

А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р



РЕДКОЛЛЕГИЯ СЕРИИ «НАУЧНО-БИОГРАФИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА»
И ИСТОРИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ
ИНСТИТУТА ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ АН СССР
ПО РАЗРАБОТКЕ НАУЧНЫХ БИОГРАФИЙ ДЕЯТЕЛЕЙ
ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ:

*Л. Я. Бляхер, А. Т. Григорьян, Б. М. Кедров,
Б. Г. Кузнецов, В. И. Кузнецов, А. И. Купцов,
Б. В. Левшин, С. Р. Микулинский, Д. В. Ознобишин,
З. К. Соколовская (ученый секретарь), В. Н. Сокольский,
Ю. И. Соловьев, А. С. Федоров (заместитель председателя),
И. А. Федосеев (заместитель председателя),
Н. А. Фигуровский (заместитель председателя),
А. П. Юшкевич, А. Л. Яншин (председатель),
М. Г. Ярошевский*

Б. М. Болотовский

Оливер
ХЕВИСАЙД

1850—1925

Ответственный редактор
академик
В. Л. ГИНЗБУРГ



МОСКВА
«Н А У К А»

1985

Б79 Болотовский Б. М. Оливер Хевисайд.— М.: Наука, 1985.— 260 с.

Книга посвящена жизни и деятельности выдающегося английского физика и математика Оливера Хевисайда, сыгравшего важную роль в развитии классической электромагнитной теории после Максвелла и создавшего два больших раздела математической физики — векторное и операционное исчисления. Он также является одним из основателей современной теории связи.

Книга рассчитана на читателей, интересующихся развитием мировой науки.

17.4.4

Рецензенты:

доктор физико-математических наук

В. Я. ФРЕНКЕЛЬ,

доктор физико-математических наук

А. Т. ГРИГОРЬЯН,

кандидат физико-математических наук

Н. В. ВДОВИЧЕНКО

От редактора

Биография как литературная форма представляется очень богатой, даже особенно богатой по своим возможностям. С одной стороны, жизнеописание конкретного реального человека — его биография — может не уступать роману по глубине анализа психологии людей и окружающей их социальной среды. Конечно, правдивая биография (а только ее я имею в виду) не должна входить в противоречие с имеющимися материалами и фактами, касающимися ее героя. Но недостаток ли это, разве подобное ограничение не повышает доверия к повествованию? С другой стороны, биография тесно соприкасается, может быть весьма близка к историческому исследованию и вообще книге по истории. Если для определенности иметь в виду биографию физика, то она пусть и не является главой истории физики, но способна пролить свет на многие вопросы, относящиеся к этой истории и даже к самой физике.

Сказанное, вероятно, не вызовет возражений в принципе, однако должно сопровождаться объяснением, почему же хороших биографий значительно меньше, чем хороших романов? Не берусь ответить в общем виде, в целом. Думаю, что здесь нужно прежде всего отделить биографии писателей, общественных деятелей и т. п. от биографий «специалистов» — врачей, химиков, физиков и т. д. В первом случае биографию может написать и обычно пишет литератор. Во втором случае автор безусловно должен обладать также профессиональными знаниями в соответствующей области — нельзя же написать биографию физика, не зная физики. Это обстоятельство, естественно, ограничивает число возможных авторов, но степень такого ограничения сильно зависит от стиля биографии, точнее, ее близости к истории науки или к беллетристике. Конкретно, если бы Б. М. Болотовский, имея физическое образование, не был высоко квалифицированным специалистом в области классической электродинамики, к которой относятся работы Хевисайда, написать предлагаемую читателям биографию он, по моему

мнению, оказался бы не в состоянии. Дело в том, что это прежде всего научная биография выдающегося физика — Оливера Хевисайда, основанная на ознакомлении с его трудами. Разобраться в этих работах не так уж легко, в частности, учитывая тот факт, что в конце прошлого века стиль и форма изложения, включая обозначения, во многом отличались от современных. Но стоит ли игра свеч, не достаточно ли было бы уделить Хевисайду несколько строк в курсе истории физики или статью в каком-либо историческом сборнике? Ответ на этот вопрос дает сама книга, и он представляется мне однозначным — писать стоило. Оператор Хевисайда, единицы Хевисайда, слой Хевисайда — эти названия постепенно встречаются все реже (такова общая тенденция — даже уравнения Максвелла все чаще называют просто уравнениями поля). Но это не меняет того факта, что вклад Хевисайда в развитие электродинамики был очень значительным. Далее, Хевисайд долго оставался недостаточно понятым, недостаточно признанным и даже просто... непрочтенным.

Еще в 1888 г. Хевисайд указал на то, что заряд, равномерно движущийся в среде со скоростью, превышающей скорость света в этой среде, должен излучать, причем весьма своеобразным образом. Работы публиковались в известном физическом журнале, затем вошли в собрание трудов Хевисайда. Но долгие десятилетия на них не обращали внимания и заметили лишь в 1974 г. (независимо в Англии и СССР). Между тем речь ведь идет, по сути дела, об эффекте Вавилова—Черенкова, открытом этими физиками в 1934 г. и объясненным И. Е. Таммом и И. М. Франком в 1937 г. В 1958 г. за эти работы была присуждена Нобелевская премия по физике. Кстати, еще в 1904 г. известный немецкий физик А. Зоммерфельд был близок к предсказанию эффекта, но он рассматривал равномерное движение заряда лишь в вакууме, когда излучение возникает только при скорости, превосходящей скорость света в вакууме. Последнее для отдельной частицы невозможно, как это выяснилось после создания частной теории относительности в 1905 г. (здесь, правда, нужны некоторые оговорки, которые читатель найдет в настоящей книге). В результате работа Зоммерфельда была надолго забыта, о ней вспомнили лишь после появления теории Тамма и Франка. Тамм и Франк не знали о соответствующих работах Хевисайда на ту же тему, и, как сказано, до 1974 г. не нашлось, по-видимому, никого, кто обратил бы на них внимание. Здесь, между прочим, может

возникнуть и вопрос о приоритете. Фактически он даже поднимался в литературе. По моему убеждению, история всего этого вопроса такова, что никаких сомнений в приоритете Вавилова, Черенкова, Тамма и Франка не возникает — только они обнаружили и полностью поняли явление. Но одновременно нельзя не отдать должного также Хевисайду, и в этом вопросе опередившему свое время.

Научная судьба Хевисайда, если можно так выразиться, тесно связана с его личной судьбой, особенностями характера, тяжелыми условиями жизни. Б. М. Болотовский подробно останавливается и на этой стороне биографии Хевисайда. Недостаточное признание, неустроенность, одиночество (особенно в старости) — все это, к великому сожалению, далеко не редкость в жизни людей как «рядовых», так и самых талантливых и замечательных. Но нельзя к этому привыкать, и одна из задач литературы — не оставить читателей равнодушными к горьким сторонам человеческих судеб. И здесь я также хочу отметить большую теплоту, сочувствие и понимание, с какими автор пишет о Хевисайде.

Таким образом, как научная, так и литературная стороны предлагаемой книги представляются находящимися на высоте. Хотелось бы видеть побольше таких биографий.

В. Л. Гинзбург

Глава первая

Оливер Хевисайд был одним из крупнейших математиков и физиков конца прошлого и начала нынешнего века. Его жизнь и деятельность во многих отношениях уникальны. Перефразируя известное изречение, можно сказать, что все люди неповторимы, но Оливер Хевисайд неповторим больше, чем другие. О нем еще при жизни рассказывались легенды. Он окончил только неполную среднюю школу, а все остальные знания добыл сам, один, без преподавателей, ведя жизнь затворника. Судьба его открытий не менее драматична, чем его собственная судьба. Оливер Хевисайд умер около шестидесяти лет назад, и с тех пор его слава непрерывно растет. По мере изучения его книг выясняется, как много результатов первостепенного научного значения было им получено. При его жизни эти достижения не были оценены должным образом, а некоторые были вскоре забыты. И даже не столько забыты, сколько не прочитаны должным образом, не осознаны и оставлены без внимания.

Многие важнейшие результаты, полученные Хевисайдом, до такой степени не укладывались в привычную схему, что не только эти результаты, но даже методы их получения еще при жизни Хевисайда подвергались суровой и незаслуженной критике. Одним из его критиков был человек недостаточно компетентный, но занимающий важный административный пост. Критика со стороны такого лица привела к тому, что важнейшие научные журналы на несколько лет прекратили публикацию статей Хевисайда по вопросам, которые вызвали возражения со стороны влиятельного лица. Хевисайду возражали ученые, недовольные тем, что он получал свои результаты «не так, как надо», то есть при решении труднейших физических и математических проблем применял необычные новые методы, которые сам же и разрабатывал, методы очень эффективные, теперь общепринятые, но в то время, по общему мнению, «ни на чем не основанные», «нестро-

гие», «неверные» и т. д. Некоторые из методов, разработанных Хевисайдом, были признаны еще при его жизни, хотя и с большим запозданием. Другие так и остались непризнанными при жизни Хевисайда. Тем не менее теперь они широко применяются, но их связывают с именами других людей, которые переоткрыли эти методы много времени спустя.

Ученые, не признававшие Хевисайда, просто не понимали его, настолько трудны и непривычны были его статьи и книги.

Если не считать нескольких выдающихся ученых того времени, первыми оценили Хевисайда инженеры-электрики и связисты (может быть, именно поэтому многие считали и считают Хевисайда инженером). Они начали широко использовать методы Хевисайда при расчете электрических систем и линий связи. Простота и мощь операционного исчисления, возможность сравнительно легко получать с его помощью надежные результаты — эти преимущества в глазах инженеров более чем восполняли тот «недостаток», что операционное исчисление не имело в то время строгого математического обоснования.

Пожалуй, главная причина всех этих несправедливостей судьбы по отношению к Хевисайду была в том, что он намного опередил свое время. В науке, как и в любой другой области человеческой деятельности, есть свой уклад, свой консерватизм. Если какие-то представления устоялись, люди от них легко не отказываются. Представим себе, что в науке сделано открытие и это открытие влечет за собой коренную перестройку наших представлений об окружающем нас мире и связанное с этим более глубокое понимание его. Как побеждают эти новые представления, как они вытесняют старые, устоявшиеся и привычные для большинства? Только очень немногие люди способны сразу же отбросить старые неверные представления и принять новое понимание. Гораздо больше таких, которые отнесутся к новым представлениям враждебно или недоверчиво, потому что старое понимание было привычно и в общем не так уж плохо, а новое — непривычно и пока не ясно, что оно будет лучше старого. По форме дискуссия между сторонниками и противниками новых представлений носит научный характер, но по существу нередко бывает так, что позиция противников нового в значительной степени определяется соображениями не вполне научными. Есть тут и нежелание отказаться от старых представлений, с которыми связана вся

предыдущая, часто большая научная жизнь. Есть и неспособность на склоне лет воспринять новую точку зрения, особенно если она радикально отличается от старой. По-видимому, этот консерватизм человеческого сознания имел в виду Макс Планк, один из создателей квантовой теории, когда он говорил, что новая теория утверждается не путем переубеждения приверженцев старой теории, а путем их постепенного вымирания. Этот же самый консерватизм имел в виду и И. Е. Тамм, когда говорил, что мечтает дожить до появления новой теории и быть в состоянии ее понять.

Хевисайду на его жизненном пути нередко приходилось встречаться с проявлениями такого консерватизма.

Однако неприятие нового в науке может исходить и из других мотивов, ничего общего не имеющих с инерцией человеческого мышления и вообще не имеющих ничего общего с наукой. К числу этих причин относятся, например, самолюбие, мешающее признать свои ошибки, честолюбие, тщеславие, соображения карьеры. Хевисайду на его жизненном пути пришлось испытать горечь от непонимания и прямого противодействия со стороны людей, которые руководствовались именно такими побуждениями.

Трудности, которые пришлось испытать Хевисайду, усугублялись еще трудностями его характера. Он был резкий и бескомпромиссный в вопросах науки человек. Не только в вопросах научного знания, но научной этики. Он беспощадно и язвительно клеймил невежество своих оппонентов, сохраняя при этом логическую безупречность своих доводов. Встречаясь с критикой со стороны людей понимающих, он мог в пылу полемики незаслуженно резко отозваться о том или другом доводе оппонента. Но нет никакого сомнения в том, что при этом Хевисайд руководствовался научными соображениями, как он их понимал, но никак не соображениями личной выгоды. Он никогда не гнался за личной выгодой. Он прожил всю жизнь на грани нужды, а в конце жизни, последние 8—10 лет жил в нужде. Он вел жизнь затворника, занимаясь только наукой. Склонный к уединению, он, если у кого-нибудь возникала необходимость обсудить с ним неясный вопрос, как правило, уклонялся от встречи, предпочитая переписку. Кроме ближайших родственников, Хевисайд за всю свою жизнь встречался только с очень немногими людьми, и то, как правило, всего несколько раз. Некоторые из людей, бывавших у него дома, оста-

вили свои воспоминания. Но все-таки главным рассказчиком о Хевисайде является сам Хевисайд. Не склонный к личному общению, он охотно отвечал на письма. Писем к нему приходило бесчисленное множество. По большей части это были просьбы разобраться в том или ином сложном вопросе. Среди специалистов и студентов широко было распространено мнение, что для Хевисайда не существовало трудностей. Он охотно и подробно отвечал на письма, настолько подробно, что это не могло не мешать его собственной научной работе. Некоторые из сохранившихся писем содержат по несколько тысяч слов!

В своих письмах Хевисайд касается не только узкоспециальных научных вопросов. Он излагает свои мнения по широкому кругу важных научных проблем, вспоминает свою молодость, описывает свою повседневную жизнь. Письма эти великолепно написаны, они имеют, помимо научной, еще и литературную ценность.

Книги Хевисайда также несут на себе неповторимый отпечаток его личности. Хевисайда невозможно перепутать ни с каким другим автором. Он может показаться многословным, но это на самом деле не многословие, а фундаментальный разбор фундаментальных проблем. В тексте имеются повторения — это потому, что Хевисайд составлял книги на основе своих же журнальных статей. И нередко в начале статьи он для удобства читателей кратко излагал результаты предыдущей статьи или даже предыдущей серии статей. Так это затем и входило в его книги.

Наконец, в них довольно часто встречаются интереснейшие отступления на самые различные темы: о том, каким шрифтом надо печатать книги, чтобы их было легко читать, о том, как надо обучать математике в школе, о том, знает ли Англия своих выдающихся ученых, о пределах, налагаемых на любые научные предсказания.

В его книгах выражаются личные симпатии и антипатии не только по отношению к различным физическим проблемам и методам их решения, но и по отношению к людям, которых он знал по личному знакомству, или по переписке, или по их опубликованным работам. Это самые разные люди — ученые, администраторы, бизнесмены. С некоторыми из них Хевисайд ведет научную дискуссию, некоторых осуждает за неэтичное поведение, некоторыми восхищается, ценя их научные достижения и человеческие качества. Его отступления, возможно, иногда являются спорными, но всегда интересны.

Имя Хевисайда при его жизни было неизвестно широким кругам научной общественности. О нем знали и отдавали ему должное немногие, но наиболее выдающиеся исследователи электромагнетизма: Лармор, Фицджеральд, Герц, Кельвин, Рэлей, Дж. Дж. Томсон, Лоренц и еще не очень много других. Для всех остальных Хевисайд был труден и непонятен. Теперь, в наши дни, его книги¹⁻⁵, по-видимому, легче читать, чем в то время, когда они были изданы. Мне кажется, что стиль научного исследования, созданный Хевисайдом, опередил свое время в той же мере, как и полученные им результаты. «Научная кухня» Хевисайда близка к современной.

Глава вторая

Оливер Хевисайд родился 18 мая 1850 г. в Лондоне в семье художника. Он был младшим из четырех сыновей. Семья была не очень состоятельная, поэтому Оливер смог закончить только неполную среднюю школу — так неточно мы переводим elementary school, общедоступную школу, где обучались дети до 14—15 лет. На продолжение образования в частной школе и тем более на получение высшего образования денег не было.

Оливер учился в школе лондонского района Кэмден Таун, того района, где он жил. В числе его учителей был мистер Чешайр, о котором Хевисайд уже в зрелые годы всегда отзывался с уважением. К концу 1865 г. Оливер держал экзамены перед коллегией наставников. Он был проэкзаменован по 13 предметам, в том числе по английскому, французскому и латинскому языкам, физике, химии и математике. Набрав меньше половины из общего числа очков (1140 из 2600), он тем не менее по результатам экзаменов был пятым, а по естественным наукам — первым. За успехи в естественных науках ему была присуждена специальная премия. К этому можно добавить, что он получил очень низкую оценку на экзамене по евклидовой геометрии (15% от максимально возможного числа очков)⁶. По-видимому, эта низкая оценка объяснялась не тем, что он не знал вопроса. Возможно, что у него были свои взгляды на геометрию и они отличались от взглядов экзаменаторов. Позднее Хевисайд неодно-



Рис. 1. Дом, где родился и провел детство Оливер Хевисайд. Его семья занимала правую половину дома (вход с портиком)

кратно возвращался к вопросу о преподавании геометрии. Он считал, что преподавать геометрию по Евклиду — это самый плохой способ преподавания: «Это возмутительно, что молодые люди должны забивать себе голову сплошными логическими тонкостями, пытаясь понять доказательство очевидного факта с помощью чего-то, столь же очевидного, или, может быть, не столь очевидного, и приобретая глубокую неприязнь к математике, в то время как изучение геометрии, важнейшего фундаментального предмета, может быть сделано очень интересным и поучительным. Я придерживаюсь мнения, что это, по существу, экспериментальная наука, как и всякая другая, и ее надо преподавать в первую очередь с помощью наблюдения, описания и эксперимента. Обучение должно быть естественным продолжением того знакомства с геометрией, которое получает каждый ребенок, соприкасаясь со своим окружением, но, конечно, обучение должно быть более определенным и целенаправленным»⁸. Исходя из того, что геометрия — наука экспериментальная, Хевисайд считал, что, например, число π должно измеряться, как и площадь круга, эллипса и как другие геометрические характеристики. Он считал, что мальчик, который убедится в справедливости геометрической теоремы с помощью измерения, постигнет теорему лучше, чем при чисто логи-

ческом обосновании без соответствующего опытного знания. «Поборники логики могут сказать, что таким путем вы ничего не доказываете. У меня другое мнение. Точно так же можно сказать, что вы ничего не доказываете в любых физических измерениях»⁹.

Наряду с ролью опыта, измерения в геометрии Хевисайд также подчеркивал большую роль математической интуиции вообще в математике и, в частности, в геометрии. Вот одно из его высказываний на этот счет: «Основное представление о работе математика заключается в том, что вы должны знать обоснование своих действий с самого начала, до того, как вы приступаете к практической работе. Это выдумка и чепуха. Я говорю об этом с уверенностью не только исходя из своего собственного детского опыта и из опыта других мальчиков, но и как взрослый человек, имеющий некоторый опыт в приложении математики. Я знаю такие математические приемы, которые я с успехом применял очень долгое время и схоластическая логика которых ни мне, ни кому-либо другому непонятна. Я врос в эти приемы и таким путем их понял. Факты остаются фактами, даже если вы не видите, как от них перейти к законченной теории. Законченная теория и невозможна. Всегда что-то еще требуется, независимо от того, на что претендуют люди от логики»¹⁰.

Возражая против того, что в конце XIX в. детей учили геометрии так же, как во времена Евклида, Хевисайд предлагал такую программу:

«Мое собственное представление о целесообразном курсе заключается в следующем: начинать следует с арифметики, а затем алгебра, но не Евклид. Затем практическая геометрия — геометрия твердых тел, так же как и геометрия на плоскости, но не Евклид; не показ, а возможность познакомиться. Затем не Евклид, но элементарное представление о векторах в соединении с алгеброй и в применении к геометрии. Сначала сложение, затем скалярное произведение. Этого будет достаточно для многого. Продвинувшись дальше, вводите векторное произведение. Параллельно нужно вести элементарное исчисление и через некоторое время переходить к векторной алгебраической геометрии. Евклид, как и Гомер, может излагаться в дополнительном курсе для знающих людей. Но Евклид для детей — это варварство»¹¹.

Я учился в средней школе в сороковых годах XX в., через пятьдесят с лишним лет после того, как были написаны приведенные здесь слова Хевисайда. Нас все

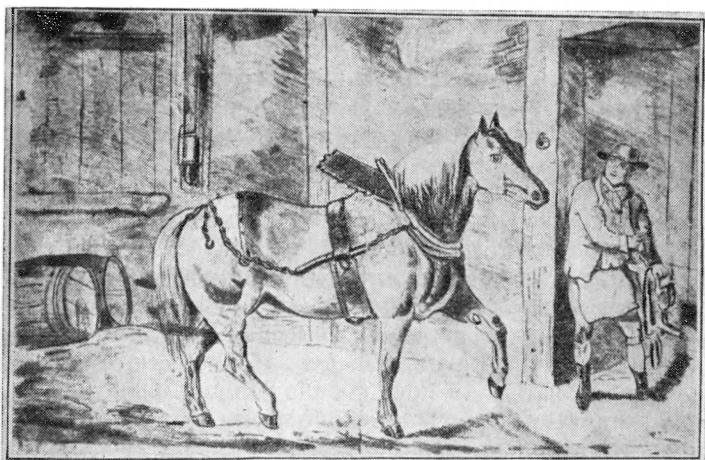


Рис. 2. Рисунок с надписью Хевисайда: «Упряжная лошадь. Оливер Хевисайд, 11 лет»

еще учили по Евклиду. Прошло еще сорок лет. Теперь в курс геометрии введены начала векторного исчисления. Хевисайд и здесь опередил свое время и опередил намного (впрочем, я не знаю, введено ли векторное исчисление в программу английской школы).

В детстве Оливер неплохо рисовал, о чем свидетельствуют рисунки, сделанные им в 11-летнем возрасте. Возможно, что отец собирался обучить его своему искусству, но интересы Оливера вскоре обратились от искусства к науке об электричестве. Трудно сказать, что повлияло на этот выбор. Есть, впрочем, одно вероятное объяснение. Его тетка по матери была женой Чарлза Уитстона, известного физика, автора многих исследований по акустике, оптике, электричеству и магнетизму. Уитстон был основателем практической телеграфии. Принципиальная возможность передачи сигналов по проводам была известна и до Уитстона, но он первый осуществил эту возможность и много сделал для дальнейшего технического усовершенствования телеграфии. С его именем, в частности, связано устройство для измерения омического сопротивления (мостик Уитстона).

