–27.
17. Золотинкина Л. И., Урвалов В. А. Бизнес профессора Попова. К 110-летию изобретения радио А. С. Поповым // Itnews (Новости информационных технологий). 2004. № 24 (25). С. 12–15.
18. Золотинкина Л. И., Урвалов В. А. Международная программа «Milestones» отметила вклад России в изобретение радио // Itnews (Новости информационных технологий). 2005. № 22 (47). С. 22.
19. Konstantinova A., Zolotinkina L. Alexander Popov – the great developer of wireless communication // In Proceedings of The International Scientific Conference «The 110th Anniversary of Radio Invention». May 18–21, 2005. St Petersburg, Russia. Vol. 1. P. 27–30.

УКАЗАТЕЛЬ ИМЕН

- Абель (Abel) *стр.* 151
- Айзенштейн Семен Моисеевич *стр.* 35
- Ампер Андре Мари (Ampère A. M.) *стр.* 18, 21, 50, 52
- Аппльярд Р. (Appleyard R.) *стр.* 159
- Арко Г. (Arko G.) *стр.* 257
- Ашкинас Э. (Aschkinass E.) *стр.* 164
- Бецольд В. (Bezold W., von) *стр.* 54, 55, 56, 57
- Берг Аксель Иванович *стр.* 6, 264
- Бир (Beer) *стр.* 48
- Блондло Рене (Blondlot R.) *стр.* 9, 64
- Бозе Джагдис Чандра (Bose J. C.) *стр.* 9, 206
- Бойс Чарлз Вернон (Boys) *стр.* 152
- Больцман Людвиг Э. (Boltzmann L. E.) *стр.* 80, 122, 152
- Боргман Иван Иванович *стр.* 9, 156
- Бострем И. Ф. *стр.* 224
- Бранли Эдуард (Branly E.) *стр.* 136, 150, 152, 156, 159, 162,
176, 192, 193, 195, 204-208, 228, 236, 242, 258, 260
- Браун Карл Фердинанд (Braun K. F.) *стр.* 15, 29, 33, 250, 252, 264
- Бромхед Эдуард *стр.* 19
- Бьеркнес Вильгельм Фриман Корен (Bjerknes W.)
стр. 69, 108, 253
- Васильев Владимир Федорович *стр.* 210, 215
- Вебер Вильгельм Эдуард (Weber W.) *стр.* 48, 104, 144
- Венельт Артур Рудольф (Wenelt A. R.) *стр.* 232
- Видеман Густав Генрих [(Wiedemann G.) *стр.* 49, 150
- Вимшерст (Wimshurst) *стр.* 136

Вин Макс Карл (Wien M.) *стр. 15, 33, 255, 256*
 Виньо́ль (Vignoles) *стр. 175*
 Гагенбах (Hagenbach) *стр. 70*
 Гальвакс Вильгельм Людвиг Франц (Hallwachs W.)
стр. 57, 150
 Гаусс Карл Фридрих (Gauss K. F.) *стр. 46, 48*
 Гельмгольц Герман Людвиг Фердинанд (Helmholtz H.)
стр. 21, 22, 54, 59, 67, 68, 73, 76, 77, 103, 104, 107, 144, 145
 Георгиевский Николай Николаевич
 Герц Генрих Рудольф (Hertz H. R.) *стр. 54, 82, 107, 110, 111,*
122, 144, 146, 148, 149, 150, 151, 152, 154, 155, 173, 176, 177, 179
 Гершун Александр Львович *стр. 157*
 Гольц (Holtz) *стр. 150, 255, 258, 260*
 Грин Джордж (Green G.) *стр. 19, 48*
 Д'Арсонваль Жак Арсен (d'Arsonval J. A.)
 Даниэль Джон Фредерик ?
 Джоуль Джеймс Прескотт (Joule J.) *стр. 129, 132*
 Драгумис (Dragoumis) *стр. 123*
 Дуддель Вольдемар (Duddel W.) *стр. 34, 35*
 Дэвис (Davies) *стр. 154*
 Дюбуа-Реймон (Dubois-Reymond) *стр. 138*
 Дюкрете Эжен (Ducretet E.) *стр. 13, 28, 30, 31, 204, 228, 233, 247*
 Егоров Николай Григорьевич *стр. 9*
 Жендрон (Jendron) *стр. 139*
 Залевский Иван (Героним) Игнатьевич *стр. 29*
 Зубарев Борис Иванович *стр. 14, 248*
 Кайзер Генрих Густав (Keiser H.) *стр. 111*
 Кальцески-Онести Фемистокл (Calzecchi-Onesti T.) *стр. 23*