По-видимому, Уитстон оказал определенное влияние на Оливера Хевисайда, по крайней мере в начале пути. Сразу два брата Хевисайды — Оливер и Артур Уэст — пошли работать в телеграфную компанию. Оливер четыре

года, с 1870 по 1874 г., проработал телеграфистом в Ньюкасле. Есть указания на то, что некоторое время из этих четырех лет он провел в Дании. В сохранившихся записных книжках Хевисайда есть запись о том, что он определял повреждения на линии, находясь в городке Фредерика в Дании ⁶.

После того как эта англо-датская линия была введена в строй, Оливер принял участие в определении ее параметров, в частности, он определял скорость передачи по этой линии. Дело в том, что заранее рассчитать свойства линии в те годы было невозможно — не было достаточно надежной теории передачи сигнала по линии связи. Поэтому сначала прокладывали кабель, а потом определяли характеристики проложенной линии. Одной из важных характеристик была скорость передачи по линии. Скорость передачи можно измерять, например, числом слов, передаваемых по линии в минуту. Каждая линия связи имеет предельную скорость передачи, и у линии того времени эта предельная пропускная способность была невелика — порядка сотни слов в минуту (или еще ниже). Позднее, примерно через двадцать лет, Хевисайд построил полную теорию распространения сигнала по линии связи, и на основе этой теории пропускная способность линий связи была повышена во много раз. Но тогда, когда он только начинал работу телеграфистом, предельная скорость передачи была невелика. Попытка превысить предельную скорость передачи приводила к тому, что на принимающем конце линии сигналы становились неразборчивыми, в азбуке Морзе точку уже нельзя было отличить от тире — точки «расплывались», паузы между буквами сокращались, короче говоря, сигнал настолько искажался, что становился неузнаваем.

Определение скорости передачи по англо-датской линии привело к удивительным для молодого Хевисайда результатам. Оказалось, что скорость передачи из Англии в Данию была на 40% выше, чем скорость передачи в обратном направлении. Хевисайд тогда не понимал, почему так получается, и никто не мог ему этого объяснить. Он понял причину лет через десять.

В 1874 г. Оливер Хевисайд оставил работу телеграфиста и вернулся в Лондон. К тому времени Оливер начал глухнуть, и некоторые считают, что именно это обстоятельство и заставило его уйти с работы. Однако наступавшая глухота могла и не быть основной причиной. К тому времени работа телеграфиста привлекала Хевисайда все

меньше, а на первый план все более отчетливо выступали его научные интересы. Еще в 1868 г., за два года до того, как он поступил на работу в телеграфную компанию, Оливер занялся экспериментами по электричеству. Он оборудовал в доме отца лабораторию, где были элементы питания, измерительные приборы, телеграфное, телефонное и другое лабораторное оборудование. Его первые работы были посвящены точному измерению сопротивлений. Первая из них была опубликована в 1872 г. В этих исследованиях Хевисайд выступал и как экспериментатор, и как теоретик. В частности, его работа, опубликованная в феврале 1873 г. в журнале «Philosophical Magazine», была посвящена наилучшему подбору сопротивлений в схеме типа мостика Уитстона (другое название этой схемы — баланс Кристи). Результаты этой работы Хевисайда были известны Максвеллу. В знаменитой книге Максвелла «Трактат об электричестве и магнетизме», в первом томе есть глава «Измерение электрического сопротивления». Конец § 351 посвящен результатам Хевисайда. Эти результаты, упомянутые Максвеллом, представляют собой, пожалуй, самое малое из того, что сделал Хевисайд в теории электромагнетизма. Главный его вклад сделан уже после смерти Максвелла, и все же Оливер Хевисайд — единственный, кого Максвелл упоминает в своем трактате. Добавим еще в связи с этой работой Хевисайда, что для выполнения ее расчетной части не требовалось знаний по высшей математике, в статье приведены сравнительно простые алгебраические вычисления.

В своей домашней лаборатории Хевисайд также проводил эксперименты с микрофонами. В частности, исследовалось влияние давления на свойства контактов¹².

С 1873 по 1876 г. Хевисайд опубликовал серию статей, в которых была обоснована практическая возможность дуплексной телеграфии. В то время передача сообщений по телеграфной линии осуществлялась поочередно то в одном, то в другом направлении. Такая связь называется симплексной. При симплексной связи каждая из двух станций, соединенных линией, может вести либо только прием сигнала, либо только передачу, но не может сразу вести и прием и передачу, т. е. не может одновременно принимать сигналы, идущие по линии, и передавать на линию свои сообщения. Хевисайд показал, что можно одновременно вести по одной и той же телеграфной линии передачу одного сообщения и прием другого. Такая

связь называется дуплексной. Оливер Хевисайд не только предложил такие схемы линии и такие схемы включения передающих и приемных устройств, при которой дуплексная связь стала надежной, он практически осуществил дуплексную телеграфную связь в 1873 г. В проведении этого опыта участвовал его брат Артур Уэст Хевисайд — второй телеграфист из семьи Хевисайдов. Послания отправлялись «одновременно с обеих станций настолько быстро, насколько можно было передавать ключом» (выдержка из записной книжки Хевисайда, куда он заносил результаты опыта).

Сама идея дуплексной связи не была новой, но она считалась в то время бесперспективной, потому что те варианты, которые испытывались до Хевисайда, оказались неудачными. Первая статья Хевисайда «О дуплексной телеграфии» начиналась словами:

«Дуплексная телеграфия, искусство одновременного телеграфирования в обоих направлениях, была впервые осуществлена доктором Джинтлом в 1853 г. и впоследствии привлекала внимание очень многих изобретателей до тех пор, пока не утвердилось мнение, что вряд ли ее можно хоть как-то осуществить на практике...

...Я предлагаю в этой работе краткий очерк теории дуплексной телеграфии по общеизвестным схемам, а также описываю два других метода, которые, по-моему, являются полностью оригинальными».

Теперь, когда по одной линии передаются десятки и сотни телефонных разговоров, дуплексная линия, созданная Хевисайдом, конечно, не поражает воображение. Но надо помнить, что для того времени это было реальное и важное продвижение, вдвое увеличивающее объем информации, передаваемой по линии.

В 1876 г. Оливер Хевисайд, которому тогда было 26 лет, уже получил известность в кругах специалистов, хотя большинство читателей не могли понять и оценить большую часть его работ. Он был избран в совет Общества телеграфных инженеров (членом-корреспондентом этого общества он стал двумя годами ранее, в 1874 г.).

Сэр Джордж Ли, бывший одно время президентом Института инженеров-электриков, пишет об этом эпизоде в жизни Хевисайда: «Печально отметить, однако, что он не посетил ни одного из заседаний совета и не был переизбран в совет на следующий год. В 1881 г. он не смог уплатить членские взносы, и в ноябре того же года его имя было вычеркнуто из списков»⁶.

Членом совета в то время был и Уильям Прис, тогда один из ведущих инженеров, а впоследствии главный инженер британского почтового ведомства. О его отношениях с Хевисайдом мы еще будем говорить. Сложившиеся впоследствии отношения между ними были далеки от идеальных. Но в тот год, когда Хевисайд числился членом совета, Прис относился к нему вполне доброжелательно. Он, по-видимому, ценил «практические» (т. е. экспериментальные) работы Хевисайда (а другие его исследования, теоретические, еще только начинались). Прис предложил Хевисайду место в компании «Уэстерн Юнион» с оплатой 250 фунтов в год. Это была хорошая по тем временам оплата (тем более для начала). Но Оливер не принял предложения. Он был всецело поглощен чисто научными интересами, все остальные занятия казались ему пустой тратой времени.

Глава третья

В 1873 г. вышла из печати двухтомная книга Максвелла «Трактат об электричестве и магнетизме». Эта книга подводила итог огромной работы по созданию теории электромагнитных явлений. В ней были приведены знаменитые уравнения Максвелла, описывающие электромагнитное поле. Эти уравнения теперь являются основой понимания в очень широкой области явлений природы и составляют один из краеугольных камней физического знания. Но первые годы после появления этой книги мало кто понимал то, что там было сказано. Тем более мало кто понимал, что появление трактата означало появление теории. Многие ученые до Максвелла рассматривали отдельные вопросы теории электромагнетизма: электростатику, магнитное поле тока, взаимодействие двух токов и т. д. Связи между всеми этими явлениями были тогда неясны, поэтому решение каждой отдельной проблемы рассматривали как теорию. Так и говорили: теория Гаусса (статические поля), теория Ампера (магнитное поле токов), теория Био и Савара (взаимодействие двух токов) и т. д. А широкий круг оптических вопросов до Максвелла вообще не относили к области электрических и магнитных явлений.

Теория Максвелла была действительно теорией. Она описывала все упомянутые выше частные случаи — и электростатику, и магнитостатику, и взаимодействие токов, и многое другое — все те явления, о которых было известно, что они относятся к миру электричества и магнетизма. К этому же миру электрических и магнитных явлений оказалась причисленной и оптика, т. е. часть физики, изучающая законы распространения, преломления и отражения света. Максвелл показал, что свет — это электромагнитные волны малой длины.

Но в те годы, как уже было сказано, мало кто понимал, что с книгой Максвелла, наконец, появилась и теория электромагнитных явлений. Большинство ученых приняло книгу Максвелла как еще одну из многих теорий: есть теория Гаусса, Ампера, Араго, Неймана, Вебера, Био и Савара и т. д., а теперь еще появилась и теория Максвелла, и неясно, чем она лучше остальных, а может быть, она и не лучше. Особенно сильные сомнения вызывало утверждение Максвелла об электромагнитной природе световых волн и вообще предсказание о существовании электромагнитных волн. Очень немногие во всем научном мире отнеслись серьезно к теории Максвелла, когда она появилась. Скептическое отношение к ней держалось до 1888 г., когда Генрих Герц в Германии и Оливер Лодж в Англии экспериментально получили электромагнитные волны.

Хевисайд увидел книгу Максвелла вскоре после ее появления. Книга поразила его и определила всю дальнейшую жизнь. Можно было бы уточнить последние слова, написав, что книга Максвелла определила всю дальнейшую научную жизнь Хевисайда, но в таком уточнении нет нужды, если речь идет о Хевисайде. У него, кроме научной, не было никакой другой жизни. Рассказывают, что однажды кто-то сказал уже пожилому Хевисайду: «Вам надо было жениться, мистер Хевисайд». Он ответил: «Если бы я женился, что бы тогда стало с моей работой?»

Сохранилось письмо Хевисайда к Жозефу Бетено, французскому ученому, радиофизику. Письмо написано в 1918 г., когда Хевисайду было 68 лет. В письме этом рассказывается, что в молодые годы Хевисайд безуспешно старался разобраться в электрических явлениях. В 1873 г. он случайно увидел у книжного торговца только что вышедшую книгу Максвелла. Хевисайд тут же, у прилавка, прочел предисловие, проглядел текст, останавливаясь в некоторых местах для более подробного чтения, а затем

прочел заключительную главу. Его охватило чувство великого открытия. Он сам писал о своем впечатлении от книги Максвелла: «Это было нечто великое, и еще более великое, и величайшее». Он сразу же купил эту книгу и с необычайным рвением приступил к ее изучению. Однако книга оказалась для него очень трудна. В этом нет ничего удивительного. Книга была трудна и для других. Один из биографов Хевисайда пишет, что Хевисайд купил у торговца не новый, а подержанный экземпляр книги Максвелла. Книга ранее принадлежала преподавателю математической физики в колледже, который против заголовка одной из глав написал: «С этого места книгу абсолютно невозможно читать»¹³. А ведь он свободно разбирался в сложных разделах высшей математики, на которых была построена математическая основа изложения в книге Максвелла. По-видимому, прежний хозяин книги не смог разобраться в физических предпосылках, из которых исходил Максвелл. Хевисайд же изучал в школе лишь элементарную математику, да и ту, как он с юмором отметил в письме к Бетено, к тому времени уже почти всю забыл. Ему понадобилось несколько лет работы, прежде чем он полностью разобрался в книге Максвелла.

Письмо заканчивается словами: «Тогда я отложил Максвелла в сторону и пошел своим собственным путем. На этот раз дело двинулось гораздо быстрее»¹⁴.

Очень вероятно, что именно желание изучить теорию Максвелла и заставило Хевисайда уйти из телеграфной компании. До конца своей жизни он больше ни на какую другую работу не поступал. Жил он на скромные гонорары, которые получал от издателей журнала «Electrician» за публикацию своих статей. Может быть, какую-то денежную помощь ему оказывали его ближайшие родственники — родители и братья. Это, впрочем, маловероятно, потому что у Хевисайда был независимый характер и он очень неохотно принимал любую помощь. Однако во всех делах, не связанных с научными исследованиями, он был беспомощен и нуждался в уходе. Позднее британское правительство назначило ему пенсию в 120 фунтов в год в признание его научных заслуг.

После ухода с работы Оливер Хевисайд до 1889 г. жил в Лондоне в доме своего отца, где ему была отведена одна из комнат. Он неустанно занимался и большую часть времени находился в полном уединении. Обычно он закрывал окна и дверь, разжигал камин, закуривал трубку,

зажигал керосиновую лампу и в невероятной жаре и духоте подолгу работал.

Хевисайд вообще любил тепло. В последние годы своей жизни, когда у него не было денег на отопление своего дома, он очень страдал от холода⁶.

В семье знали, что в часы работы Оливеру нельзя мешать. Заботливая мать приносила ему еду и оставляла за дверью, так что он мог работать без помех.

Эплгьярд, автор биографии Хевисайда, описывая манеру работы молодого Оливера, меланхолически замечает: «Таким образом, он нарушал все правила, предписанные для сохранения здоровья». Правда, он тут же добавляет: «Но, с другой стороны, он много и с наслаждением ходил, а время от времени занимался и более трудными гимнастическими упражнениями, потому что он был хороший гимнаст»¹².

Оливер посещал концерты музыки, хотя ему мешала наступающая глухота. Он любил произведения «божественного Шуберта» (слова, взятые в кавычки, принадлежат Хевисайду). Однажды даже выучил на пианино одно из произведений Бетховена (ор. 90), которое любил больше других.

Эплгьярд, написавший биографию Хевисайда, упоминает, как выглядел Хевисайд в те годы: «Он был несколько ниже среднего роста, рыжеватый, сдержанный, остроумный и обладал властным характером»¹².

Имеются и другие свидетельства о том, как выглядел Хевисайд в молодые годы. Знавший его У. Браун пишет: «Как младший клерк телеграфа я работал с Оливером Хевисайдом в 1870 г. Это был молодой человек очень джентльменского вида, всегда хорошо одетый, стройный, с красивыми волосами и румяным лицом». Другие описывают его как молодого человека приятной наружности, тщательно одетого, с блестящими глазами, красивым цветом лица и светло-каштановыми волосами⁶.

Мы остановились на внешности Хевисайда потому, что после него осталось только несколько его фотографий, относящихся к 1893 г., т. е. к гораздо более позднему времени. Используя эти фотографии (точнее, негативы), сделанные племянником Хевисайда Чарлзом, художник Фрэнсис Ходж написал в 1945 г. портрет Оливера Хевисайда для Института инженеров-электриков. Написать портрет в красках по черно-белой фотографии — дело нелегкое. Ходж встречался с немногими из доживших до 1945 г. людей, которые еще помнили Хевисайда, и вос-

пользовался их советами (этот портрет помещен на обложке книги).

Хевисайд не любил фотографироваться, после него осталось очень мало фотографий. Сохранилась фотография Хевисайда, где он стоит, засунув руки в карманы брюк. Негатив этой фотографии, как и несколько других, сохранился в коробке, на которой рукой Хевисайда написано: «...сохранять сухими, эмульсия к эмульсии. Негатив, где руки в карманах, по-видимому, наилучший, хотя его мать предпочитала улыбку». Может быть он пишет о себе в третьем лице («его мать»), а может быть он имеет в виду мать своего племянника, жену своего брата Чарлза.

Других фотографий Хевисайда, кроме тех, что сделаны по негативам из этой коробки, нет (если не считать групповых фотографий большой семьи Хевисайдов, где Оливер обычно находится на заднем плане и его лицо с трудом можно разобрать). Хевисайд высмеивал тех, кто публикует свои фотографии: «Это заставляет общественных деятелей думать, что они в самом деле являются очень важными людьми и что поэтому неотъемлемая часть их деятельности — это стоять у порога для того, чтобы их фотографировали». О присланной ему групповой фотографии, на которой была изображена группа членов Института инженеров-электриков, он записал: «Гиганты сзади. Пигмеи впереди. Я отдал ее, в рамке и под стеклом, мебельному торговцу в Ньютон Эбботе даром, в придачу к старому кухонному столу»¹².

Друг Хевисайда, рано скончавшийся известный английский физик Джордж Фрэнсис Фидджеральд, пытался изменить отношение Хевисайда к фотографии. В одном из писем к Хевисайду он писал: «Если бы Вы были один из тех, чья высокая репутация достигнута бесцеремонным проталкиванием, я мог бы понять Ваши опасения, что опубликование Вашего портрета будет неправильно истолковано»¹². Джордж Фрэнсис Фидджеральд был порядочным человеком, поэтому его аргументация — это точка зрения порядочного человека, и она не могла бы возникнуть у того, чья высокая репутация достигнута бесцеремонным проталкиванием». Такой человек не испытывал бы никаких колебаний относительно публикации своих фотографий. Так или иначе, Хевисайд своей точки зрения не изменил.

Но вернемся к рассказу о жизни Хевисайда после того, как он ушел с работы в телеграфной компании.

Первые несколько лет, как мы уже знаем, Хевисайд посвятил изучению максвелловской теории. Прежде всего следовало овладеть математическим аппаратом — изучить дифференциальное и интегральное исчисления, дифференциальные уравнения в частных производных и многое другое. С этой задачей Хевисайд успешно справился. За очень короткое время он в совершенстве изучил все необходимые для него разделы математики (это само по себе вызывает почтительное удивление), а в дальнейшем даже создал две новые области математической физики — векторное исчисление, включая векторный анализ, и операционное исчисление. Теперь начала векторного исчисления преподают в школьном курсе математики и физики, но в то время, около ста лет назад, хотя понятие вектора и было известно, практически никто не использовал это понятие для описания физических явлений. Векторная алгебра и векторный анализ были почти не разработаны. Как писал впоследствии Хевисайд, «в своем великом трактате об электричестве и магнетизме Максвелл хотя и отмечал, что векторные методы подходят для рассмотрения вопроса, но не пошел дальше использования в первую очередь представления о векторе и иногда выражал свои результаты в векторной форме. Таким путем его читатели познакомились с представлением о векторе, а также узнали, как выглядят некоторые формулы, записанные в кватернионных обозначениях. Они, однако, не получили никаких сведений о том, как работать с векторами»¹⁵.

В то время для описания физических явлений широко применялось и еще шире пропагандировалось кватернионное исчисление. Хевисайд считал, что оно слишком сложно и ненаглядно, потому что векторная природа электрического и магнитного полей при кватернионной записи в значительной степени оказывается замаскированной.

Хевисайд писал: «В теории кватернионов повелителем является кватернион, и он устанавливает свои законы для вектора и скаляра. Все вращается вокруг кватерниона. Даже законы векторной алгебры выражаются через кватернионы с помощью мнимой единицы»⁶. В противоположность кватернионному исчислению Хевисайд считал, что векторные соотношения больше отвечают физике дела и проще в математическом отношении. Он развил простую и мощную схему векторного анализа, которая в своих основных чертах (это касается даже большей части введенных им обозначений) сохранилась до настоящего времени.

Сторонником векторного, а не кватернионного исчисления, кроме Хевисайда, был также Гиббс, который в своих лекциях независимо от Хевисайда (и несколько раньше) также систематически излагал основы векторного исчисления и широко применял векторное описание.

Вопрос о том, какую математическую схему выбрать для описания—векторное или кватернионное исчисление, с чисто математической точки зрения не является существенным, потому что обе эти схемы приводят к одним и тем же результатам.

Но в теории электромагнитного поля векторное описание имело определенные физические преимущества хотя бы потому, что электрическое и магнитное поля в трехмерном пространстве являются векторами, а не кватернионами, поэтому векторное описание обладает большей физической наглядностью. Аналогично обстояло дело и в других областях физики.

Введение векторного исчисления не обошлось без споров со сторонниками кватернионного описания. Гиббса и Хевисайда называли врагами кватернионного прогресса. Им приходилось отстаивать свою точку зрения.

В наше время кватернионное описание почти не применяется в физике, векторное же исчисление (его называют иногда «векторное исчисление Гиббса—Хевисайда») нашло широкое применение во многих разделах физики. Если говорить о теории Максвелла, то векторный способ изложения сделал ее более наглядной и более доступной для изучающих.

Второй вклад Хевисайда в математику — это создание операционного исчисления. Он разработал новый эффективный метод решения линейных дифференциальных уравнений. В этом методе операция дифференцирования по одной из переменных заменяется умножением дифференцируемой функции на некоторый символ, который до поры до времени может рассматриваться как простое число. Такая замена упрощает уравнение, а если искомая функция зависит только от одной переменной, то дифференциальное уравнение превращается в алгебраическое. Затем упрощенное уравнение решается обычными методами, а в полученном выражении символ, заменяющий операцию дифференцирования, вновь обретает свой первоначальный смысл. Таким образом, решение является некоторым оператором, который нужно применить к заданной функции, чтобы получить решение в явном виде. Хевисайд показал, что для большого класса физически

If we multiply a continuous function of y , say $f(y)$, by u , an impulsive function which exists only at the point $y=x$, the product is obviously zero except at that point, where it is infinite. But if we take the space total of the product $uf(y)$, the result is $f(x)$. For u only exists at x , and its total is 1. Thus,

$$\int uf(y)dy = f(x), \quad (24)$$

if the limits include the point x . If not, the result is zero. This is the property made use of in Fourier and other series when employed to express arbitrary functions. The function u , in the above or other special form, spots a single value of the arbitrary function in virtue of its impulsiveness.

α

β

$$u = \frac{2}{l} \sum_1^{\infty} \sin \frac{n\pi x}{l} \sin \frac{n\pi y}{l}, \quad (23)$$

By the last formula we see that

$$u = \frac{1}{l} + \frac{2}{l} \sum_1^{\infty} \cos \frac{n\pi x}{l} \cos \frac{n\pi y}{l} \quad (42)$$

is a unit impulsive function existing at the point $y=x$, like (23) in fact, so that the formula (24) applies, and an arbitrary function may be expanded in cosines thus:—

β

$$f(x) = \frac{1}{l} \int_0^l f(y) \left\{ 1 + 2 \sum_1^{\infty} \cos \frac{n\pi x}{l} \cos \frac{n\pi y}{l} \right\} dy. \quad (43)$$

γ

$$u = \frac{1}{2l} \left\{ 1 + 2 \sum_1^{\infty} \cos \frac{n\pi}{l} (y-x) \right\}, \quad (52)$$

важных задач получение решения таким методом сводится к выполнению ряда стандартных операций, которые и были им выполнены.

Операционное исчисление получило широкое применение при решении целого ряда задач в различных областях физики: в теории теплопроводности и диффузии, при изучении электрических цепей и линий связи, в задачах распространения радиоволн. Удобство этого метода, помимо стандартности вычисления, состоит в том, что таким способом можно эффективно рассматривать процессы установления, или, как говорят, переходные процессы. Рассмотрим для примера некоторую электрическую цепь с отключенным элементом питания. Пусть в некоторый момент времени (скажем, в нулевой момент) элемент питания включается в цепь. Тогда, прежде чем в цепи уста-

When the period is infinitely long, if we put $s = n\pi/l$, we have $ds = \pi/l$ to represent the step from one s to the next, which is infinitely small in the limit, when the impulsive function becomes

$$u = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \cos s(y-x) \cdot ds, \quad (54)$$

and its meaning is a unit impulse at the point $y=x$ only. So, applying it through (24) to a function of y , we get

$$f(x) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} f(y) \cos s(y-x) \cdot dy ds, \quad (55)$$

which is the form of Fourier's theorem applicable to any function given between $-\infty$ and $+\infty$. The mean value, should

Рис. 3. Фрагменты книги Хевисайда «Электромагнитная теория» (т. 2)

a — определение импульсной функции (оно совпадает с определением дельта-функции, которое дается в современных учебниках по теоретической физике); *б* — разложение импульсной функции в ряд Фурье по синусам; *в* — разложение импульсной функции в ряд Фурье по косинусам и представление произвольной функции с помощью этого разложения; *г* — разложение импульсной функции в ряд Фурье на отрезке от 0 до $2l$; *д* — разложение импульсной функции в интеграл Фурье

новятся стационарные токи, должно пройти некоторое время. Операционное исчисление позволяет легко определять поведение цепи непосредственно после включения, когда токи еще не достигли стационарной величины. Для рассмотрения процессов включения Хевисайд ввел специальную функцию. Она так и называется — функция Хевисайда. Эта функция равна нулю во все отрицательные моменты времени и равна единице во все положительные моменты времени.

Хевисайд широко использовал в своих расчетах еще одну функцию. Он назвал ее импульсной. Эта функция обладала очень странными свойствами. Она равнялась нулю во всех точках, кроме одной, где она обращалась в бесконечность таким образом, что интеграл от этой функции равнялся единице, если эта точка попадала в промежуток интегрирования. Эта функция описывает импульсное воздействие на систему. Такое воздействие имеет место, например, при упругом соударении двух жестких шаров. Силы действуют на шары только в момент соуда-

рения, а интеграл от силы по времени, т. е. переданный при соударении импульс, отличен от нуля. Импульсная функция определяет также плотность точечного источника. Хевисайд подробно разобрал свойства этой функции. Однако эти работы Хевисайда были забыты. Больше чем через тридцать лет эту функцию заново ввел в физику Дирак. Теперь импульсная функция Хевисайда часто применяется в теоретической физике и носит название дельта-функции Дирака.

Работы Хевисайда по операционному исчислению первоначально не получили признания математиков. Почему так произошло?

Хевисайд был самоучка. Он не учился в университете (и даже в средней школе последней ступени), не слушал лекций, не посещал семинарских занятий, т. е. не прошел того пути, на котором было воспитано подавляющее большинство английских ученых. Все свои знания он добыл без помощи преподавателей. Но обучение в университете давало не только научные знания. Обучение было одновременно и воспитанием в духе научных традиций, и введением в научное сообщество. Человек, окончивший Кембриджский или Оксфордский университет, уже в силу только этого факта мог рассчитывать на внимательное отношение к себе и к своим научным результатам со стороны многих и многих ученых, прошедших ту же школу, тот же путь научного воспитания. Если научные результаты не вызывали сомнения, они получали безоговорочную поддержку, если результаты вызывали возражения, автор мог рассчитывать на доброжелательную критику. Он был равноправным членом научного сообщества.

Хевисайд не вошел в научное сообщество, как теперь говорят, «не вписался». Его подход к проблеме был нетрадиционным, непривычным для членов научного сообщества и столь же непривычной была манера изложения полученных результатов. Занимаясь в полном уединении, он выработал свой стиль выбора и рассмотрения научной проблемы, и этот стиль был в некоторых отношениях далек от традиционного. Он создал свой язык и свою систему образов в науке, и они тоже отличались от традиционных. Поэтому его работы было трудно читать. Иногда труднее было понять, в чем заключается утверждение Хевисайда, чем убедиться в справедливости этого утверждения.

Нужно еще помнить, что Хевисайд работал, как теперь говорят, «на переднем крае науки», он занимался

новыми для своего времени проблемами. В таких случаях не всегда можно требовать соблюдения традиций в научном подходе. Бывает так, что при изучении нового класса явлений традиционный научный подход оказывается несостоятельным и тогда зарождается новая традиция. Современники не всегда могут это увидеть и оценить. Несомненно, что и Максвелл при жизни не получил того признания, какого он достоин за свою электромагнитную теорию.

Научная традиция налагала определенные условия и на математическое рассмотрение физических проблем. Все математическое описание физических явлений нужно было проводить на высоком уровне математической строгости, т. е. не выходя за пределы применимости строго доказанных математических утверждений. Выполнить это требование в полном объеме было очень трудно, да и вряд ли нужно. Математический аппарат в физических исследованиях играет подчиненную роль, а основная задача здесь — выяснение физических особенностей явления. В этих условиях может получиться так, что выполнение всех требований строгости математического описания может не помогать выяснению физики дела, а, наоборот, затруднять выяснение. Неудивительно, что время от времени даже столь известным людям, как Максвелл и Рэлей, предъявлялись упреки за уклонение от математической строгости. Отвечая на эти упреки, Рэлей в предисловии ко второму изданию своей книги «Теория звука» писал:

«В математическом исследовании я обычно использовал методы, которые представляются естественными для физика. Чистый математик будет сожалеть, и (надо признать) иногда с основанием, о недостатке строгости. Но у этого вопроса есть две стороны. Потому что, сколь бы ни было важно сохранять высокие стандарты в чистой математике, физик иногда хорошо делает, что довольствуется соображениями, которые, с его точки зрения, вполне удовлетворительны и убедительны. Он использует представления другого порядка, и более строгий образ действий чистого математика может показаться ему не более, а менее доказательным. И, кроме того, во многих затруднительных случаях требование высочайшего уровня означало бы вообще отказ от рассмотрения данного вопроса из-за объема, который для этого требуется»¹⁷.

Если Рэлей, который в своих работах использовал классические методы математической физики, подвергался упрекам за отклонение от математической строгости, то

можно себе представить ту критику, которая обрушилась на голову Хевисайда. Математики отказывались признавать функцию Хевисайда, которая не была непрерывной и дифференцируемой, они отказывались признавать импульсную функцию, которая отлична от нуля только в одной точке, а интеграл от этой функции все же не равен нулю. Отказывались они и от признания результатов, полученных с использованием этих функций. Математики возражали против того, что Хевисайд заменил операцию дифференцирования значком, а затем обращался с этим значком как с алгебраической величиной. А Хевисайд сделал еще много такого, чего никакой строгий математик в то время не признал бы. Он ввел функцию, аргументом которой был оператор (скажем, оператор дифференцирования), и разлагал эту функцию в ряд по степеням оператора. Как можно было определить сходимость такого ряда? Ведь его членами были не числа и не функции, а операторы. Он ввел производную дробного порядка, он разлагал функции в расходящиеся ряды. Все это привело к тому, что методы Хевисайда математики рассматривали как нестрогие, а значит, вообще не считали за методы. Сохранилось письмо Рэлей к Хевисайду, где Рэлей пишет об одной из работ Хевисайда: «...Эта работа не понравилась нашим математикам... Они считают, что значительная часть работы представляет собой попытку сделать с помощью несовершенных методов то, что уже сделано с помощью строгих методов»⁷. Такое отношение математиков в большой мере затрудняло публикацию работ Хевисайда (потому что строгие математики были в числе рецензентов, и можно думать, что они писали отрицательные рецензии на посланные в печать статьи Хевисайда), а также вело к явной недооценке уже опубликованных его работ.

Отношение математиков из Королевского общества вызывало обиду Хевисайда в течение многих лет. Дело было не только в недооценке его методов, которые со временем все получили обоснование. В частности, его импульсная функция получила полные права математического гражданства в теории обобщенных функций лет через 50 после того, как импульсную функцию систематически использовал Хевисайд, получивший с ее помощью ряд важных физических результатов. Обосновано было и операционное исчисление, причем обоснование теперь представляется довольно простым делом. В общих словах обоснование это таково. Возьмем функцию вида Ae^{pt} ,

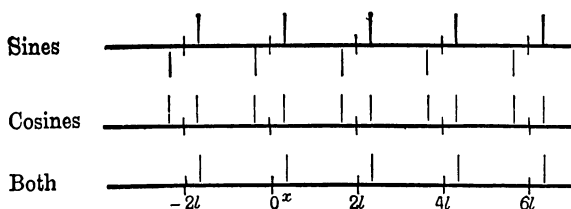


Рис. 4. Рисунок из книги Хевисайда «Электромагнитная теория» (т. 2) — графики, условно изображающие разложения импульсной функции в ряды по синусам, косинусам и в полный ряд Фурье

где p и A — некоторые постоянные числа, а t — независимая переменная. Дифференцирование этой функции по переменной t сводится к умножению на p , вычисление второй производной дает множитель p^2 и т. д. Мы видим, что для этой функции оператор дифференцирования можно заменить числом p , как это и делал Хевисайд. Функция Ae^{pt} является, как теперь говорят, собственной функцией

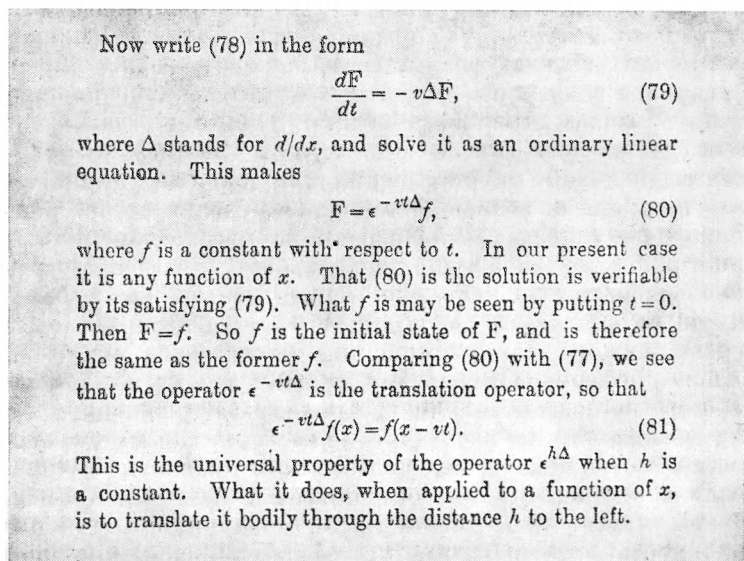


Рис. 5. Фрагмент книги Хевисайда «Электромагнитная теория» (т. 2) — решение дифференциального уравнения с помощью операторных методов, разработанных Хевисайдом. Формула (81) определяет так называемый оператор смещения

цией оператора $\frac{d}{dt}$ с собственным значением p . В базисе, построенном из собственных функций, оператор есть число. Но любую функцию от переменной t можно представить в виде суммы функций вида Ae^{pt} , подобрав для каждого значения p свое значение A . Такое представление — это хорошо известное интегральное представление Лапласа (или Фурье). Таким образом, операционный метод Хевисайда применим для широкого класса функций, которые могут быть представлены в виде интеграла Лапласа (или Фурье). Отметим, кстати, что слово «оператор» и соответствующее этому слову понятие вошло в физику в значительной мере благодаря Хевисайду.

В работах Пуанкаре, Бореля, Таубера и других математиков даны методы строгого обоснования применявшихся Хевисайдом асимптотических разложений.

Хевисайд неоднократно выражал свое отношение к требованию математической строгости на самом высшем уровне при изложении физических теорий. Он, в частности, писал:

«Нужно по возможности полнее избегать вошедшего в обычай избавления от физики путем сведения задачи к чисто математическому упражнению. Следует все время не упускать из вида физику, чтобы придать задаче жизнь и реальное значение и чтобы получить большую помощь, которую физика дает математике. Это не всегда может быть сделано, особенно в деталях, которые требуют больших вычислений, но этот общий принцип следует проводить в жизнь по возможности полнее, уделяя особое внимание движущим идеям. Ни один математический пурист никогда бы не смог выполнить работу, заключенную в максвелловском трактате. Он мог бы знать всю необходимую математику и даже больше, но это не привело бы к цели, потому что он не смог бы сложить все вместе без физического руководства. Это обстоятельство ни в коей мере его не позорит, но только показывает различие в путях мышления. За последние полвека чистая математика достигла огромных успехов, и было бы правильно и справедливо поставить их в соответствие с успехами в физической науке. Но вместе с тем к пуристам пришла склонность возражать против введения физических идей в математику с возможной в результате потерей строгости. Может оказаться, что иногда не только не происходит потери строгости, но увеличивается общность и упрощается рассмотрение»¹⁸.

«...И я бы еще добавил к этому, что если случится физику зайти слишком далеко, то, чтобы не прерывать работы, было бы правильно отложить на последующее время отыскание ограничений и поправок. Но такой процесс очищения подобает в гораздо большей степени проводить пуристу. Если одно из этих дел столь же необходимо, как другое, то ясно, что физик мало бы чего достиг, пытаясь делать оба этих дела из опасения перед поборниками строгости. Что может быть ненавистнее, чем физическая работа, состоящая из предложений и следствий? Она достаточно плоха и как чисто математическая, и я хотел бы, чтобы пуристы взяли урок у Фурье, Томсона и Тэта, Максвелла или Рэля и чтобы они излагали свою повесть иначе и сделали бы ее интереснее, допустив немного воображения. Я имел возможность ознакомиться со значительной частью большой книги по теории функций, пытаясь найти там то, чего я не нашел. Самое большое восхищение вызывают старательность и суровая строгость, но как это отличается от физической математики, как трудно что-то вычитать из сурового формализма, и насколько узкой кажется книга из-за недостатка физических примеров. Пожалуй, вопрос прояснился бы в значительной степени, если бы имелась физическая теория, основанная на этом материале или поясняющая его»¹⁹.

Как видно из приведенных высказываний, Хевисайд был противником математической строгости ради строгости. Он был великим представителем математической физики. Он ценил математику лишь постольку, поскольку она помогала решать физические задачи. Такую математику он называл физической математикой. В наше время принято называть «математическая физика». Это название было принято и во времена Хевисайда, но он в приведенном отрывке, желая подчеркнуть свою мысль, применяет сочетание «физическая математика».

Хевисайд не отрицал, что применяемые им математические методы еще не имели в то время строгого обоснования. Но он считал, что если метод доказал свою эффективность, то нужно этот метод применять, не дожидаясь строгого обоснования. Он приводит в пример введенные им операторы сопротивления электрической цепи: «Действительно, их использование часто ведет к большим упрощениям и избавляет от необходимости проводить сложные вычисления определенных интегралов. Но при этом строгая логика дела не ясна! Ну и что из того? Буду ли я отказываться от обеда потому, что не понимаю полностью

процесс пищеварения? Нет, не буду, если я удовлетворен результатом. Подобным образом и физик может применять нестрогие процессы с удовлетворением и пользой, если он, проводя проверки, убеждается в точности своих результатов»²⁰.

Мнение Хевисайда о том, что чистая математика скучна и бесполезна, а физическая математика интересна и плодотворна, — это его личное мнение, отражение его симпатий и антипатий. Хевисайд изучил математику, имея в виду единственную цель — разобратся в физической теории. Мы привели его мнение не к умалению чистой математики, а для того, чтобы полнее выразить взгляды Хевисайда на соотношение физики и математики.

Но в приведенных высказываниях Хевисайда о чистой математике есть и такое, с которым согласится всякий. Хевисайд утверждает, что успехи математики связаны с успехами физической науки. Строгая математическая физика времен Хевисайда в конечном счете уходит корнями в ньютоновскую механику. Те, кто упрекал Хевисайда в математической нестрогости, не понимали, что наступает время новой физики, которая не сводится к ньютоновской механике. А новая физика требовала новой математики, и Хевисайд это понимал. В частности, когда его упрекали за применение расходящихся рядов, которые тогда не рассматривались в теории функций, он отвечал: «А как насчет теории функций, которая сознательно отказывается от рассмотрения расходящихся рядов? Может ли она действительно быть теорией функций? Разве не нужна теория с большим охватом, объединяющая и сходящиеся и расходящиеся ряды в единое гармоническое целое?»²¹

Добавим еще, что, насколько известно, обвинения против Хевисайда в математической нестрогости и в применении необоснованных методов никогда не сопровождались конкретным указанием на ошибочность тех или иных результатов, полученных Хевисайдом. Хевисайд вычислял правильно, может быть, как раз потому, что он как никто другой мог провести физический анализ проблемы.

Если попытаться коротко сказать о существовании спора между Хевисайдом и поборниками строгости в математике, то можно сказать, что Хевисайд подчеркивал большую роль интуиции в научном познании. Он вовсе не умалял роль логического познания. Но он понимал, что нельзя чисто логическим путем вывести законы природы из известной нам совокупности фактов. По этому поводу

Эйнштейн высказывался даже более определенно. Эйнштейн считал, что никакого логического пути от данных опыта к формулировке законов природы не существует. В этом смысле связь между данными опыта и законами природы, по Эйнштейну, является интуитивной.

Приведем здесь слова А. Эйнштейна о роли интуиции в науке: «Я верю в интуицию и вдохновение. ...Иногда я чувствую, что стою на правильном пути, но не могу объяснить свою уверенность. Когда в 1919 г. солнечное затмение подтвердило мою догадку, я не был ничуть удивлен. Я был бы изумлен, если бы этого не случилось. Воображение важнее знания, ибо знание ограничено, воображение же охватывает все на свете, стимулирует прогресс и является источником эволюции. Строго говоря, воображение — это реальный фактор в научном исследовании».

В Большой Советской Энциклопедии интуиция определяется как «способность постижения истины путем прямого ее усмотрения, без обоснования с помощью доказательства».

По существу, поборники строгости критиковали Хевисайда за то, что он не проводил строгого логического обоснования разработанных им новых математических методов. Они не понимали того, что действительно новое не может быть выведено чисто логическим путем на основе известного старого. В познании мира логическое и интуитивное начала не исключают, а дополняют друг друга¹³⁵.

Приведем еще одно рассуждение Хевисайда о путях научного исследования.

«Сопоставляя и согласуя между собой разные части единой теории и убеждаясь в ее согласованности, мы приходим к пониманию теории. Мы можем начать где угодно и двигаться любым путем. Конечно, некоторые пути будут предпочтительны, потому что они могут быть легче или дают широкий и ясный обзор, но нет необходимости строго придерживаться определенного курса. Это, может быть, даже и нежелательно. Может быть, более интересно и поучительно не идти по кратчайшему логическому курсу от одной точки к другой. Может быть, лучше бродить, и руководствоваться обстоятельствами при выборе пути, и не закрывать глаза на виды по сторонам, а в дальнейшем менять маршруты, чтобы посмотреть на ту же страну с других точек. Ясно, что если нужно провести кого-то по хорошо известной стране, уже хорошо исследованной, то лучше придерживаться некото-

рых определенных дорог. Но дело обстоит несколько иначе в случае исследования сравнительно неизвестной области с непроходимыми джунглями, горами и пропастями. В этом случае было бы абсурдно следовать логическим курсом от одной точки к другой. Вам надо быть бдительным и непредубежденным и руководствоваться обстоятельствами. Прежде всего вам нужно выяснить, что именно следует выяснить. Как вы это делаете — это уже совсем другое дело. Без сомнения, впоследствии будут найдены пути гораздо более легкие и, может быть, лучшие, и по этим путям сможет пройти толпа. Я полагаю, ясно, что жалобы на недостаток совершенства в выборе путей и в образе действий исследователя со стороны людей, привыкших к более строгим методам, в значительной степени смехотворны. Хотя и безвредные по намерению, они могут действовать несправедливо, если приводят, как иногда бывает (совсем недавно я узнал про такого рода случай), к отклонению самой добросовестной работы, которая не смогла быть признана судьями, имеющими, без сомнения, другой образ действий и мыслей и другой жизненный опыт. Когда такое происходит, это ставит ученое сообщество в положение, достойное сожаления: кажется, что сообщество существует не только для поощрения исследований по установленным направлениям, но также и для того, чтобы активно противодействовать работам не столь общепринятого характера. Невозможно поверить, что именно так и обстоит дело в действительности. Но, с другой стороны, статьи ценятся так дешево, одной больше, одной меньше — какая разница?

И опять, вероятно, судьи были одушевлены доброжелательными побуждениями и хотели только увести запутавшегося автора с его ошибочных путей и вывести на более строгие одобряемые ими следы. Но автору от этого ничуть не легче. У него есть свои пути, и он должен их придерживаться, пусть даже ему скажут (фактически), что его работа не представляет никакой ценности, недостойна опубликования и, конечно, в силу всего этого он должен прекратить присылку дальнейших работ»²².