- Капустин Федор Яковлевич *стр.* 157
- Карно Никола Леонард Сади (Carnot N.) *стр.* 144
- Карпантье (Carpentier J.) *стр.* 227
- Кениг В. (König W.) *стр.* 122
- Клеменчич (Klemenčič) *стр.* 123
- Клиффорд (Clifford) *стр.* 144
- Колачек (Kolaček) *стр.* 116
- Корню Мари Альфред (Cornu M.)
- Крофт (Kroft) *стр.* 152
- Крукс Уильям (Crooks W.) *стр.* 10
- Кундт Август Адольф (Kundt A.) *стр.* 145
- Лаплас Пьер Симон (Laplace P.) *стр.* 48
- Лекланше (Leclanché) *стр.* 171, 174, 241
- Леонтьев Иван Алексеевич *стр.* 32
- Лехер Эрнст (Lecher E.) *стр.* 9, 65
- Лифшиц Семен Яковлевич *стр.* 14, 30, 34
- Лодж Оливер Джозеф (Lodge O. J.) *стр.* 56, 122, 144, 158, 159, 160, 163, 166, 173, 177, 179, 195, 197, 206, 228, 234, 262, 263
- Лоренц Хендрик Антон (Lorenz H.) *стр.* 48
- Любославский Георгий Андреевич *стр.* 170
- Максвелл Джеймс Клерк (Maxwell J. C.) *стр.* 6, 8, 9, 14, 19, 20, 21, 22, 25, 44, 50, 60, 68, 72, 73, 74, 75, 77, 79, 80, 104, 105, 128, 129, 144, 147, 172, 173, 226
- Мандельштам Леонид Исаакович *стр.* 6, 15, 20, 21, 253, 264
- Маркони Гульельмо (Marconi G.) *стр.* 12, 13, 15, 16, 17, 27, 28, 29, 31, 32, 188, 200, 201, 202, 204, 208, 210, 214, 218, 228, 229, 230, 233, 234, 262
- Мейдингер Иоганн Генрих (Meidinger J. H.) *стр.* 171

- Минчин Джордж.(Minchin G.) *стр.* 9, 152, 159
- Мицуно Тохинойо (Mizuno T.) *стр.* 164
- Морзе Самюэль Финли (Morse S.) *стр.* 25, 27, 175, 176, 177,
183, 215, 224, 237
- Мосин М. И. *стр.* 7, 256
- Ом Георг Симон (Ohm G. S.) *стр.* 105, 129, 132
- Папалекси Николай Дмитриевич *стр.* 15, 253, 264
- Петров Василий Владимирович *стр.* 34, 265
- Пойнтинг Джон Генри (Poyniting J. H.) *стр.* 124, 128
- Попов Александр Степанович *стр.* 6, 8-17, 25-31, 34,
35, 156, 158, 176, 178, 188, 204, 205 206, 207, 208, 210, 216,
219, 220, 225, 226, 235, 236, 241, 243, 246, 247, 248, 258
- Попова-Кьяндская Екатерина Александровна *стр.* 6, 265
- Прис Уильям Генри (Preece W. H.) *стр.* 12, 29, 31, 172, 188,
189, 197, 203, 210, 230
- Пуанкаре Анри (Poincaré H.) *стр.* 62, 69, 209
- Пуассон Симеон Дени(Poisson S.) *стр.* 19, 48, 76
- Рендаль *стр.* 256
- Рив Артур Огюст де ла (Rive A., de la) *стр.* 49, 65, 66, 69, 70
- Риги Аугусто (Righi A.) *стр.* 9, 28, 57, 150, 166, 176, 196, 200, 209, 229
- Риман (Riemann) *стр.* 48
- Рисс П. (Riess P.) *стр.* 22, 45, 83, 254
- Риттер Иоганн Вильгельм (Ritter J.) *стр.* 123
- Ришар (Richard) *стр.* 169, 195
- Родионов Владимир Михайлович *стр.* 7, 264
- Рубенс Генрих (Rubens H.) *стр.* 123
- Румкорф Генрих Даниель (Ruhmkorff H.) *стр.* 22, 23, 25, 33,
84, 92, 94, 111, 180, 205, 211, 217, 239, 259