Хевисайд болезненно переживал нетерпимость в выборе научного пути, узость подхода у оппонентов и несправедливую критику своих работ. Это видно из приведенного отрывка. Но не следует думать, что только математическая сторона его статей встречала непонимание. Физические результаты также нередко встречали непонимание или вызывали резкие и необоснованные возраже-

ния. Хевисайд писал так, что его работы были очень трудны для большинства читателей, даже таких, которые являлись квалифицированными физиками. Чтобы понять причину, следует вспомнить, что Хевисайд не имел университетского образования. Он получил все знания из книг, без преподавателей, без личного контакта с учащейся молодежью и учеными. Он выработал свой научный язык, свою систему образов, свой стиль постановки и решения научных проблем. Но в то время у научного сообщества был уже выработан общепринятый научный язык, и он был совсем не такой, как у Хевисайда. В его работах была трудная математика. Физика в работах Хевисайда тоже была трудная. Приведем красноречивое письмо, полученное Хевисайдом в конце октября 1891 г. из Королевского общества:

«Мне поручено передать Вам благодарность Королевского общества за Вашу работу «О силах, натяжениях и потоках энергии в электромагнитном поле» и сообщить Вам, что комитет по публикации статей направил эту работу для опубликования в «Philosophical Transactions»... Оба рецензента, хотя и высказались благоприятно о том, что поняли, жалуются на исключительную трудность Вашей работы. Один из них назвал ее самой трудной из всех, какие он когда-либо пытался читать. Полагаете ли Вы, что Вы могли бы что-то сделать (например, добавить иллюстрации или дополнительные разъяснения), для того чтобы учесть эти замечания? Я опасаясь, что Ваша статья, в том виде, как она есть, никому бы не принесла пользы. Рэлей»¹².

Из этого письма видно, что статью Хевисайда, присланную в Королевское общество, смотрели два рецензента и обе рецензии были в целом благоприятные. Публикациями физических статей в Королевском обществе ведал тогда Рэлей, который с 1885 г. занимал пост секретаря Королевского общества. В его обязанности входило рассмотрение сообщений, представленных членами Королевского общества, с целью определения их годности для опубликования в трудах собраний и в периодических изданиях Общества. В частности, именно Рэлей посылал рецензентам работы, полученные для опубликования. В 1891 г. Хевисайд был как раз избран членом Королевского общества, и поэтому его работа попала к Рэлею. Надо думать (имя Рэрея в этом убеждает), что рецензенты были выбраны компетентные. Сам Рэлей высоко ценил работы Хевисайда и впоследствии, переиздавая свою

«Теорию звука», добавил в нее большой раздел об электромагнитных колебаниях, построенный в значительной мере на результатах Хевисайда. И все-таки, несмотря на благожелательное отношение к автору, все трое (два рецензента и Рэлей) в один голос жалуются на трудность понимания. Как же тогда относились к работам Хевисайда рядовые читатели? Без сомнения, в те годы, когда Хевисайд начал публикацию своих статей по развитию максвелловской электродинамики, его мало кто понимал. Уже позднее Генрих Герц писал в письме к Хевисайду:

«Это факт, что чем больше вопросов прояснилось для меня и чем больше я после этого возвращался к Вашей книге, тем больше я понимал, что, по существу, Вы уже совершили гораздо раньше то продвижение вперед, которое я думал сделать, и тем больше росло во мне уважение к Вашему труду. Но я не сразу извлекал это из Вашей книги, и другие говорили мне, что они вообще с трудом могли понять Ваши работы, поэтому я должен предупредить Вас, что Вы немного непонятны обычному человеку»¹².

Обратите внимание на первую фразу, в которой Герц отдает Хевисайду должное. С того дня, как написано его письмо, прошло без малого сто лет. Но и сейчас, в наши дни, внимательное изучение трудов Хевисайда показывает, что часть сделанного им забыта, нередко полученные им результаты широко используются без всякого упоминания о том, что их впервые получил Хевисайд, часть его результатов приписывается другим и вообще труды Хевисайда до сих пор должным образом не прочтены. Кстати, книги Хевисайда не переведены на русский язык, хотя они представляют немалый интерес и для физиков, и для математиков, и для историков науки. Его книги — это богатейшее хранилище идей, методов и результатов и, вдобавок, собрание афоризмов и высказываний по самым различным поводам. Богатство, содержащееся в них, до сих пор еще не разведано.

Во второй фразе из приведенного отрывка Герц сетует на то, что и ему, и многим другим трудно читать Хевисайда. В одном из последующих своих писем к Хевисайду Герц снова упрекает Хевисайда за трудную для понимания манеру, в которой написаны его статьи: «...я боюсь, что Вы до некоторой степени гордитесь тем, что непонятны для других. Я думаю, что это напрасная гордость. Вы, наверное, не знаете, до какой степени трудно другим понять Ваши работы. Людям больше нравится, когда Вы

приходите к ним, чем когда они приходят к Вам, пускай даже Ваши заслуги столь велики»¹².

Трудно утверждать с уверенностью, но, скорее всего, никакой гордости от непонимания своих работ Хевисайд не испытывал. Он писал об одной серии своих статей:

«В статьях был найден тот недостаток, что их было трудно читать. Но еще труднее было их писать. В журнале, где рассматриваются все разделы физики, где объем так ограничен и так ценится, сжатое изложение было крайне необходимым. Что делать исследователю, если в журналах научно-технического направления, имеющих большое число читателей, у него не принимают материал, изложенный сравнительно элементарно, а в чисто научном журнале со сравнительно небольшим числом читателей и с малым предоставляемым объемом у него не принимают тот же материал, изложенный более научно? Чтобы вообще опубликоваться, он должен сильно сжать изложение и выбросить весь объяснительный материал, какой он только может. Иначе ему могут сказать, что его статьи больше подходят для издания в виде книги и потому отклоняются»²³.

Научный журнал, о котором говорит Хевисайд,— это «Philosophical Magazine». Как и во всяком научном журнале, присланные статьи там рецензировались. Не все рецензенты были столь доброжелательны, как те двое, о которых писал Хевисайду лорд Рэлей в приведенном выше письме. Те, хотя и указывали, что статьи Хевисайда трудны для понимания, все же дали благоприятные отзывы, и Рэлей в связи с этим просил Хевисайда дополнить статью, чтобы легче было ее читать. В том случае, о котором пишет Хевисайд, рецензенты требовали сокращения его статей. Хевисайд поневоле должен был подчиниться. Но если первоначальный, неурезанный вариант статьи было трудно читать, то можно себе представить, насколько



Рис. 6. Джон Уильям Стретт
(лорд Рэлей)

труднее стало читать эту же статью после сокращения, ибо сокращение могло проводиться только за счет пояснительного текста. И это еще не самое плохое, потому что статьи, пускай урезанные, все же опубликовали. Могли ведь и совсем отклонить, и отклоняли, как это было сделано «в журнале научно-технического направления с большим числом читателей». Хевисайд, по-видимому, имеет в виду журнал «Electrician», где в течение нескольких лет редактор отказывался от публикации его статей.

По поводу неоднократного отклонения своих статей Хевисайд заметил: «Опыт научил меня, что если статья отвергнута журналом по неубедительным и общепринятым причинам, то это означает, что статья непривычно оригинальна и хороша. Факт!»¹²

Трудности с публикацией даже привели Хевисайда к мысли о том, что, может быть, и не стоит стараться напечатать полученные результаты, удовлетворившись уже тем, что они получены, и хранить их про себя, как это делал великий английский ученый Кавендиш. Но, обдумав такую возможность, Хевисайд от нее решительно отказался. Он писал полушутливо, полусерьезно:

«Засекречивание вроде того, которое практиковал Кавендиш, является абсолютно непростительным. Это грех. Можно вообразить такой случай, когда человек молчит либо от неуверенности в себе, либо от разочарования в приеме, от непризнания той работы, которую он дает миру. Мало людей имеет неограниченную силу упорства. Но делать великие открытия и хранить их в тайне, как поступил Кавендиш, без всякой уважительной причины — это, пожалуй, одно из самых больших преступлений, в которых может быть повинен такой человек. Кажется, что это сильное выражение, но поскольку, как учит нас профессор Тэт, почти преступно не знать нескольких иностранных языков, что, по мнению других, является вполне простительной бедой, то, наверное, необходимо применять сильные выражения в тех случаях, когда преступность более очевидна»²³.

Хевисайд не мог и не хотел хранить свои результаты про себя. Публикуя свои результаты, он хотел того же, чего хочет любой автор, посылая в печать свою работу, — обсуждения своих выводов, включения своих результатов в ткань науки, он хотел, конечно, и научного признания, как его хочет всякий. Но никаких материальных выгод от научной работы не ждал и не добивался.

Глава четвертая

Изучив трактат Максвелла и отложив его в сторону, Хевисайд, как он пишет в письме к Бетено, «пошел своим собственным путем». Но его собственный путь в науке был на всю жизнь определен трактатом. Хевисайд продолжил развитие электродинамики Максвелла с того места, на котором Максвелл оставил свою теорию. Та теория электрических и магнитных явлений, которую мы теперь широко используем, имеет во многом тот вид, который ей был придан Хевисайдом. В течение ряда лет в журнале «Electrician» из номера в номер публиковались подробные статьи Хевисайда, посвященные систематическому развитию теории электромагнитного поля. В работах Хевисайда подробно проанализированы основные физические понятия, лежащие в основе теории: электрическое и магнитное поля (Хевисайд называл их «электрическая сила» и «магнитная сила»), энергия поля, поток энергии поля (этого понятия у Максвелла не было), работа поля над системой зарядов и токов и т.д. Параллельно с подробнейшим разбором физических особенностей Хевисайд рассмотрел количественно огромное число практически важных задач. Многое из того, что он сделал, теперь входит в учебники по электричеству без всякого упоминания о том, кто впервые провел это рассмотрение.

«Electrician» («Электрик») был журналом научно-техническим, рассчитанным на широкий круг читателей, не имеющих высокой научной подготовки. Для большинства из них статьи Хевисайда были непонятны. Тем большей благодарности заслуживают редакторы журнала, предоставившие место для фундаментально важных исследований по созданию и развитию электромагнитной теории.

Что же сделал Хевисайд уже в первые годы своей работы? Он ввел понятие потока электромагнитной энергии. Несколько раньше и независимо от Хевисайда это понятие ввел Пойнтинг. Хевисайд тогда не знал работы Пойнтинга, вышедшей на несколько месяцев раньше. Но он пошел дальше Пойнтинга и разобрал ряд случаев, важных для понимания, в которых энергия переносится полем. В частности, он рассмотрел выделение тепла в проводнике при прохождении электрического тока. Хевисайд показал, что это тепло создается за счет энергии поля, окружающего проводник. Поток энергии электромагнитного

поля втекает **внутрь** проводника через его боковую поверхность и превращается в тепло.

Отметим здесь, что тот вывод закона сохранения энергии для электромагнитного поля, который теперь приводится во всех учебниках по теории электромагнитного поля, — это вывод, впервые проделанный Хевисайдом (а не Пойнтингом).

Отметим еще, что Хевисайд дал ясный физический анализ той связи, которая существует между вектором Пойнтинга и потоком энергии в электромагнитном поле. Обычно утверждается, что вектор Пойнтинга равен потоку электромагнитной энергии. Но это утверждение не всегда правильно. Например, если в пространстве имеется одновременно постоянное электрическое и постоянное магнитное поле, то вектор Пойнтинга может быть отличен от нуля, хотя в соответствующих точках поток энергии может отсутствовать. Такие оговорки иногда делаются в современных учебниках, но не дается общего правила, позволяющего определить однозначную связь между вектором Пойнтинга и потоком энергии. Хевисайд дал такое правило. Оно заключается в следующем. В закон сохранения энергии для электромагнитного поля входит не вектор Пойнтинга, а его дивергенция. Если у вектора Пойнтинга есть вихревая часть, она не даст вклад в закон сохранения энергии, потому что дивергенция вихревой части равна нулю. Следовательно, физический смысл потока энергии имеет вектор Пойнтинга за вычетом его вихревой части. Как известно, любой вектор можно представить в виде суммы двух слагаемых — потенциального и вихревого. Смысл потока энергии имеет потенциальная часть вектора Пойнтинга.

Хевисайд рассмотрел прохождение переменного электрического тока по проводнику. Он показал, что переменный ток неравномерно заполняет проводник, величина тока растет по мере удаления от середины сечения и по мере приближения к поверхности. Чем быстрее меняется ток во времени, тем сильнее он прижимается к поверхности проводника. Это явление позднее получило название «скин-эффекта» от английского слова «skin» — кожа, шкура. Скин-эффект широко распространен, и его теория (без упоминания имени Хевисайда) имеется во всех учебниках.

Через год после предсказания Хевисайда скин-эффект был обнаружен Юзом.

Интересно отметить, что, рассматривая скин-эффект, Хевисайд привел очень поучительный пример этого

явления, который так и просится в учебники по электричеству. Он заключается в следующем. Рассматривается электрическая цепь, составленная из источника постоянного тока и проводов. Сначала эта цепь разомкнута. Ток в цепи равен нулю. Потом цепь замыкается. Тогда ток будет нарастать и за определенное время достигнет постоянного значения. Таким образом, при включении постоянного напряжения ток в цепи первое время будет переменным. Это означает, что в первые моменты после включения ток в цепи будет течь по поверхности проводников и только по мере установления будет заполнять всю толщу проводника. Как писал Хевисайд, такой переходной ток течет «слоями: сильный на поверхности провода, слабый в середине». Очевидно, при размыкании цепи имеет место такое же явление.

Хевисайд ввел в уравнения Максвелла магнитные заряды и магнитные токи на равных правах с электрическими зарядами и электрическими токами. Записанная таким образом система уравнений поля получила название дуально симметричной. Мы знаем, что электрические заряды и токи существуют в природе, а магнитные заряды и токи до сих пор не обнаружены. Возможно, что их и не существует. Поэтому симметричная форма записи, которую Хевисайд придал уравнениям Максвелла, добавив магнитные токи и заряды, может показаться только лишь математическим упражнением, имеющим мало отношения к действительности. Однако это не так. В связи с поисками магнитного заряда дуально симметричная система уравнений Хевисайда была довольно подробно исследована. Это исследование представляет самостоятельный интерес, не обязательно связанный с проблемой существования магнитного заряда. Кроме того, дуально симметричные уравнения Хевисайда оказались удобны в технических расчетах, такая запись значительно облегчает расчеты при вычислении полей от источников сложного вида, потому что можно, например, некоторое сложное распределение токов заменить на простое расположение вспомогательных магнитных зарядов.

Хевисайд первый получил выражение для силы, которая действует на заряженную частицу, движущуюся в магнитном поле. В 1889 г. в журнале «Philosophical Magazine»²⁵ он опубликовал статью, где среди прочих результатов была приведена формула

$$\mathbf{F} = q [\mathbf{u}, \mathbf{B}].$$

Здесь F — сила, действующая на заряд величины q ; u — скорость заряда; B — магнитное поле. Это выражение было получено Лоренцом в 1892 г., т. е. тремя годами позднее. Тем не менее сила, действующая на заряд в магнитном поле, называется «силой Лоренца». Профессор Уиллис Джексон, упоминая об этом в своем исследовании «Вклад Хевисайда в электромагнитную теорию»²⁶, обращает внимание на то, что Хевисайд не дал подробного вывода этой формулы. Действительно, Хевисайд нередко приводит в своих статьях лишь результат, не поясняя, а иногда и не приводя хода вычислений. Частично это объясняется тем, что от него требовали сокращений. Но иногда и сам Хевисайд не заботился о пояснениях. Поэтому в глазах многих читателей Хевисайд был труден для чтения.

Вот что пишет его многолетний друг и коллега доктор Сил: «Математические труды Хевисайда было трудно читать из-за отсутствия пояснений, хотя на самом деле его рассмотрение и было простым. Некоторым из тех, кто не понял, хватило бы простого намека, но он мало думал о таких людях. Однажды в Торки он попросил меня проверить вычисления в § 535 третьего тома «Электромагнитной теории», где рассматривалось поле равномерно заряженной прямой линии, движущейся в произвольном направлении относительно длины. После некоторых усилий мне удалось подтвердить его вычисления. Я умолял его вставить в текст несколько руководящих указаний, которые значительно упростили бы дело, но все, на что он пошел, было добавление слов «путем вычислений» к слову «получаем»²⁷.

Трудно перечислить все сделанное Хевисайдом. Отметим здесь еще, что Хевисайд получил ряд точных решений волнового уравнения для большого количества физически важных случаев.

Важнейшим отличием теории Максвелла от всех остальных теорий электромагнитного поля было то, что она предсказывала существование электромагнитных волн. Но как раз это предсказание и было встречено с недоверием. Поэтому людей, исследующих волновые электромагнитные процессы на основе теории Максвелла, в то время можно было сосчитать по пальцам. В Англии среди них были Хевисайд и Фицджеральд. Может быть именно поэтому, а может быть и по другим причинам между этими двумя исследователями завязалась тесная дружба.

Джордж Френсис Фицджеральд, профессор натуральной и экспериментальной философии Дублинского уни-

верситета, был годом младше Хевисайда. Фицджеральд, как и Хевисайд, был убежден в справедливости теории Максвелла, которую научный мир тогда не понимал. Фицджеральд рассмотрел с помощью теории Максвелла ряд конкретных физических процессов. Его исследования относились к электромагнитной теории света. В первой работе, посвященной этому вопросу, Фицджеральд с позиций теории Максвелла объяснил найденный Керром поворот плоскости поляризации света при отражении от полюса магнита.

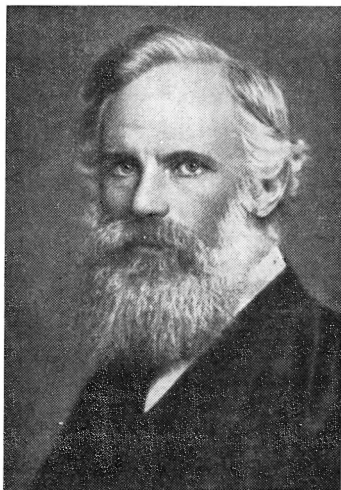


Рис. 7. Джордж Френсис Фицджеральд

Вторая его работа была посвящена отражению и преломлению света. Он показал, что теория Максвелла приводит к формулам Френеля. Этот результат был серьезным доводом в пользу теории Максвелла и как раз в той ее части, которая относилась к распространению электромагнитных волн. Дело в том, что формулы, определяющие электрическое и магнитное поле отраженной и преломленной волн, были выведены Френелем на основе механической модели. Они полностью подтвердились на опыте. Но до исследования Фицджеральда формулы Френеля не имели обоснования с помощью теории электромагнитного поля. Затем Фицджеральд заинтересовался вопросом, можно ли так подобрать токи и заряды, чтобы создать источник, излучающий электромагнитные волны. Первоначально он пришел к неправильному выводу о том, что как бы мы ни подбирали токи и заряды, «они никогда не будут так распределены, чтобы породить волновые возмущения, распространяющиеся в пространстве вне системы». Однако уже в 1882 г. Фицджеральд исправил допущенную ранее ошибку. Она заключалась в том, что решение уравнений поля было выбрано в виде стоячих волн, поэтому и отсутствовало излучение. Он показал, что переменные электрические токи являются источником излучения электромагнитных волн. Исправление заканчи-

валось словами: «В заключение я должен просить извинения за то, что рискнул исследовать эти вопросы, будучи настолько незнаком с ранее выполненными работами, что сделал ошибки, требующие столь серьезных исправлений, как приведенные в этой работе». Он также рассчитал простейший излучатель — круговой виток с током, изменяющимся по гармоническому закону, — и вычислил энергию, излучаемую такой системой за единицу времени. Виток с переменным током эквивалентен переменному магнитному моменту, и, следовательно, Фицджеральд вычислил энергию излучения переменного магнитного момента. Энергия оказалась пропорциональной четвертой степени частоты. Поэтому для проведения опытов по изучению электромагнитных волн нужно было создать в витке колебания как можно более высокой частоты. Фицджеральд предложил получать быстропеременный ток, разряжая конденсаторы через цепь с малым сопротивлением. Эта теоретическая работа была проведена за четыре года до опытов Герца, проведенных в 1886 г.

Сейчас имя Фицджеральда если и упоминается, то чаще всего в связи с тем, что он задолго до создания специальной теории относительности предположил, что форма движущегося тела отличается от формы того же тела, находящегося в покое: при движении сокращаются размеры в направлении скорости. Эта гипотеза, которую Фицджеральд высказал одновременно с Лоренцом, так и называется: гипотеза Лоренца—Фицджеральда. Эта гениальная догадка, которая нашла потом несколько иное выражение в теории относительности, много говорит о Фицджеральде. Но не менее важную работу Фицджеральд проделал, когда развивал теорию излучения электромагнитных волн. Он и в этом деле был первым, точнее говоря, одним из первых. В одном направлении с ним работал Хевисайд.

Хевисайд в эти годы рассматривал генерацию и распространение электромагнитных волн, но он иначе ставил задачу. Фицджеральд рассматривал излучатель в пустом пространстве. От такого излучателя электромагнитные волны расходятся во все стороны. Хевисайд же рассматривал распространение электромагнитных волн по проводам, вдоль телеграфной или телефонной линии.

В те годы телеграф уже прочно вошел в жизнь общества. В 1858 г. был успешно проложен первый трансатлантический кабель, в 1865 г. — второй и в 1866 г. — третий.

Теория передачи сигнала по кабелю была развита У. Томсоном (Кельвином) в 1855 г. Кельвин рассматри-

вал кабель как систему, обладающую двумя параметрами — значениями емкости и сопротивления на единицу длины кабеля. При этом и для тока и для напряжения в кабеле получились уравнения типа уравнения теплопроводности, но только роль теплопроводности играла величина, обратная произведению емкости и сопротивления. Таким образом, в этом случае распространение сигнала по кабелю подчиняется тем же законам, что и распространение тепла вдоль длинного стержня с теплоизоляцией на боковой поверхности. В этом приближении сигнал на другом конце провода появляется одновременно с его поступлением в линию. Величина принимаемого сигнала сначала очень мала, а потом сигнал нарастает. Поэтому в теории Томсона момент приема может практически совпадать с моментом передачи, если чувствительность приемного устройства достаточно высока.

Время установления сигнала, т. е. время, за которое сигнал на другом конце кабеля нарастает до наибольшей величины, оказывается пропорциональным квадрату длины кабеля и значениям погонной емкости и погонного сопротивления. Величина времени установления в теории Кельвина определяет предельную частоту передаваемых сигналов. Если за промежуток времени, равный времени установления, с передающей станции отправляется несколько сигналов, то принимающая станция может их принять как один непрерывный сигнал. Поэтому число передаваемых в единицу времени сигналов не должно превышать обратного времени установления. Пока речь шла о передаче телеграфных сигналов, с этим ограничением еще можно было мириться, увеличивая чувствительность приемной аппаратуры и ограничивая скорость передачи точек и тире в очень длинной линии. Но через некоторое время после распространения телеграфной связи появился телефон. В телефонной связи по кабелю передается человеческая речь и спектр передаваемых частот становится намного шире, чем при передаче телеграфных сигналов. Теория Кельвина в применении к передаче человеческой речи приводила к пессимистическим прогнозам. Телефонная связь без искажений, согласно этой теории, была возможна лишь на малых расстояниях. С увеличением расстояния сигнал расплывался настолько, что вместо человеческой речи на другом конце провода слышалось невнятное бормотание. Эксперименты по телефонной связи на большие расстояния подтверждали теорию Кельвина.

В середине 80-х годов прошлого века Хевисайд начал изучать и за несколько лет подробно исследовал распространение сигнала по проводной линии. В его теории учитывались такие параметры линии, которые не вошли в рассмотрение У. Томсона. Кроме емкости линии на единицу длины и сопротивления на единицу длины (эти величины входили в теорию У. Томсона) Хевисайд учел еще индуктивность линии на единицу длины и утечку на единицу длины. Для краткости мы все эти величины будем называть просто емкостью, сопротивлением, индуктивностью и утечка.

Чтобы пояснить смысл всех этих величин, рассмотрим линию, состоящую из двух параллельных проводов. Возьмем участок этой линии, имеющий единичную длину. Этот участок обладает омическим сопротивлением, которое необходимо учитывать. Далее, два параллельных провода, как и любые два металлических тела, находящихся вблизи друг от друга, можно рассматривать как пластины конденсатора. Это значит, что рассматриваемый участок линии имеет емкость. Если ток в линии меняется со временем, то меняется и магнитное поле, создаваемое токами, а следовательно, меняется и магнитный поток через поверхность, ограниченную контуром линии. Это приводит к появлению в линии электродвижущей силы индукции, которую необходимо учитывать. Электродвижущая сила индукции пропорциональна скорости изменения тока в линии, причем коэффициент пропорциональности и дает введенную Хевисайдом индуктивность. Наконец, из-за различия в потенциалах, от одного провода к другому идет ток через среду, разделяющую эти провода. Этот ток Хевисайд назвал током утечки. Он определяется по закону Ома, как отношение разности потенциалов к сопротивлению среды между проводами. Величину, обратную сопротивлению среды, Хевисайд назвал утечкой.

Учет Хевисайдом индуктивности и утечки имел принципиальное значение. Для распространения сигнала по кабелю Хевисайд получил волновое уравнение. Далее он исследовал закон распространения волн по кабелю. Волны разных частот имеют, вообще говоря, разную фазовую скорость, и это приводит к расплыванию сигнала. Но, как показал Хевисайд, можно так подобрать параметры кабеля, что волны всех частот будут иметь одну и ту же фазовую скорость и одинаковое затухание вдоль кабеля. Поэтому сигнал любой формы будет распространяться без

распылания, хотя, конечно, будет ослабляться из-за потерь в кабеле. Условие, найденное Хевисайдом, состояло в следующем: надо так подобрать параметры кабеля, чтобы произведение емкости на сопротивление было равно произведению утечки на индуктивность. Тогда сигнал по кабелю будет распространяться без изменения формы. Таким образом, учет индуктивности и утечки действительно имел принципиальное значение. По теории Кельвина все процессы в линии определяются произведением емкости на сопротивление. Но эта теория приводила к выводу о сильном искажении сигнала. Хевисайд показал, что необходимо учитывать также индуктивность и утечку, причем для связи без искажений произведение этих двух величин должно быть равно произведению емкости на сопротивление, т. е. индуктивностью и утечкой никак нельзя пренебрегать. Далее Хевисайд оценил параметры реально действующих линий и пришел к выводу, что, как правило, для этих линий произведение индуктивности на утечку оказывается намного меньше, чем нужно для связи без искажений. Увеличивать это произведение можно было либо за счет увеличения утечки, либо за счет увеличения индуктивности. Но увеличение утечки приводит к сильному затуханию сигнала и поэтому нежелательно. Увеличение же индуктивности даже уменьшает затухание и, кроме того, что самое важное, дает линию без искажений.

Создалось удивительное положение. Большинство ученых равнодушно или с сомнением относились к возможности существования электромагнитных волн. Немногочисленные энтузиасты думали о том, как создать электромагнитные волны, планировали или уже проводили эксперименты. Но открытие волн еще было впереди. И тут появляются исследования Хевисайда, из которых следует, что эти самые электромагнитные волны уже существуют в линиях связи, в реально действующих линиях связи, и параметры линии определяют условия распространения этих волн. Больше того, можно добиться таких условий, при которых все волны идут по линии с одинаковой фазовой скоростью, и тогда сигнал переносится без искажений вдоль линии. Высокая теория, от которой не ждали особой пользы, обернулась важными практическими советами.

Но советы Хевисайда были встречены в штыки. Вот что он сам писал об этом впоследствии: «Но в 1877 г. я был на некоторое время остановлен намертво, когда я подошел к разработанным практическим приложениям

моей теории с новыми предложениями (частично опубликованными ранее) большого практического значения относительно телефонной связи на большие расстояния. Эти предложения были в противоречии с теми взглядами, которые в то время официально отстаивались...»²⁸

Хевисайд под официальными взглядами имеет в виду, в частности, взгляды Уильяма Приса, одного из руководящих работников британского почтового ведомства, а впоследствии главного инженера почтового ведомства. Занимая высокий официальный пост и ведая всеми техническими устройствами связи, он препятствовал распространению выводов Хевисайда о роли индуктивности в телефонной связи. Прис отрицал какую бы то ни было роль индуктивности в обеспечении телефонной связи, свободной от искажений. Величину индуктивности Прис оценивал неверно, сильно занижая ее. В своих возражениях против Хевисайда Прис опирался на теорию передачи сигнала по кабелю, разработанную Кельвином, оказавшуюся частным случаем более общей теории, разработанной Хевисайдом, а именно: в пределе малых частот из теории Хевисайда получалась теория Кельвина. Для высоких же частот теория Кельвина была неприменима. Прис этого не понимал и неизменно давал отрицательные отзывы на работы Хевисайда, препятствуя их публикации. В этом его союзниками оказались математики, ставившие под сомнение методы, при помощи которых Хевисайд пришел к своим результатам.

Прис был учеником Фарадея и, по-видимому, неплохим практическим инженером. О нем, в частности, известно, что он ввел электрическую сигнализацию на английских железных дорогах. Это, несомненно, способствовало повышению безопасности движения. Прис также много сделал для развития беспроводной связи. Он обратил внимание на то, что при передаче сигналов по телеграфной линии возбуждались токи в другой линии, расположенной по соседству. Прис использовал это явление для передачи сигналов на расстояние порядка мили, например с берега на маяк, расположенный на прибрежном острове. Позднее Прис также оказал значительную помощь Маркони в его опытах по развитию радиосвязи.

Но теоретические исследования Прис явно недооценивал, а к работам Хевисайда относился как к чепухе, о чем с уверенностью заявлял во всеуслышание.

Среди практических специалистов по телеграфии Прис не составлял исключения в своем отношении к Хевисайду.

Отношение телеграфистов того времени к теории выражается в отрывке из передовой статьи журнала «Electrician» от 30 ноября 1861 г. Этот отрывок приводит проф. У. Джексон²⁶: «Заметим, что в последние годы значительно возросли (экспериментальные) возможности для получения определенных представлений об электрических явлениях. По мере своего развития наука, как правило, упрощается, хотя в некоторых областях могут возникать неясности. В науке об электричестве редко возникает нужда в математических или иных абстракциях, и хотя использование формул может в некоторых случаях представлять удобство, все же для всех практических целей можно без них обойтись».

Это была точка зрения среднего телеграфиста. Прис был главным телеграфистом, если можно так сказать, но в своем отношении к теории Хевисайда он не поднялся над приведенной точкой зрения.

Вот что пишет о развитии конфликта сам Хевисайд:

«Что касается меры индуктивности, то официальная сторона приняла, что индуктивность на 1 см воздушной телефонной цепи (в электромагнитных единицах) составляет лишь малую долю единицы, в то время как другая сторона [читай — Хевисайд. — *Б. Б.*] провозгласила, что индуктивность имеет значения в сотни раз большие, скажем, от 10 до 20 единиц на 1 см цепи. В этом состоял наиболее полный из возможных антагонизм между моей и официальной точками зрения как в основах, так и в деталях. Желательно было более подробно рассмотреть и обсудить проблему. Однако я обнаружил, что сделать все это более чем невозможно. Прежде всего обстоятельства, о которых нет нужды упоминать, помешали мне изложить вопрос перед Обществом телеграфных инженеров и электриков весной 1887 г. [представленный доклад Хевисайда был отклонен. — *Б. Б.*]. Затем, несколько позднее, редактор журнала «Electrician» не смог далее предоставлять место для продолжения моей работы «Самоиндукция проводов», часть VIII, где речь шла о цепи без искажений и о телефонии. В-третьих, после частичной публикации (разделы XL до XLVI) статьи «Электромагнитная индукция» произошла смена редактора в журнале «Electrician», и новый редактор попросил меня прервать публикацию. Он вежливо информировал меня, что провел частный опрос среди студентов, выясняя, кто из них хотел бы читать мои статьи, чтобы найти хотя бы одного, кто их читал, но не смог найти не единого. В-четвертых, он вернул корот-

кую статью по тому же самому вопросу телефонии на большие расстояния. В этой статье были подробно показаны официальные ошибки и обращалось внимание на противоположные результаты, вытекающие из моей теории. До того, как она была возвращена, статья побывала в официальных руках. И, наконец, три других журнала отклонили эту же статью по причинам, которые лучше всего известны им самим.

По-видимому, полагали, что официальные точки зрения с гораздо большей вероятностью являются правильными, и поэтому было бы предусмотрительно отказаться от обсуждения новых точек зрения; столь поразительно противоречащих официальным. По-видимому, сыграла роль и мысль о том, что официальные взгляды в силу их официальной природы не должны оспариваться или критиковаться. Но во всем этом есть нечто несправедливое, как показали приведенные выше факты и последующие доказательства в поддержку моих взглядов. Потому что какую же другую цель могут иметь люди науки, кроме цели познать истину? И как это можно сделать без свободной дискуссии?»²⁸

Конечно, люди науки имеют цель — познать истину. Но Прис не был человеком науки. По свидетельству Девента Мерсера, Прис был «showman». Это слово буквально переводится как хозяин цирка, балаганщик. В данном случае этому слову можно придать смысл «человек шоу-бизнеса». Он занимал высокое положение, но не имел реального представления о научных основаниях телеграфии и телефонии. Это, кстати, понимали и его современники. Например, Оливер Лодж, упоминая о споре Хевисайда с Присом, называет Хевисайда «математический гений исключительной силы», а про Приса пишет так: «В частности, столь выдающаяся личность, как сэр Уильям Генри Прис, добродушный оратор и в течение многих лет главный инженер телеграфного департамента в британском почтовом ведомстве, рассматривал эти работы как чепуху». Далее Лодж пишет, что одно время Хевисайд испытывал горечь непонимания и враждебности, «о чем добродушный человек, подобный сэру Уильяму Прису, первый бы сожалел, если бы был лучше информирован»²⁹. Слова «если бы был лучше информирован» не оставляют сомнения в том, что Лодж был низкого мнения об уровне понимания Приса.

Эти слова, правда, были написаны больше чем через сорок лет после дискуссии, но за это время мнение Лоджа

не изменилось. Он был в этой дискуссии на стороне Хевисайда.

Кстати, именно Прис привез телефон из Америки, но он же заявлял, что телефон никогда не принесет такой пользы как телеграф и не заменит его.

Прис был влиятельным человеком, и, кроме того, академическая наука не поддерживала Хевисайда. Отстаивая свои взгляды, Хевисайд попал в трудное положение. Можно добавить, что еще одна статья, написанная им совместно с братом Артуром Уэстом Хевисайдом, в которой результаты математических исследований Оливера были облечены в более практическую форму, также была отклонена Обществом телеграфных инженеров.

Статья Хевисайда с критикой взглядов У. Приса, отвергнутая в 1887 г. четырьмя редакциями, была позднее опубликована в сборнике «Работы по электричеству» (1892). С чисто научной точки зрения это — прекрасный образец дискуссионной статьи, где точка зрения Хевисайда выражена с полной ясностью и проиллюстрирована очень убедительным численным материалом, имеющим и до сего дня учебное значение. Причина, по которой эта статья была отвергнута четырьмя журналами, лежит не только в опасении выступить против официальных взглядов, как полагал Хевисайд. Дело в том, что в статье имеется ряд довольно ядовитых замечаний против У. Приса. Приведем одно из них:

«Результаты и рассуждения [У. Приса.— *Б. Б.*] настолько удивительны по своему характеру, что следует заключить одно из двух: или, во-первых, общепринятая теория электромагнетизма нуждается в фундаментальных изменениях, или, во-вторых, мнения, выраженные мистером Присом в его работе, фундаментально ошибочны. Вопрос о том, какую из этих альтернатив принять, был для меня делом серьезнейших и даже тревожных размышлений. В конце концов я был вынужден прийти к заключению, что электромагнитная теория правильна и что, следовательно, мистер Прис неправ не только в некоторых второстепенных пунктах, но радикально неправ, вообще говоря, в методах, аргументах, результатах и заключениях. Чтобы показать, что это так и есть, я предлагаю несколько замечаний по его работе»³⁰.

В бумагах Хевисайда сохранилось письмо от издателя, который отказался печатать одну из работ Хевисайда, содержащую резкие замечания в адрес своих научных оппонентов. Издатель опасался возможного судебного

преследования со стороны обиженного оппонента и уговаривал Хевисайда не настаивать на опубликовании¹².

Примерно в это время Хевисайд придумал слово для обозначения псевдоученого — сайнтикулист (scienticulist). По-английски ученый — scientist, а что означает сайнтикулист — трудно сказать, но во всяком случае, не ученого, и в то же время слово звучное и по видимости научное, и даже длиннее, чем слово «сайнтист» — ученый. Сначала слово «сайнтикулист» употреблялось в переписке самим Хевисайдом, потом словом стали пользоваться и другие в письмах к Хевисайду. Наконец, оно вошло в печатные издания. Уже значительно позднее, через десять лет, Хевисайд писал в предисловии ко второму тому «Электромагнитной теории» (1899)³¹: «Независимо от того, что утверждает сайнтикулист, читатель не должен опасаться, что забудет себе голову фантастическими теориями, лишенными практического значения». В этой фразе слышны отзвуки дискуссии десятилетней давности.

Вообще Хевисайд впоследствии нередко вспоминал эту дискуссию. Вот, например, что он писал в декабре 1893 г. по горячим еще следам: «В нашей стране официально поддерживались очень любопытные взгляды относительно скорости распространения тока, бесполезности самоиндукции, а также и относительно других существенных вопросов. Официальные лица не обязательно должны быть людьми науки, независимо от того, сколь важное положение занимают они в своих департаментах. От них и не требуется быть учеными. Но если они провозглашают себя людьми науки и делают утверждения, которые выходят за пределы их знаний, и препятствуют распространению взглядов, которых они не могут понять, тогда их официальный вес придает ложную важность их точке зрения и, что наиболее вредно, способствует распространению ошибки, тем более что их официальное положение используется как стена, защищающая от критики. Но я нахожу, что в других странах имеется значительное согласие с моими взглядами»³².

Вот еще высказывание Хевисайда, навеянное дискуссией с Присом. Хевисайд разбирает предложение Приса увеличить емкость двухпроводной линии. Прис думал, что увеличение емкости облегчит осуществление телефонной связи через Атлантический океан. Он предложил изготовить провода так, чтобы часть боковой поверхности была плоской, и плоские поверхности двух проводов располагать возможно ближе друг к другу. Хевисайд по это-

му поводу заметил, что, действительно, таким путем емкость линии может быть значительно увеличена. Но эта увеличенная емкость будет не рабочей, а электростатической, т. е. никак не проявится при передаче высокочастотных сигналов. И вспомнив, что Присом учился у Фарадея, Хевисайд добавил: «Фарадей знал много такого»³³.

Глава пятая

В дискуссии с Присом время работало на Хевисайда. 1888 г. принес экспериментальное доказательство существования электромагнитных волн. Генрих Герц получил электромагнитные волны в открытом пространстве, а Оливер Лодж наблюдал их распространение вдоль проводов. Как вспоминал Лодж, «Хевисайд приветствовал оба наблюдения как одно и то же, хотя, без сомнения, исследования Герца затмевают мои как по тщательности, так и по практическим результатам». Но Хевисайд, приветствуя оба эти достижения как одно, имел в виду не различия в постановке опыта, не тщательность выполнения и не практические результаты, а подтверждение основного положения теории Максвелла о существовании электромагнитных волн.

В 1889 г. Кельвин в президентской речи, прочитанной в Институте инженеров-электриков, признал, что его теория передачи сигнала по кабелю не учитывает электромагнитной индукции. Но недавно, сказал он, очень полная теория была разработана мистером Оливером Хевисайдом. В качестве вывода из своей математической теории мистер Хевисайд указал и подчеркнул, что электромагнитная индукция дает положительный эффект — она помогает переносить ток³⁴. Возможно, что после этой речи Хевисайд написал Кельвину письмо, потому что в бумагах Хевисайда сохранилось письмо Кельвина, где говорится:

«Я очень рад узнать, что Вам было приятно мое упоминание Вашей работы. Я думаю, что не все понимают, с какой полнотой Вы применили Ваши результаты к важным практическим вопросам, и, кроме того, до сих пор Ваши результаты не столь широко известны. Однако среди тех, кто интересуется вопросами науки об электричестве, сравнительно немногие могут читать и понимать

такие работы, как Ваши, и это, без сомнения, является главной причиной, по которой Ваши работы гораздо менее известны и признаны, чем они того заслуживают»⁶.

В 1891 г. Хевисайд был избран в Королевское общество. Это было несомненное признание его научных работ.

Отметим здесь, что Прис тоже был членом Королевского общества, куда он был избран десятью годами ранее Хевисайда. Несправедливое отношение к работам Хевисайда, конечно, не украсило Приса, но и не подорвало его официального положения. В 1892 г. он стал главным инженером Британского почтового ведомства, а в 1899 г. был возведен в рыцарское достоинство и стал именоваться сэр Уильям Генри Прис. Надо полагать, что его практическая работа приносила пользу Британской империи. Тот факт, что он на много лет задержал развитие телефонной связи в Британии, не был ему поставлен в вину.

В 1891 г. журнал «Electrician» вновь предоставил свои страницы для статей Хевисайда. За четыре года до этого редактор сообщил Хевисайду, что публикация его работ прекращается, потому что его (Хевисайда) никто не читает. По некоторым сведениям, дело было так. Редактор распорядился, чтобы в часть тиража вклеили листки с вопросом к читателям, читают ли они статьи Хевисайда. Никаких ответов на этот вопрос не поступило, и редактор решил, что Хевисайда никто не читает. Публикация статей Хевисайда была прекращена, точнее говоря, она была прервана «на самом интересном месте» — на практических рекомендациях, обеспечивающих телефонную связь без искажений на большие расстояния. Но за те несколько лет, что Хевисайда не печатали, редакция получила много писем от своих читателей с одним и тем же вопросом — почему прервана публикация статей Хевисайда и когда она возобновится. Авторы писем были именитыми физиками и инженерами, и это указывало, что у Хевисайда был небольшой, но очень избранный круг читателей. Издатель сокрушался, что статьи Хевисайда читают только несколько профессоров, «а профессора, как Вы знаете, не подписываются на наш журнал». Оставалось непонятным, почему эти люди в свое время не ответили на вопрос, помещенный во вклейке. Редактор опросил печатников, и оказалось, что вклейки с вопросом к читателям так и не были вклеены. После этого публикация работ Хевисайда возобновилась. Такова одна из версий того, что произошло.

Сам Хевисайд не очень верил, что все так и было. Возобновляя серию публикаций в журнале «Electrician», он писал в январе 1891 г.:

«Главная цель серии статей, из которых данная статья является первой, состоит в том, чтобы продолжить работу под названием «Электромагнитная индукция и ее распространение», публикация которой началась в журнале «Electrician» 3 января 1885 г. и продолжалась вплоть до 46 раздела этой работы, опубликованного в сентябре 1887 г., когда

большое давление, вызванное недостатком места и недостатком читателей, по-видимому, привело к необходимости резко прекратить дальнейшую публикацию (оставший 47 раздел появился 31 декабря 1887 г.). Вероятно, для такого прекращения были и другие причины, кроме упомянутых. Но, как было мне сказано вскоре после этого, «приближается время, когда все обнаружится». Сам я не такой оптимист и думаю, что колодец, на дне которого, как говорят, скрывается истина, на самом деле является бездонной ямой»³⁵.

Здесь следует сделать одну важную оговорку. Журналы «Electrician» и «Philosophical Magazine» не полностью прекратили публикацию статей Хевисайда. Отвергались лишь работы, имевшие отношение к спору Хевисайда с Присом, т. е. проблеме телефонии без искажений. Исследования Хевисайда по другим вопросам принимались к печати и публиковались. В эти годы, в частности, было опубликовано несколько статей, в которых Хевисайд начал исследование нового большого раздела теории электричества.