- Рыбкин Петр Николаевич *стр.* 26, 27, 28, 29, 31, 200, 210, 215,
221, 225, 226, 232
- Рытов Сергей Михайлович *стр.* 6, 254
- Саразен Э. (Sarasin E.) *стр.* 65, 66, 69, 70
- Сименс Вернер (Siemens W., von) *стр.* 30, 62
- Симон Герман Теодор (Simon H.) *стр.* 34, 35
- Скрицкий Николай Александрович *стр.* 34, 35
- Слаби Адольф (Slaby A.) *стр.* 228, 253
- Спринг В. (Spring W.) *стр.* 163
- Стокс Джордж Габриэль (Stokes G.) *стр.* 163
- Столетов Александр Григорьевич *стр.* 9, 150
- Тесла Никола (Tesla N.) *стр.* 9, 28, 32, 140, 188, 227, 233, 234, 254
- Томсон Вильям (Thomson W. [Lord Kelvin]) *стр.* 47, 103, 107,
148, 153
- Томсон Джозеф Джон (Thomson J. J.) *стр.* 144
- Троицкий Дмитрий Семенович *стр.* 239
- Трутон Фрндерик Томас (Trouton F.) *стр.* 65
- Тэт Петер (Tait) *стр.* 47
- Тюрпен Альбер Камиль Леопольд (Turpain A.) *стр.* 244
- Уитстон Чарльз (Wheatstone Ch.) *стр.* 36, 37, 137
- Уиттэкер (Whittaker) *стр.* 146, 152
- Умов Николай Алексеевич *стр.* 124
- Устинов Михаил Евстратович *стр.* 7
- Фарадей Майкл (Faraday M.) *стр.* 18, 19, 21, 36, 43, 47, 48, 51,
52, 53, 144
- Феддерсен Беренд Вильгельм (Feddersen B. W.) *стр.* 82, 254
- Фитцджеральд Джордж Френсис (Fitzgerald G. F.) *стр.* 56
- Френель Огюст Жан (Fresnel) *стр.* 144

- Хага Герман (Haga H.) *стр.* 164
- Хвольсон Орест Данилович *стр.* 9, 16
- Хевисайд Оливер (Heaveside) *стр.* 20
- Цендер Л. (Zehnder L.) *стр.* 70
- Шамшур Владимир Иванович *стр.* 7, 264
- Шелфорд Бидвелл (Shelford Bidwell) *стр.* 152
- Шмидт (Schmidt) *стр.* 111
- Эберт (Ebert) *стр.* 150
- Эвершед (Eversched) *стр.* 175
- Эльстер Юлиус (Elster) *стр.* 57
- Эрстед Ханс Кристиан (Oersted H.) *стр.* 18, 51
- Юз Давид (Hughes D.) *стр.* 153, 154, 238
- Юль (Yule) *стр.* 145

Научное издание

Из истории изобретения и начального периода развития радиосвязи

Сборник документов и материалов

Составители:

Золотинкина Лариса Игоревна, **Лавренко** Юрий Евгеньевич,
Пестриков Виктор Михайлович

под научной редакцией профессора
Ушакова Виктора Николаевича

В издании использованы: фотоматериалы из фондов Мемориального
музея А. С. Попова СПбГЭТУ «ЛЭТИ», старинные открытки и
фотографии из коллекции М.А. Парталы

Корректор Т.А. Благодарова
Дизайн и верстка С.А. Низов
Обработка иллюстраций А.Н. Мальцева

Подписано в печать 28.11.2008.
Формат издания 60 90 1/16. Печать офсетная.
Гарнитура Октава. Тираж 3000 экз.
Усл. печ. л. 19. Заказ №.....

Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)
197376, С.-Петербург, ул. Проф. Попова, д. 5
Отпечатано в ГУП «Типография «Наука»
199034, Санкт-Петербург, 9-я линия В.О., д. 12/28
тел. (812) 323-65-69, факс (812) 323-50-27
E-mail: tipnauka@peterstar.ru