Хевисайд занялся определением электрического и магнитного полей, образованных равномерно движущимся электрическим зарядом. Как известно, поле покоящегося электрического точечного заряда сферически симметрично, т. е. оно определяется только расстоянием

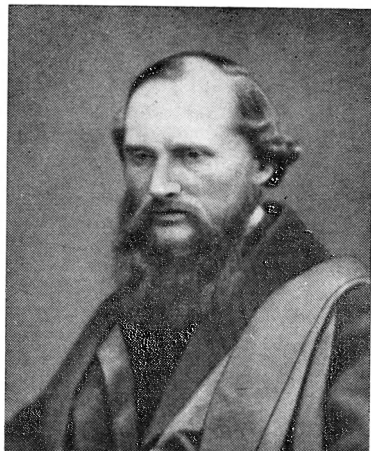


Рис. 8. Уильям Томсон
(лорд Кельвин)

от покоящегося заряда до той точки, где измеряется поле. Электрическое поле направлено по прямой, соединяющей заряд с точкой наблюдения, и по величине обратно пропорционально квадрату расстояния от заряда до точки наблюдения. Магнитное поле покоящегося заряда равно нулю. Если заряд не покоится, а равномерно движется, то характер поля меняется. Рассмотрение этого вопроса для случая, когда скорость заряда мала в сравнении со скоростью света, провел Дж. Дж. Томсон³⁶. Он показал, что в этом случае электрическое поле по-прежнему является сферически симметричным и по-прежнему электрическое поле обратно пропорционально квадрату расстояния от заряда до точки наблюдения и направлено по прямой, соединяющей заряд с точкой наблюдения. Таким образом, в приближении Томсона электрическое поле движущегося заряда имеет такой же вид, как и поле покоящегося, но только оно переносится вместе с движущимся зарядом. Кроме того, при движении заряда возникает и магнитное поле, и Дж. Дж. Томсон вычислил также и его. Важно здесь отметить, что Томсон вычислял поле движущегося заряда приближенно, считая, что скорость заряда u много меньше, чем скорость света v . В этом предположении отношение u/v есть малая величина. Томсон учитывал члены первого порядка по u/v , а более высокие степени этого параметра отбрасывал. Хевисайд в серии статей, первая из которых была опубликована в 1888 г., подробно изучил поле равномерно движущейся точечной заряженной частицы. Он получил точные выражения для электрического и магнитного полей частицы сначала в предположении, что скорость частицы не превышает скорости света в той среде, где частица движется. Как показал Хевисайд, характер поля частицы существенно меняется по мере увеличения ее скорости.

Чтобы получить представление о том, как меняется поле, можно рассмотреть сначала случай, когда частица покоится. Окружим частицу сферической поверхностью некоторого радиуса, так что частица находится в центре этой поверхности. Тогда электрическое поле в любой точке поверхности направлено по нормали к этой поверхности и во всех точках поверхности имеет одинаковую величину. Рассмотрим теперь движущуюся частицу, окружив ее сферой того же радиуса, что и в предыдущем случае. Те точки сферы, которые пересекаются линией движения частицы, назовем полюсами. В случае медленного движения заряда поле на всей сфере имеет одинаковую

величину, т. е., скажем, поле на экваторе такое же, как и на полюсах. В этом случае решения, найденные Хевисайдом, переходят в решения Томсона, который ограничил свое рассмотрение случаем медленного движения. Но при дальнейшем росте скорости заряда характер электрического поля меняется. Оно по-прежнему остается направленным по нормали к сфере, окружающей движущийся заряд, но величина поля в разных точках сферы теперь различна: «Если скорость растет, электромагнитное поле все больше и больше сгущается вблизи от экваториальной плоскости $\theta = 1/2\pi$. Чтобы дать представление об этом сгущении, положим $u^2/v^2 = 0,99$ [Хевисайд скорость света в среде, в которой движется заряд, обозначает через v , а скорость заряда — через u . — Б. Б.]. Тогда поле E в полюсе составляет 0,01 от нормального значения q^2/r^2 , а на экваторе поле в 10 раз больше нормального значения»³⁷.

Он показал также, что в пределе $u = v$, т. е. когда скорость заряда становится равна скорости света, все поле собирается в плоскости, проходящей через экватор, «образуя плоскую электромагнитную волну»³⁸.

В настоящее время поле равномерно движущегося заряда приводится во всех учебниках по электричеству, но ни в одном Вы не найдете указания на то, что соответствующие выражения впервые получены Хевисайдом в 1889 г.

В этой же работе 1889 г. Хевисайд вычислил полную энергию электромагнитного поля, связанного с равномерно движущимся зарядом. Как известно, плотность энергии электромагнитного поля равна сумме квадратов электрического и магнитного полей. Чтобы найти полную энергию электромагнитного поля, нужно вычислить интеграл от плотности энергии по всему пространству. Хевисайд отдельно вычисляет интегралы от квадрата электрического поля и от квадрата магнитного поля. Первый интеграл Хевисайд обозначает через U и называет полной электрической энергией. Второй интеграл обозначен буквой T и назван полной магнитной энергией. Разумеется, для случая точечного заряда обе эти величины расходятся. Поэтому Хевисайд при вычислении предполагает, что источник поля не точечный, а идеально проводящая сфера радиуса a , движущаяся равномерно со скоростью u и обладающая полным зарядом q . Тогда выражения для электрической энергии U и магнитной энергии T оказываются конечными. Мы не будем здесь их приводить, отметим только, что

если скорость заряда u стремится к скорости света v в той среде, где движется заряд, то в пределе (как теперь говорят, в релятивистском пределе) из формул Хевисайда получается, что электрическая энергия U и магнитная энергия T равны друг другу и обе зависят от скорости заряда одинаковым образом, а именно пропорциональны множителю $1/\sqrt{1 - u^2/v^2}$. Таким образом, и полная энергия электромагнитного поля, порожденного движущимся зарядом, пропорциональна тому же множителю $1/\sqrt{1 - u^2/v^2}$. Этот множитель теперь называют лоренц-фактором, он часто встречается в формулах специальной теории относительности. Но вспомним, что работа Хевисайда послана в печать в декабре 1888 г. И в этой работе получена зависимость энергии от скорости (или, что то же самое, зависимость массы от скорости) такая же, как в специальной теории относительности, появившейся семнадцатью годами позднее. Ничего удивительного в таком совпадении нет, мы теперь знаем, что уравнения Максвелла инварианты относительно преобразования Лоренца, поэтому прямой подсчет поля движущегося источника дает тот же результат, что и пересчет поля с помощью преобразования Лоренца из той системы координат, где источник покоится. Во времена появления работы Хевисайда, где была вычислена энергия поля движущегося заряда, ни теории относительности, ни названия «лоренц-фактор» еще не существовало. Этот множитель впервые появился в работах Хевисайда.

В тех же статьях Хевисайд рассмотрел еще один вопрос: что будет с полем движущегося заряда, если скорость заряда превосходит скорость света в той среде, где заряд движется. По-видимому, впервые вопрос об этом был поставлен в работе Хевисайда, опубликованной в журнале «Electrician» в ноябре 1888 г.³⁹

В этой работе Хевисайд говорит о поле заряда, который равномерно движется в диэлектрике со скоростью u , превышающей скорость света v в диэлектрике. Он пишет: «...если скорость заряда превышает скорость света, возмущения целиком остаются позади заряда и сосредоточены внутри конуса AqB (рис. 9). Заряд находится в вершине конуса и движется слева направо вдоль Cq . Половина угла раствора конуса, или угол AqC , определяется соотношением

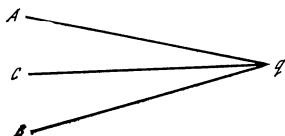
$$\sin \theta = v/u,$$

где v — скорость света, а u — скорость заряда. Магнитные силовые линии представляют собой окружности с

центрами на оси, т. е. на линии движения. Смещение, конечно, направлено от q и полный поток смещения равен q , но смещение неоднородно распределено внутри конуса. Электрический ток направлен к точке q внутри конуса и от точки q вне конуса.

Видно, что электрическая сила стремится тянуть заряд назад. Поэтому для того чтобы поддерживать движение, нужно к заряду q приложить силу в направлении Cq . Работа этой силы идет на непрерывное и однородное увеличение электрической и магнитной энергии вблизи от

Рис. 9



вершины q . Ибо движение волнового фронта в любой точке на Aq или Bq направлено по перпендикуляру наружу, а не к точке q . Таким образом, конус непрерывно захватывает все новые области пространства, в то время как движение заряда q вперед непрерывно обновляет вершину конуса и сохраняет его форму неизменной.

Рассматривается только равномерное движение.

Во избежание недоразумений я должен заметить, что это рассмотрение ни в коей мере не описывает того, что могло бы случиться, если бы заряд принужден был двигаться через эфир со скоростью, в несколько раз превышающей скорость света, о чем я ничего не знаю; но проведенное выше рассмотрение описывает то, что могло бы случиться, если бы теория Максвелла для диэлектрика в рассматриваемых условиях была верной и если бы я ее правильно понял».

В приведенном отрывке из работы Хевисайда многое нуждается в пояснении. Под словом «возмущение» здесь понимается отличное от нуля электромагнитное поле. Слово «смещение» означает (вернее, в те годы означало) электрическую индукцию. Утверждение Хевисайда о том, что внутри конуса смещение (т. е. электрическая индукция) направлено от q , неверно. В дальнейшем Хевисайд получил точные формулы для поля внутри конуса, и из этих формул следовало, что для положительного электрического заряда q вектор электрической индукции (и электрической напряженности) направлен не от заряда, а к заряду, по прямой линии, соединяющей заряд с точ-

кой наблюдения. При этом по мере приближения изнутри к поверхности конуса смещение (электрическая индукция) растет и при неограниченном приближении к поверхности принимает сколь угодно большие значения. На внешней поверхности конуса электрическая индукция направлена по образующей от вершины и для случая точечного заряда имеет бесконечную величину. Полный поток индукции к заряду внутри конуса в сумме с потоком индукции от заряда по внешней поверхности конуса удовлетворяет известной теореме Гаусса, т. е. пропорционален величине движущегося заряда. Это все Хевисайд полно и точно рассмотрел впоследствии. Для него вообще было характерно возвращаться к ранее рассмотренным вопросам, возвращаться неоднократно, каждый раз все полнее и полнее рассматривая проблему, до тех пор, пока он не добивался для себя полной ясности. Фраза в приведенном отрывке о том, что электрический ток внутри конуса направлен к точке q , а вне конуса от точки q также неверна. Это, по-видимому, описка. Через десять лет после появления работы Хевисайд, пересмотрев ее, заметил, что слово «ток» следует заменить словом «смещение»⁴⁰ (а смещение, говоря современным языком, это электрическая индукция).

Большой интерес представляет заключительное замечание Хевисайда, в котором, по существу, выражается сомнение, может ли частица двигаться со скоростью, превышающей скорость света в вакууме (Хевисайд пишет не «в вакууме», а «в эфире»). В то время считали, что вакуум заполнен некой средой, которая обладает определенными механическими свойствами, такими, что в этой среде могут распространяться волны, и эти волны как раз и представляют собой электромагнитные волны. Предполагаемую среду, переносящую электромагнитные волны, называли светоносным эфиром или просто эфиром. Многие статьи того времени, в том числе и статьи Хевисайда, сегодня гораздо легче читать, если всюду, где встречается слово «эфир», заменить его на слово «вакуум». Мы теперь знаем — это достижение теории относительности, — что в эфире как механической среде для распространения электромагнитных волн нет нужды). Мы уже упоминали, что Хевисайд подсчитал полную энергию электромагнитного поля, порожденного равномерно движущимся зарядом. Он получил, что электромагнитная энергия неограниченно растет по мере приближения скорости заряда к скорости света. Возможно поэтому он и сомневался, может

ли скорость заряда превышать скорость света в пустоте (в «эфире»), — ведь даже для того, чтобы заряд достиг скорости света, ему надо сообщить бесконечно большую энергию. Интересно, что это замечание Хевисайда тоже предвосхищает положение теории относительности о том, что скорость света в пустоте есть предел скорости всех материальных тел.

В 1889 г. Хевисайд и его престарелые родители переехали из Лондона в небольшой городок Пэйнтон, расположенный в Южной Англии. Старший брат Оливера Чарлз имел музыкальные способности и очень хорошо играл на «английском концертино» (этот музыкальный инструмент был изобретен дядей Чарлза и Оливера — Ч. Уитстоном). Музыкальные способности Чарлза стали известны Рейнольдсу, владельцу фирмы по торговле музыкальными инструментами в небольшом городке Торки на южном побережье Англии. Рейнольдс привлек Чарлза к своему делу. Торговля процветала, и Чарлз стал партнером Рейнольдса. В 1889 г. Чарлз снял дом в Пэйнтоне, в двух милях от Торки. В этом доме и поселились Оливер и его родители — Речел-Элизабет и Томас Хевисайды. Имеющееся при доме помещение для лавки было превращено в филиал музыкальных магазинов Рейнольдса, а через некоторое время Рейнольдс перестал быть партнером и Чарлз начал вести дело самостоятельно⁴¹.

Распорядок жизни Оливера Хевисайда в Пэйнтоне остался таким же, каким он был в Лондоне. Оливер много работал. Именно в Пэйнтоне он провел исследование электромагнитного поля, возникающего при различных законах движения заряженных частиц, здесь же он продолжил свои работы по теории проводной связи.

В Пэйнтоне Оливер провел много счастливых дней. Он охотно прерывал работу, чтобы поиграть с детьми своего брата. Его племянница впоследствии писала: «Я помню, как в большой комнате наверху, в музыкальном салоне моего отца, под звуки марша, исполняемого отцом, Оливер маршировал между роялями (которых насчитывалась дюжина, если не больше), а мы за ним, уцепившись за его пиджак, один за другим»⁴¹.

Оливер еще сохранил достаточный слух, для того чтобы получать наслаждение от игры своей матери на фортепиано. Она исполняла сонаты Бетховена, а также произведения Шуберта, которые Оливер тоже очень любил.

В Пэйнтон и пришло известие об избрании Оливера членом Королевского общества. Королевское общество —



Рис. 10. Фотография Хевисайда, относящаяся к тому времени, когда он жил с родителями в Пэйнтоне

это английская академия наук. Избрание в Королевское общество означало высокую степень признания научных результатов Хевисайда. Это не могло не радовать его и доставило еще большую радость его любящим родителям.

Оливер был избран в Королевское общество 4 июня 1891 г. Сразу же ему была послана копия устава. Уже 6 июня он писал Лоджу: «Секретарь Королевского общества прислал мне нечто вроде Habeas Corpus». Это было послание, приглашающее его в Лондон для прохождения формальностей,

связанных с избранием. Но Оливер не поехал в Лондон и, по-видимому, вообще ничего не сделал из того, что требовалось для официального вступления в Королевское общество. Он написал небольшое шутливое стихотворение, где изложил перечень необходимых формальностей. Его приблизительный стихотворный перевод звучит так:

Но чтобы все оформить без изъяна,
Три фунта нам внеси из своего кармана
И в город приезжай, и вот таким путем
Тебя мы к Обществу допустим и причтем.
А если этого ты делать не желаешь,
То к нам не поступай, а поступай, как знаешь*.

Это стихотворение приведено в воспоминаниях о Хевисайде, написанных доктором Силом. Доктор Сил был в течение многих лет и до самой смерти Хевисайда его другом. Личное знакомство Сила и Хевисайда произошло в Пэйн-

* Yet one thing More
Before
Thou perfect Be
Pay us three Poun'

Come up to Town
And then admitted Be
But if you Won't
Be Fellow, then Don't²⁷.

тоне в сентябре 1892 г. Незадолго до этого Сил, работавший в Кембридже, написал Хевисайду письмо, где изложил свои возражения относительно работы Хевисайда, в которой определялось поле движущейся заряженной сферы. В этой работе Хевисайд сначала определял поле движущегося точечного заряда, а затем рассуждал примерно так: напряженность электрического поля, созданного равномерно движущимся зарядом, направлена по прямой, соединяющей заряд с точкой наблюдения. Поэтому, если мы окружим точечный заряд сферической поверхностью некоторого радиуса, то напряженность поля в любой точке этой поверхности будет направлена по нормали к поверхности. Если сферическая поверхность является проводящей, то поле не вызовет на ней никаких токов. Но тогда можно заменить точечный заряд на идеально проводящий шар, центр которого совпадает с точкой, где находится заряд. Величина заряда на поверхности шара совпадает с величиной точечного заряда. При этом заряд распределен по поверхности шара неравномерно, но это распределение никак не нарушается электрическим полем, поскольку поле нормально к поверхности. Значит, поле движущегося заряда может быть заменено на поле движущегося шара (всюду вне шара).

Сил усомнился в этой аргументации Хевисайда, а затем и показал ее ошибочность.

Нам теперь нет нужды следовать рассуждениям Сила, потому что к его результату можно прийти проще. Мы знаем, что если проводящее тело покоится, то стационарное электрическое поле должно быть перпендикулярно к поверхности тела в каждой ее точке. Тогда не будет никаких токов на поверхности тела. Пусть теперь проводящее тело движется с постоянной скоростью u . В этом случае граничное условие, при выполнении которого не будет токов на поверхности тела, можно получить с помощью пересчета из системы координат, где тело покоится (из системы покоя). В системе покоя электрическое поле E вблизи от проводящего тела направлено перпендикулярно поверхности. Переход в систему, где тело движется со скоростью u , после совершения необходимых преобразований поля показывает, что вблизи от поверхности движущегося проводящего тела вектор

$$E + [u, B]$$

должен быть направлен перпендикулярно поверхности тела. К этому же результату можно прийти иначе, если

учесть, что выражение $E + [u, B]$ пропорционально силе, действующей со стороны электрического поля E и магнитного поля B на заряд, движущийся со скоростью u . Чтобы не было поверхностных токов, эта сила должна быть перпендикулярна к поверхности движущегося тела.

Свои соображения Сил изложил в письме к Хевисайду, отправленном 14 августа 1892 г. Хевисайд сразу же признал справедливость критики и в дальнейших публикациях сделал необходимые поправки. Вспоминая об этом, Сил писал: «Он никогда не отвергал добросовестную критику»²⁷. В следующем месяце Сил, находясь в Девонпорте, решил отправиться в Пэйнтон, чтобы повидаться с Хевисайдом. Единственный адрес, которым он располагал, был «Пэйнтон». После ряда бесплодных вопросов относительно места пребывания выдающегося человека Оливера Хевисайда Сил был направлен к музыкальной лавке Рейнольдса. В лавке ему сказали, что Оливер живет в Торки и дали адрес: Торвуд Стрит, 27 — магазин музыкальных инструментов.

Сил пошел в Торки. Там приказчик сказал, что Оливер живет в Ньюкасле. Так бы Сил и не встретился в тот раз с Оливером, но по счастью приказчик позвал Чарлза Хевисайда, и тот сказал, что его брат живет в Пэйнтоне. Сил пошел назад в Пэйнтон (благо, между этими городами было две мили) и подошел к дверям дома, где уже был несколько часов назад. Оказалось, что Оливер был дома⁴¹.

По-видимому, такие сложные поиски не были случайностью. Оливер вел жизнь затворника, избегая встреч, которые, по его мнению, отвлекали его от работы. Возможно даже, что продавец музыкального магазина в Пэйнтоне не знал Оливера, хотя Оливер жил в том же самом доме, где помещался магазин.

Так Сил познакомился с Хевисайдом. Эта встреча положила начало дружбе, которая длилась больше тридцати лет, до смерти Хевисайда. Сил и Хевисайд вели регулярную переписку, а примерно раз в году они встречались на несколько дней. При этом всегда Сил приезжал к Оливеру, а не наоборот. У них была общая тема для обсуждения — оба они интересовались электромагнитным полем движущихся источников. Но было и другое, что их объединяло, — взаимное расположение и взаимное понимание. Сил был высочайшего мнения о Хевисаиде, как об ученом. Но он также высоко ценил и чисто человеческие качества Хевисайда, которые для многих (для подавляющего большинства) не были видны. Те, кто знал Хевисай-

да хуже, чем Сил, видели в первую очередь человека с необычным, не поддающимся объяснению поведением. Сил пишет: «Он был странным, но для тех, кто приспособился к нему, очень привлекательным человеком», и дальше: «Все, что я могу сказать о нем, покажется непосвященному человеку очень странным и необычным по той простой причине, что все с ним связанное и мною виденное было странным и необычным». Сил в первую очередь отмечает присущее Хевисайду неистребимое чувство юмора. Он не любил важности, торжественности, напыщенности, не любил тех, кто страдал, по его словам, от «encephalitis enlargica» («уширение мозгов»). Он был рад гостям, но его слава чудака и ехидного человека отпугивала всех, за исключением немногих ⁴¹.

Сил описывает внешность Хевисайда в то время: «Когда я впервые встретил его, у него были густые рыжевато-каштановые волосы, а кожа рук и лица была того цвета, который обычно сопутствует такому оттенку волос. Его волосы, густые до самых последних дней, и его борода были аккуратно подстрижены им самим».

После первого своего визита к Хевисайду Сил приезжал в Пэйнтон в сентябре следующего 1893 г., а затем и в сентябре 1894 г. В одно из этих посещений они, взяв с собой еду, отправились на велосипедах к древним развалинам замка Помрой недалеко от Пэйнтона. Осматривая замок, они набрали на темную и сырую комнату. Можно было подумать, что прежние хозяева использовали эту комнату как темницу, но комната не имела решеток на окнах. Оливер сказал: «Здесь очень сыро, это, должно быть, была спальня для слуг». Сил много лет спустя вспоминал эти полные едкого сарказма слова, выражающие вполне определенное отношение не столько к давним хозяевам замка — Хевисайд вряд ли знал о них что-либо, — сколько к хозяевам вообще ⁴¹.

Когда друзья сели, чтобы перекусить, Оливер стал открывать банку сардин и порезал палец. Сил перевязал рану. Экспериментальные навыки, приобретенные Хевисайдом и позволявшие ему проводить тонкие и точные измерения, не приносили ему пользы в повседневных бытовых делах.

Глава шестая

Отношение к работам Хевисайда медленно менялось. Если раньше это отношение у большинства специалистов было близко к точке зрения У. Приса, который громко и утврждал, что все, сделанное Хевисайдом, — чепуха, то после выступления лорда Кельвина к результатам Хевисайда стали относиться внимательнее. Понять Хевисайда было трудно, но было похоже на то, что он все же был прав. Такому повороту в оценке Хевисайда способствовали и высказывания других ученых. В 1890 г. была опубликована работа Генриха Герца «Об основных уравнениях электромагнитной теории для покоящихся тел». В этой статье Герц высоко оценил роль Хевисайда в развитии электромагнитной теории: «Уже указанная незавершенность формы уравнений Максвелла затрудняет применение теории Максвелла к конкретным случаям. Имея в виду такого рода приложения, я некоторое время назад пришел к необходимости пересмотреть формулы Максвелла и отделить их существенное содержание от той частной формы, в которой им впервые было суждено появиться. Результаты, к которым я пришел, изложены в настоящей статье. Мистер Оливер Хевисайд работал в том же направлении еще с 1885 г. Он убрал из уравнений Максвелла те же символы, что и я, и та простейшая форма, которую при этом приняли уравнения, по существу совпадает с той, к какой пришел и я. В этом отношении, следовательно, приоритет принадлежит мистру Хевисайду».

Свидетельством изменяющегося отношения явилось предложение, сделанное Хевисайду издательством «Макмиллан». Издательство предложило выпустить в виде сборника ранее опубликованные работы Хевисайда по электричеству. Хевисайд принял это предложение и занялся подготовкой сборника к печати. Было несколько причин, побудивших Хевисайда взяться за подготовку сборника своих статей. Одна из них, которую он считал главной, заключалась в том, что к нему и в редакции тех журналов, где были помещены его работы, приходило множество писем с просьбой прислать отиски вышедших из печати статей. Хевисайд все имевшиеся у него отиски уже разослал, но поток писем не прекращался. Интерес к его работам все возрастал. Издание сборника, куда должны

были войти все его опубликованные работы, могло бы удовлетворить этот интерес.

Не последнюю роль играли также надежды Хевисайда на то, что доход, полученный от издания, поправит его материальное положение, которое никогда не было хорошим.

В 1892 г. сборник вышел из печати. Он состоял из двух объемистых томов и назывался «Electrical papers» («Работы по электричеству») ^{1, 2}. Этот двухтомник содержал практически все работы Хевисайда, опубликованные до 1891 г. Некоторые из работ, включенных в двухтомник, Хевисайд снабдил необходимыми, по его мнению, исправлениями или дополнениями. В частности, была включена поправка, вызванная замечанием доктора Сила. Хевисайд добавил сноску («Electrical papers», т. 2, с. 514), где признал допущенную им неточность и заметил, что на внешней поверхности движущегося проводящего тела должен быть перпендикулярен к поверхности не вектор \mathbf{E} электрического поля, а вектор $\mathbf{F} = \mathbf{E} + [\mathbf{u}, \mathbf{B}]$, где \mathbf{B} — магнитное поле, а \mathbf{u} — скорость тела.

В этой сноске Хевисайд также отмечает, что проводящая поверхность, которая дает такое же поле, что и движущийся точечный заряд, представляет собой эллипсоид вращения, ось симметрии которого параллельна направлению движения. Эллипсоид сплюснут вдоль направления движения, и если его оси, перпендикулярные скорости движения, принять равным единице, то величина оси вдоль скорости равна $\sqrt{1 - u^2/v^2}$. Доктор Сил в одной из своих более поздних работ называл этот эллипсоид «эллипсоидом Хевисайда».

Из теории относительности следует, что если тело в состоянии покоя имеет форму шара, то при движении со скоростью u тело имеет форму эллипсоида как раз с таким соотношением осей, какое нашел Хевисайд. Не забудьте, что это было сделано за 12 лет до появления теории относительности. Хевисайд рассмотрел, как преобразуется эквипотенциальная поверхность при движении источника, как форма эквипотенциальной поверхности зависит от скорости заряда. Для этой задачи он получил такой же результат, какой дает теория относительности, сформулированная значительно позднее. Удивительного тут ничего нет. Точные формулы электродинамики полностью согласуются с формулами теории относительности. Но электродинамика возникла лет на тридцать раньше, чем специальная теория относительности. Поэтому многие точ-

ные формулы электродинамики предвосхищали результаты специальной теории относительности, хотя теория относительности имеет всеобщий характер и выходит за рамки только электромагнитных явлений. Вспомним здесь, что Хевисайд вычислил, как зависит от скорости заряда энергия его поля, и получил при высоких скоростях заряда ту же зависимость от скорости, что и в теории относительности, но на 16 лет раньше.

Еще одно добавление, сделанное Хевисайдом при перепечатке ранее опубликованных работ в «Electrical papers», касается поля равномерно движущегося заряда, если скорость заряда превышает скорость света в той среде, где движется заряд. Мы уже упоминали о его работах, где он качественно рассмотрел особенности электромагнитного поля, порожденного сверхсветовым зарядом. Теперь же, помещая эти работы в сборник, Хевисайд сделал к одной из них примечание, в котором указал на явный вид поля сверхсветового заряда в среде. Это уже были не слова, определяющие качественные особенности поля, а точные формулы, по которым можно было вычислить поле сверхсветового заряда в любой точке пространства. Вывод этих формул Хевисайд не дал из-за недостатка места. Он отметил только, что они получены с помощью операционного метода в 1890 г. Он заключил примечание словами: «Подходя к концу этой книги, я сожалею, что здесь нет места для математического исследования, которое нельзя изложить в нескольких словах. Мы оставим это на будущее»⁴². Позднее он опубликовал вывод точной формулы, определяющей электромагнитное поле заряда, движущегося в среде со скоростью, превышающей скорость света в этой среде.

В книгу «Electrical papers» была включена также короткая статья³⁰, ранее не опубликованная. Это была та самая статья, которую ранее отвергли редакции четырех журналов. Хевисайд в этой статье возражал против взглядов Приса о том, что индуктивность передающей линии «на практике» не влияет на качество передачи сигнала. Об этой статье мы уже упоминали ранее.

Хевисайд включил также в книгу еще одну ранее не опубликованную статью. Это приложения к статье, написанной совместно с братом, Артуром Уэстом Хевисайдом, «Телефонная связь по схеме мостика». Сама эта статья в книгу «Electrical papers» не попала, потому что ее содержание перекрывается содержанием некоторых других помещенных в книгу статей. Но приложения, написанные

Оливером, в которых был проведен теоретический анализ вопросов, важных для практической телефонии, автор включил в книгу в виде статьи под заглавием «О телефонных и телеграфных цепях». В помещенном тексте, написанном за пять лет до издания книги, рассматривается расчет параметров линии связи, выбор параметров приемной и передающей аппаратуры для того, чтобы обеспечить наилучшее прохождение и прием сигнала, и некоторые другие вопросы. Напомним, что вся эта статья (а не только приложение к ней, включенное в книгу «Работы по электричеству») была представлена весной 1887 г. в Общество телеграфных инженеров и электриков и была тогда отклонена.

А между тем разработанная Артуром Хевисайдом связь по схеме мостика дала Оливеру наводящие соображения, которые привели к созданию полной теории проводной связи и позволили осуществить дальнюю проводную связь без искажений. Хевисайд впоследствии вспоминал, как это произошло. Когда стала развиваться телефонная связь, возникла такая проблема. В некоторых случаях требовалось включать в одну цепь много телефонных аппаратов (например, в тех случаях, когда телефонная линия связывала членов одной большой семьи, или когда надо было обеспечить связь между подразделениями одной фирмы, тесно связанными между собой). Обычно в этом случае все телефонные аппараты включали в линию последовательно, один за другим. Почему так делали? Потому что не знали ничего лучшего. По такой же схеме располагались до этого и абоненты телеграфа, и эта схема считалась очевидной не только в Англии, но и повсюду. Но когда эта схема стала применяться и в телефонной связи, довольно быстро выяснилось, что промежуточные телефоны отрицательно влияют на качество связи и применение последовательного включения накладывает довольно сильные ограничения на допустимое число телефонных аппаратов в линии, а также на длину линии. Артур Хевисайд в то время был главным инженером в почтовом ведомстве города Ньюкасла. Он с энтузиазмом встретил появление телефона и был одним из первых, осуществивших телефонную связь в Англии. В своих опытах он обнаружил, что не было никакой необходимости располагать аппараты в линии последовательно, как это было давно и повсеместно принято. Гораздо лучшие результаты получились в том случае, когда телефонные аппараты не включались последовательно в линию, а располагались вдоль линии,

как шунты или как мостики. Если рассматривать двухпроводную линию, то эта линия соединяла всех абонентов, а телефонные аппараты подключались к линии параллельно, так что ток шел через аппарат от одного провода линии к другому. Таким же образом проводится параллельное включение осветительных ламп. Теперь схема, предложенная Артуром Хевисайдом, кажется простой и очевидной. Но в то время предложение располагать аппараты в линии по схеме мостика не было понято и серьезно не рассматривалось. Однако схема мостика говорила сама за себя. Улучшение связи при использовании этой схемы было настолько разительным, что сначала эта схема была принята в Ньюкасле, а затем повсюду.

Артур Хевисайд рассказал об этой схеме Оливеру и попросил его объяснить теоретически, почему связь по схеме мостика оказывается более эффективной. Хевисайд пишет, что его объяснение учитывало два обстоятельства. Прежде всего, в схеме мостика из линии связи полностью удалялись промежуточные телефонные аппараты с большим сосредоточенным сопротивлением. Это явно была главная причина, объясняющая увеличение дальности связи, а также то, что по схеме мостика можно было обслужить гораздо больше абонентов. Можно сказать, что в схеме мостика абоненты не включались в линию, а подключались к ней.

Второе обстоятельство, объяснявшее преимущества связи по системе мостика, было в данном случае не столь важным, но именно оно и навело Хевисайда на мысль о том, что возможна проводная связь без искажений⁴³.

Схема связи по системе мостика представляет собой линию, к которой параллельно подключен ряд телефонных аппаратов. Каждый аппарат — это как бы мостик, по которому из линии уходит ток. При последовательном включении телефонных аппаратов ток, протекающий через один из аппаратов, пройдет также и через каждый из остальных. При включении же по схеме мостика ток, прошедший через один из телефонных аппаратов, уже потерян для всех остальных. Таким образом, для каждого телефонного аппарата все остальные можно рассматривать как утечку тока, нарушение изоляции линии. Но, с другой стороны, опыты Артура Хевисайда убедительно показывали, что при осуществлении телефонной связи по схеме мостика не только значительно возрастала дальность, но и улучшалась слышимость и, кроме того, лучше передавалась артикуляция, т. е. уменьшалось искаже-

ние. Хевисайд, обдумывая эти особенности связи по системе мостика, пришел к выводу, что качество связи может улучшаться именно благодаря наличию утечки, т. е. наличию многих мостиков в линии связи. Если эти мостики убрать, то связь по оставшимся телефонным аппаратам может даже ухудшиться. Артур Хевисайд, выслушав эти соображения Оливера, сказал ему, что в определенных случаях дело именно так и обстояло, хотя он сомневается, что так было во всех случаях. Для работы по схеме мостика утечка была не главным эффектом. Но после этого Оливер Хевисайд задумался о том, какова роль утечки в проводной линии связи. Он и раньше интересовался тем, к каким последствиям приводит нарушение изоляции телеграфного кабеля. В одной из его первых работ (она помещена в начале первого тома «Работ по электричеству», это работа «Теория повреждений в кабелях», опубликованная в журнале «Philosophical Magazine» за июль и август 1879 г.) рассматривалось, к чему приводит возникающая в телеграфном кабеле утечка. В качестве причины утечки рассматривались только повреждения изоляции или закорочение кабеля на землю. Но и тогда Хевисайд думал об искусственно созданной утечке. Он писал: «Когда в силу естественных причин в кабеле развивается дефект, или местное нарушение изоляции, он стремится стать хуже — явление, которое, как можно наблюдать, не ограничивается только дефектами кабеля. Под действием тока дефект увеличивается в размере, а сопротивление его уменьшается, и если не удалить его вовремя, то связь полностью прекращается. Поэтому директора и административные телеграфных компаний, имеющих подводные кабели, относятся неодобрительно к дефектам линии, и специальные охотники за повреждениями внимательно следят за обнаружением дефектов и последующим их устранением. Но искусственный дефект, т. е. соединение между проводником и оболочкой кабеля, сделанный в виде катушки из тонкого провода, не будет иметь нежелательных свойств естественного дефекта. Если его сделать как следует, он будет иметь постоянное сопротивление или сопротивление, зависящее только от температуры, не будет иметь электродвижущей силы поляризации, не будет ухудшаться и значительно повысит скорость работы. Наилучшим местом для единичного дефекта является середина линии, и, по-видимому, сопротивление, составляющее $1/32$ часть от сопротивления линии, не было бы слишком малым для него»⁴⁴.

Хевисайд был уже внутренне подготовлен к тому, что наличие утечки не всегда является вредным фактором. Поэтому он включил утечку в рассмотрение, когда создавал теорию связи по проводам.

По-видимому, к моменту издания сборника «Работы по электричеству» надежды Хевисайда поправить с помощью этой книги свое материальное положение в значительной степени рассеялись. В предисловии к книге он писал: «Что касается вопроса „окупится ли это?“, мало что можно сказать. Потому что, как ни абсурдно это может показаться, я со всей серьезностью заявляю, что меня одушевляют главным образом филантропические мотивы. Я желаю делать добро моим ближним, даже *suī bonos* [т. е. даже тем, кто из этого извлекает выгоду. — *Б. Б.*] Зная остроумие Хевисайда, можно заключить, что это был камень в огород издателя, хотя жизнь показала, что эти слова Хевисайда, к сожалению, оказались справедливыми и в более широком смысле.

У книги «*Electrical papers*» была трудная судьба, как, впрочем, и у ее автора. Уже значительно позже, в декабре 1917 г., в письме к Ж. Бетено Хевисайд писал: «Наибольшая часть моего напряженного труда содержится в „*Electrical papers*“. Но оказалось, что эта книга была мною опубликована слишком рано. Я думаю, что разошлись приблизительно 350 экземпляров, а 400 экземпляров, еще не переплетенные, были проданы издателями как макулатура»¹⁴.

Об этом же пишет и доктор Б. Беренд, член Американского института инженеров-электриков, состоявший с Хевисайдом в переписке. В год смерти Хевисайда Беренд поместил в журнале «*Electrical World*» статью, проникнутую любовью к Хевисайду и обидой на отношение к нему. Беренд, в частности, писал:

«Он оскорблял власть имущих своим благородством и откровенностью. Он вызывал раздражение своих издателей своей сатирой и иронией. Его книги не находили сбыта. Его издатели сообщили ему, что помещение для хранения стоит дорого и что бесполезные тома должны быть превращены в макулатуру. Они были уничтожены уже целое поколение назад. Эти два редких тома, которые Макмилланы уничтожили, теперь продаются, если их вообще можно достать, по 50 долларов за том. Автор этой статьи [Беренд говорит здесь о себе. — *Б. Б.*] по капризу судьбы владеет экземпляром, принадлежавшим сэру Уильяму Прису — сэру Уильяму, которого великий по-

койник вышучивал за его невежество в великой теории телефона. Оливер Хевисайд не признавал дутых авторитетов, он не мог молчать. У него не было житейской мудрости, он не был «практичным» — выражение, которое он любил и часто использовал в письмах к автору этих строк»⁴⁵.

То, что пишет Беренд о судьбе книги «Electrical papers», согласуется с тем, что пишет Бетено. Но Беренд сообщает удивительную подробность. Оказывается, Прис, который во всеуслышание заявлял, что работы Хевисайда не стоят внимания, все-таки купил двухтомник. Это, мне кажется, о многом говорит. Может быть, уверенность Приса в бесполезности работ Хевисайда к моменту выхода книги поколебалась и он захотел прочитать статьи Хевисайда более внимательно. Это, впрочем, мало вероятно, если судить по дальнейшим событиям. Беренд упоминает также, что Хевисайд любил и часто использовал в своих письмах слово «практичный». Действительно, Хевисайд часто употреблял слово «практичный», «практик», по большей части в ироническом контексте. Это объяснялось тем, что многие его критики явно недооценивали теорию, не понимали ее и считали, что и понимать не надо, потому что они — практические работники, практики. Пренебрежительное отношение к теории вызывалось у «практиков» не тем, что теория была неверна. Они этого не могли утверждать, потому что ничего в теории не смыслили. Пренебрежительное отношение «практиков» к теории объяснялось тем, что они были «практики», а теория была теорией, т. е., по их мнению, ничего общего не имела с практикой. Такое отношение к научной теории со стороны практиков проявлялось не только в науке об электричестве и не только во времена Хевисайда.

Хевисайд же считал, что ничего нет более ценного для практики, чем хорошая теория. И он был прав, а «практики» — неправы.

Таким образом, слова «практик», «практичный» в употреблении Хевисайда часто означали «воинствующий невежда». Например, в предисловии к первому тому своей книги «Электромагнитная теория» он пишет: «Думаю, что первая глава окажется легкой для чтения и, вероятно, сможет принести пользу тем, которые привыкли изображать себя практичными, выставляя напоказ свое непонимание истинной роли научных и математических методов исследования».

Но вернемся к судьбе книги «Работы по электричеству».

Сам Хевисайд, конечно, переживал, что большая часть тиража погибла. Уже значительно позднее, через семь лет, в 1899 г., он написал об этом во втором томе своей книги «Электромагнитная теория». В седьмой главе этого тома рассматриваются профили волн, идущих по линии. Хевисайд приводит несколько характерных графиков и замечает, что число приведенных графиков недостаточно и что какой-нибудь студент, обладающий терпением и трудолюбием, свойственными человечеству на ранней стадии развития, может этим заинтересоваться, провести подробные вычисления, составить таблицы и построить по несколько кривых для каждого случая. «Это дело, конечно, требует любви, — пишет он далее, — с одной стороны, если делать это тщательно, можно набрать материал на целую книгу; но, с другой стороны, это может не окупиться. И самые почтенные издатели не будут хранить книгу на складе, если она не окупается, пусть даже всеми признано, что это — ценный труд, сыгравший, может быть, немалую роль в создании других трудов, которые лучше продаются. Складские помещения слишком дороги»⁴⁶.

А еще позднее, в 1912 г. вышел в свет третий том книги Хевисайда «Электромагнитная теория». В ней Хевисайд снова возвращается к этой столь тяжелой для него истории. По ходу дела он дает ссылку на свою книгу «Работы по электричеству», обозначая книгу кратко: E1. Pa. И тут же поясняет:

«Для сведения неискушенных я должен объяснить, что E1. Pa. — это моя книга «Electrical papers». Эту книгу сейчас можно дешево купить, потому что остаток тиража был продан как бумага, по несколько пенсов за том, из-за недостатка складских помещений. Так что ищите на четырехпенсовых прилавках. Поначалу меня до некоторой степени огорчила такая судьба моей книги, стоившей мне большого и напряженного труда, но позднее это послужило мне и другим как повод для многих шуток». И далее Хевисайд отмечает, что первым человеком, который с юмором отнесся к действиям «этих лишенных юмора издателей», был Джордж Фрэнсис Фицджеральд.

То, что для Хевисайда было источником тяжелых переживаний, для издательской фирмы Макмиллан было, по-видимому, незначительным коммерческим просчетом.

Но из приведенных высказываний Хевисайда видно, что книга все же не погибла. Проданный издателями тираж попал к букинистам. Те оказались прозорливее, чем

издатели, и сохраняли книгу по меньшей мере в течение двадцати лет («Работы по электричеству» вышли в 1892 г., а упоминание Хевисайда о том, что их еще можно купить, относится к 1912 г.). Бетено сообщает¹⁴, что значительная часть тиража была перепродана торговцами редактору журнала «Electrician», который купленные книги перешел и переправил на продажу в Америку. Фамилию редактора Бетено не приводит. Вполне можно допустить, что этот редактор получил больше дохода от книги Хевисайда, чем сам Хевисайд.

Таким образом, слова Хевисайда о том, что его одушевляют главным образом филантропические мотивы, печальным образом оправдались в случае с его книгой «Electrical papers».

Когда читаешь книгу «Работы по электричеству», поражаешься двум ее особенностям. Первая особенность — это богатство идей и результатов. Эта книга не только отражала многообразие достижений автора, но и определила дальнейшее развитие многих областей электродинамики и, в частности, проводной связи. Это теперь общепризнано.

Пересказать содержание книг «Работы по электричеству» невозможно, их надо читать. Эти два тома среднего формата общим объемом 1150 страниц убористого шрифта представляет собой свод знаний по теории Максвелла. Хевисайд в этой книге рассматривает проблемы большой общности и наряду с этим очень много места уделяет вопросам, имеющим прикладное, практическое, инженерное значение, показывая, как общие законы проявляются в конкретных электрических цепях с конкретными соотношениями параметров. Целый ряд тонких вопросов, имеющих большое практическое значение, разобран в книге с большим искусством.

Мы уже упоминали о том, что в годы работы телеграфистом Хевисайд определял пропускную способность англо-датской телеграфной линии и что пропускная способность этой линии оказалась различной при передаче в противоположных направлениях. В первом томе сборника «Работы по электричеству» есть статья Хевисайда, где он объясняет это явление⁴⁷. Смысл объяснения заключается в том, что линия связи оказывается неоднородной. Например, в случае англо-датского кабеля линия состояла из наземной линии с английской стороны сопротивлением 240 Ом, затем шел подводный кабель сопротивлением 2500 Ом и емкостью 120 мкФ, а затем — наземная линия

с датской стороны сопротивлением 1250 Ом. Емкость наземных линий была мала и не учитывалась. Контур дополнялся на одном конце батареей с сопротивлением 150 Ом, а на другом — приемным аппаратом с сопротивлением 750 Ом. При изменении направления передачи батарея заменялась приемным аппаратом, а на другом конце линии вместо приемного аппарата включалась батарея. Такая замена приводит к тому, что прием и передача осуществляются фактически по двум разным линиям, с разным чередованием сопротивлений по длине линии. Он рассчитал время установления сигнала в этих двух линиях и получил согласие с опытом.

Мы упоминаем об этой работе не потому, что она более важна, чем другие, помещенные в сборник «Работы по электричеству». Расчеты в этой работе проводились в рамках теории Кельвина, без учета индуктивности и утечки. Следовательно, результаты справедливы лишь для «медленной» телеграфии. Позднее Хевисайд создал теорию, свободную от этого ограничения. Но эта статья, хотя она и не является важной в принципиальном отношении, подчеркивает внимание и интерес Хевисайда к конкретным инженерным вопросам. По-видимому, этот интерес, эта неистребимая «техническая жилка» и были причиной того, что Хевисайд получил массовое признание раньше всего среди инженеров.

Но книга «Работы по электричеству» интересна еще и тем, что она отражает неповторимую личность своего автора. В ней часто попадаются интереснейшие и остроумные замечания, связанные с предметом изложения, а иногда и не связанные. Вот пример. В статье «Энергия электрических токов» вводные замечания посвящены тому, каким путем строится физическая теория:

«Все дороги, как было сказано, ведут в Рим, точно так же можно сказать, что любая истина содержательна, и какой бы мы ни избрали для работы косвенный метод, мы получим одни и те же результаты в процессе работы или в конце, если мы действуем правильно и не предаемся необоснованным предположениям. Из группы экспериментальных фактов мы можем предугадать некоторое соотношение и, обобщая наблюдаемые частные случаи, сделать это соотношение законом, пока что эмпирическим законом, т. е. таким, который не может быть выведен из ранее известных законов, хотя, может быть, в дальнейшем это удастся сделать. Таким законом является закон тяготения. Хотя уже прошло много времени после его открытия,

он не имеет объяснения на основе более понятных законов»⁴⁸.

Упоминание закона тяготения в книге, которая называется «Работы по электричеству», — это не случайность. Хевисайд в течение всей своей научной жизни интересовался теорией тяготения, а в последние годы даже пытался получить законы тяготения из максвелловской электродинамики. Об этом еще будет сказано.

Вот еще одно рассуждение: о спекуляции и объяснении в физических вопросах. Под словом «спекуляция» здесь разумеется гипотеза, предположение, выдвигаемое для объяснения какого-либо явления или круга явлений.

Хевисайд ценил не только твердо установленные факты и закономерности. Он придавал большое значение научной гипотезе, предположению, научному высказыванию, которое еще предстоит проверить и вынести о нем свое суждение. Все такого рода предположительные высказывания Хевисайд называл словом «спекуляция». В русском языке слово «спекуляция» нередко употребляется в смысле «перепродажа с целью наживы». Английское слово «speculation» имеет и такой смысл, но гораздо чаще оно означает размышление, обдумывание, предположение, умозрительные построения. Именно в таком смысле это слово и употребляет Хевисайд. Мы приведем выдержку из его работы «Энергия электрических токов». В разделе XII этой работы Хевисайд, отступая от темы исследования, размышляет о том, каким путем достигается объяснение в физических вопросах. Речь идет о творческой силе человеческого разума, о применении этой силы к объяснению непонятных явлений.

Когда исследователь встречается с неизвестным до этого явлением, он начинает искать объяснение. Прежде всего можно попытаться объяснить новое явление с помощью уже известных законов. Если этого не удастся сделать, тогда необходимы какие-то новые предположения (т. е. спекуляции), выходящие за рамки известных законов. Эти предположения сопоставляются с опытом, и, если они не выдерживают такого сопоставления, нужно выдвинуть какие-то другие предположения (т. е. спекуляции) и опять подвергнуть их опытной проверке и так до тех пор, пока не будет найдено «правильное», отвечающее широкой совокупности опытов предположение. Оно и становится законом. Хевисайд рассуждает о том, чем отличается научная спекуляция от ненаучной:

«В человеческой природе заложена склонность к спекуляции: всегда будет существовать множество поводов для спекуляции, пока все не будет раскрыто, а этого не произойдет за предстоящие примерно несколько миллионов лет. Мы хотим знать причину вещей, почему происходят такие-то и такие-то вещи. Прежде всего нужно найти законы явлений. Это — работа для ученого и обычно трудная работа, требующая научной подготовки и размышления. Когда законы установлены, что требует весьма обширного знания фактов, ибо иначе законы можно и не усмотреть, — тогда мы можем выдвигать спекуляции о причинах, по которым эти законы справедливы. Или же, поскольку нередко было бы довольно утомительно ждать до тех пор, пока станут известны существенные факты, мы можем спекулировать о причинах явлений, ничего не зная об управляющих ими законах. Теперь этим может заниматься любой. Не то чтобы любой человек мог бы найти вероятные причины какого-либо явления, но любой человек может спекулировать. Чем больше у человека воображения, тем лучше для его спекулятивных способностей. Кроме того, если это человек не от науки, то ему нежелательно знать слишком много фактов, относящихся к делу, потому что факты очень трудно согласуются и сильно препятствуют свободным упражнениям в спекуляции.

...Но в руках философа (если не иметь в виду метафизиков, заслуживающих этот титул) с должным вниманием к фактам, расположенным в правильной последовательности, и особенно с должным вниманием к геометрическим и количественным соотношениям касательно пространства, времени, движения, энергии и т. д. спекуляция становится совсем не таким делом, как описано выше, и может с величайшей пользой служить для формирования гипотез, которые, хотя сами по себе и могут быть крайне невероятными, могут принести большую пользу для проверки наших представлений, не только объединяя факты, но и определяя направление исследований и тем прокладывая путь к более верной теории. Воображения нужно не меньше, чем ранее, но оно должно руководствоваться сильным разумом и пониманием.

Примерам полезных научных спекуляций нет числа. Обычно их для важности называют теориями, в результате непосвященные ценят их выше, чем они того стоят.

...Несомненно, если бы исследователь, рассуждая, например, о природе магнетизма, говорил бы «моя гипотеза» или «моя спекуляция» вместо обычных слов «моя теория»,

это нанесло бы заметный урон его достоинству. Ибо очень хорошо известно, что достоинство или его видимость производят сильное впечатление на всех, кроме тех, кто берет на себя труд заглянуть в глубину. Вот почему лорд-мэры носят мантию и цепь, а судьи надевают парики из конских волос»⁴⁰.

Как всегда у Хевисайда, серьезные мысли в этом отрывке перемежаются шуткой (иногда горькой), но все же видно, что Хевисайд высоко ценил конструктивную роль научной спекуляции. Если читателю не нравится слово «спекуляция», то наверное можно сказать иначе, не употребляя этого слова. Хевисайд высоко ценил творческую роль человеческого разума в деле формирования научных понятий и представлений, открытия новых физических законов, создания новых физических теорий. Приведенные слова Хевисайда очень близки, если не по форме, то по существу, к высказываниям на эту тему, которые были сделаны значительно позднее Альбертом Эйнштейном.

В научном отношении выход книги «Electrical papers» подводил итоги большого этапа в жизни Хевисайда. Это был также большой этап в развитии электродинамики, теория электромагнитных явлений превратилась из абстрактной и неясной схемы в действенный инструмент для исследования электромагнитных явлений, стала вычислительной основой для расчета установок и приборов. Миссионерская деятельность Хевисайда сделала максвелловскую электродинамику (с теми изменениями и дополнениями, которые внес Хевисайд) основой для рассмотрения всех электромагнитных явлений. Немало ученых еще тогда, в год выхода книги, оценили это должным образом. Джордж Фрэнсис Фицджеральд поместил в журнале «Electrician» рецензию на книгу Хевисайда. Эта рецензия представляет интерес, поскольку в ней отражена точка зрения современника. Время обычно многое проясняет и, оглядываясь назад, легче дать оценку. Оценить событие «по горячим следам» гораздо сложнее. Рецензия Фицджеральда на книгу Хевисайда замечательна в том отношении, что, читая ее сейчас, через девяносто лет после того, как она написана, и зная то, чего Фицджеральд не знал, мы соглашаемся с его оценкой.

Фицджеральд пишет: «Эти тома содержат главным образом перепечатку работ, опубликованных в журналах «Electrician» и «Philosophical Magazine», а также и других работ, выполненных между 1872 и 1892 гг. В предисловии мистер Хевисайд приносит извинения за их публикацию,

извинения, в которых нет никакой необходимости. Научное, практическое и историческое значение этих работ слишком велико для того, чтобы они остались погребенными и разбросанными в научной периодике. В частности, самой большой похвалы заслуживают редакторы журнала «Electrician», сделавшие важное общественное дело, публикуя столь длинную серию статей, интересных лишь для незначительного меньшинства читателей, но имеющих столь большое принципиальное значение, потому что эти статьи были пионерскими в изучаемых вопросах.

Эти статьи имеют большую научную ценность, потому что они содержат последовательный и основательный метод рассмотрения электромагнитных задач, находясь в созвучии с теорией Максвелла и развивая ее, а также потому, что они содержат очень важные научные результаты, выведенные этим методом из этой теории. Статьи имеют большую практическую ценность, потому что они дают обоснованную теорию телеграфа и телефона и других вопросов, таких, как индуктивные мостики. Эта практическая ценность уже привела к тому, что проф. С. П. Томпсон получил патент на увеличение индуктивности телеграфных проводов [Вот еще одно доказательство филантропической деятельности Хевисайда.— *Б. Б.*], она заключается также в том, что, по единодушному мнению, результаты Хевисайда могут повести к коренному улучшению в телеграфии и телефонии и даже могут сделать возможной телефонную связь через Атлантику. Статьи имеют ценность и в историческом отношении, так как они представляют собой интереснейший отчет о развитии, методах и о научных взглядах на природу выдающегося, острого и блестящего ума.

Многие жалуются на то, что Броунинг непостижим. Некоторые говорят, что он пишет чепуху. Его почитатели поклоняются ему. Недостатки Оливера Хевисайда состоят в крайней сосредоточенности мышления и в том, что он с легкостью вводит в обращение технические термины и выражения, которые крайне загадочны для читателя его книги. Настолько загадочны, что, по-видимому, мало надежды имеется на то, что он когда-нибудь обретет ясность, которая есть у некоторых писателей, и напишет книгу, легкую для чтения. В своих самых добросовестных попытках быть элементарным, он перескакивает через высокие двойные барьеры и вводит сокращенные выражения, которые являются прискорбными камнями преткновения для медленного ума среднего человека, рассуждаю-

щего о понятиях, с которыми он (средний человек) не очень хорошо знаком. С этим сочетается восхитительная свежесть пояснений и сила выражений, благодаря чему некоторые части его книги читаются с живым интересом. Например, о природе вещества он говорит: «Даже если мы сведем все вещество к одному виду, этот вид будет требовать объяснения. И так далее, по мере все более глубокого проникновения в колодец, на дне которого лежит истина. И даже не добраться до нее. Потому что колодец бездонный». Эти личные свойства стиля в большой степени увеличивают ценность изданной перепечатки»⁵⁰.

В приведенном отрывке из рецензии Фицджеральда на книгу Хевисайда «Работы по электричеству» содержатся не одни только похвалы. Фицджеральд встает на точку зрения среднего человека, он сетует на трудность чтения, на обилие новых терминов, введенных Хевисайдом и непонятных среднему читателю. По поводу новых терминов, вводимых Хевисайдом, другие рецензенты выражались еще гораздо более резко. Один из критиков назвал Хевисайда гениальным изобретателем новых терминов.

Действительно, Хевисайд ввел в электродинамику много новых слов. О двух из них — «индуктивность» и «утечка» — мы уже говорили. Он ввел также слова: «distortion» — искажение (сигнала), «impedance» — импеданс, аналог сопротивления в случае переменного тока, «electret» — электрет (по аналогии с магнитом) — тело, сохраняющее постоянный электрический момент, и т. д. Не все из введенных им терминов сохранились в современной электродинамике, но многие (и, в частности, те, которые мы привели здесь) сохранились, стали общеупотребительными, и без них теперь немислим словарь электродинамики и электротехники. Но дело, в конечном счете, не в словах. Дело в том, что развитие максвелловской теории электричества потребовало создания новых понятий, которым не было места в старой теории, и одновременного отказа от старых понятий, которые уже стали бесплодными. Например, согласно старым воззрениям, электрический ток рассматривался как течение электрической жидкости вдоль проводника. Что реально скрывалось за понятием электрической жидкости, было тогда неясно. Новая теория отказалась от понятия электрической жидкости, вместе с отброшенным понятием исчезли и слова «электрическая жидкость». Точно так же и введение новых слов, новых терминов было не самоцелью, оно сопровождало введение новых понятий. Изучая прохождения сигнала по

телеграфной линии, Хевисайд ввел два новых слова — «индуктивность» и «утечка». Но на самом деле он учел два важных свойства линии, которые ранее не учитывались и которые очень существенно влияли на качество связи. Новые слова отражали введение новых понятий.

Фицджеральд отнесся сдержанно к ряду нововведений Хевисайда. Так, он считал непринципиальным переход Хевисайда к новой системе единиц. Новые единицы измерения полей заряда и тока, введенные Хевисайдом, привели к некоторому упрощению уравнений Максвелла. Однако это упрощение не является принципиальным достижением. Точно так же Фицджеральд не считал принципиальным делом введение векторных обозначений и использование векторного анализа, хотя и не утверждал, что векторное исчисление хуже кватернионного.

Основную ценность книги «Работы по электричеству» Фицджеральд видел в том, что Хевисайд внес существенный вклад в развитие максвелловской электродинамики:

«Максвелл, как и всякий другой первопроходец, который не живет для того, чтобы разрабатывать открытую им страну, не имел времени для того, чтобы разработать прямые пути доступа в эту страну или наиболее систематический способ исследования. Это было оставлено на долю Хевисайда. Трактат Максвелла загроможден следами его блестящих путей продвижения, обломками его укрепленных лагерей, следами его битв. Оливер Хевисайд убрал все эти обломки, открыл прямой путь, провел широкую дорогу и разработал значительную область страны».

Фицджеральд здесь сравнивает научные открытия с географическими, с поисками неведомых земель и с их последующим освоением. Эта аналогия очень распространена. Хевисайд, размышляя о стратегии исследования, тоже употреблял эту географическую аналогию.

Существо приведенного высказывания не вызывает сомнений. Хевисайд далеко продвинул как прояснение физических идей, на которых была построена теория Максвелла, так и развитие ее математического аппарата, и Фицджеральд это подчеркивал. Он писал:

«С того времени, как начал писать Хевисайд, состояние всей проблемы электромагнетизма изменилось благодаря его трудам. Теперь уже ни одно введение в этот вопрос не будет законченным, если в нем основные воззрения не будут близки к тем, которые высказал Хевисайд».

В своей рецензии Фицджеральд коснулся и спора между Хевисайдом и Присом: «В согласии с предсказаниями

мистера Хевисайда телефонная связь в последние годы настолько далеко шагнула за те рамки, которые еще несколько лет назад считались ее пределами, что она, как это признано, требует уточненной теории. Если свойства линии нужно определять экспериментально после того, как она проложена [а так именно и обстояло дело до появления теории Хевисайда. — *Б. Б.*], то нужно признать, что теория тех, кто не в состоянии предсказать поведение линии, является неполной.

По практически единодушному мнению экспертов и по успеху своих предсказаний, Хевисайд является тем авторитетом, от которого идет поправленная теория и у кого следует просить совета всем тем, кто хочет улучшить передачу сигналов по телеграфу. В этих вопросах он является наилучшим экспертом, и достойно всяческого сожаления то, что научные эксперты у нас так высоко оплачиваются за советы в судебных делах и столь редко оплачиваются за советы в практической работе. Однако телеграфный департамент показал, что он стремится улучшить средства связи путем приложения новейших научных идей. Представляется невероятным, что какие-то личные трения смогли бы остановить использование тех достижений, которые Королевское общество увенчало избранием Хевисайда в число своих членов»⁵⁰.

Весь этот последний отрывок из рецензии Фицджеральда имел целью оказать поддержку Хевисайду в его споре с Присом. Вряд ли Фицджеральд серьезно надеялся, что Прис привлечет Хевисайда в качестве консультанта к работе по усовершенствованию телефонной и телеграфной связи. Прис, конечно, этого и не сделал. Но, во всяком случае, для Хевисайда было радостью получить поддержку со стороны авторитетного ученого, научным мнением которого Хевисайд дорожил и к которому чисто по-человечески был очень расположен.

Глава седьмая

Живя в Пэйнтоне, Оливер много и плодотворно работал. Его научная репутация среди выдающихся исследователей электричества была очень высока, хотя с чисто человеческой точки зрения некоторые из них и считали его сварливым чудаком. Может быть, такое мнение о Хевисайде служит объяснением того факта, что мало людей

посещали его домик в Пэйнтоне. Регулярно приезжал к нему, пожалуй, только доктор Сил. Но очень многие известные физики вели с Хевисайдом регулярную переписку, обсуждая интересовавшие их вопросы. Хевисайд отвечал на письма охотно и безотказно. Среди его корреспондентов были не только теоретики — Рэлей, Кельвин, Фицджеральд, доктор Сил и другие, но и выдающиеся представители экспериментальной физики, в первую очередь Генрих Герц, известный исследователь электричества Юз и другие. Были среди его корреспондентов и такие физики, которые много сделали для технических применений электричества в промышленности и на транспорте. Среди них следует упомянуть двух человек. Это — профессор Уильям Эдвард Айртон и профессор Джон Перри. Оба они пользовались авторитетом в научных кругах, оба были признанными консультантами промышленных фирм, когда возникали проблемы, связанные с применением науки к инженерному делу. Наконец, оба они вели большую общественную работу (Айртон, а затем и Перри избирались на пост президента Института инженеров-электриков, Айртон был в 1890—1892 гг. президентом Физического общества, Перри был президентом Лондонского физического общества, они занимали также и другие выборные должности). Долгое время Айртон и Перри вели научно-исследовательскую работу в тесном сотрудничестве друг с другом. В частности, они разработали систему скользящих контактов для электрических железных дорог, а также ряд портативных электроизмерительных приборов. Это были ученые с инженерной жилкой, интересовавшиеся техническими приложениями. Айртон также был зачинателем и организатором технического образования, при его активном участии создавалась система подготовки квалифицированных инженеров. Профессор Джон Перри также уделял много внимания вопросам образования. Он считал, что науке в Британии должно уделяться больше внимания. Среди написанных им книг есть книга, озаглавленная «Пренебрежение к науке в Англии» («England's Neglect of Science», 1901).

Айртон и Перри были учеными с явным практическим уклоном. Но они имели и солидную теоретическую подготовку — оба были учениками Кельвина, а затем и его ассистентами. Они в полной мере оценили важность работ Хевисайда. В частности, профессор Перри первый ввел в курс математики, который он читал для инженеров, элементы операционного исчисления Хевисайда,

Джон Перри очень высоко отзывался о Хевисайде, хотя и не все понимал в его работах. Он писал:

«Я ставлю Хевисайда рядом с этими двумя людьми (Кельвином и Фицджеральдом), но я никогда и не претендовал на то, чтобы суметь прочесть Хевисайда. Я бы очень этого хотел, как и множество людей вроде меня. Кому-то надо переписать Хевисайда на нашем уровне»¹².

Столь же высокого мнения о Хевисайде придерживался и Айртон. Сохранилось письмо Айртона к Хевисайду, написанное в ноябре 1890 г. Айртон пишет, что в конце месяца в Лондон приедет Генрих Герц. В тот год Айртон был президентом Физического общества. В своем письме Айртон приглашает Хевисайда в Лондон, к себе в дом, где гостем будет и Герц. Айртон пишет, что Герц будет рад встрече с Хевисайдом, а он, Айртон, будет счастлив видеть у себя таких гостей¹². Хевисайд вел с Герцем оживленную переписку, был о нем очень высокого мнения, но — удивительное дело — возможность познакомиться с Герцем лично, а не по переписке, оставила его равнодушным. Он не поехал в Лондон. Впрочем, так ли это удивительно? Хевисайд и до этого был отшельником.

Мы упоминаем здесь об Айртоне и Перри по двум причинам. Во-первых, они высоко ценили Хевисайда, обращались к нему за советом, если возникали трудности при рассмотрении научных проблем, выступали в защиту Хевисайда на научных дискуссиях. Во-вторых, они пытались облегчить трудное материальное положение Хевисайда (об этом будет сказано ниже). В-третьих, отношение Айртона и Перри к Хевисайду как ученому, к его деятельности тем более заслуживает упоминания, что они ведь не были специалистами в области теоретической физики, не все понимали из того, что публиковал Хевисайд. Но они прекрасно понимали важность той работы, которую вел Хевисайд, с ясностью отдавали себе отчет в том, что его теоретические исследования имеют неопределимое значение в первую очередь для инженерной практики.

Слова Перри о том, что кому-то надо переписать Хевисайда на более доступном уровне, отражали мнение многих физиков. Кое-кто считал, что понятнее всего изложить работы Хевисайда может сам Хевисайд. Возможно, именно по этой причине издательская компания «Electrician» (та самая компания, которая издавала журнал «Electrician») заключила с Хевисайдом договор на издание книги «Электромагнитная теория». По-видимому, замысел издателей состоял в том, чтобы издать последо-

вательное и систематическое изложение теории электромагнитного поля, и чтобы его написал человек, который внес в электромагнитную теорию наибольший вклад после Максвелла. Конечно, были надежды на то, что книгу смогут прочесть и понять те, для кого оказались слишком трудными работы Хевисайда, собранные в двухтомнике «Работы по электричеству». Надежды эти оправдались лишь частично.

Первый том «Электромагнитной теории» вышел из печати в конце 1893 г. (предисловие датировано 16 декабря).

В книге были помещены статьи, опубликованные Хевисайдом с 1891 по 1893 г. Но эти статьи составляли только часть тома, его скелет, если можно так сказать. Тексты статей перемежались материалом, специально написанным Хевисайдом для книги, в соотношении примерно один к двум, т. е. ранее опубликованные статьи составляли примерно третью часть тома, а добавления к ним — две трети. Книга, действительно, получилась подробной и систематической, но вряд ли ее можно было назвать общедоступной. Для того чтобы усвоить ее содержание, нужно было немало потрудиться. Хевисайд был великим ученым, он также думал и высказывался о проблемах обучения, но педагогом он все-таки не был.

Всего вышло три тома книги «Электромагнитная теория». Издание растянулось на много лет: первый том вышел из печати в 1893 г., второй — в 1899 г., а третий том — в 1912 г. Есть сведения, что в последние годы жизни (он умер в 1925 г.) Хевисайд подготовил к печати четвертый том книги «Электромагнитная теория». Видели рукопись этого тома, начисто переписанную Хевисайдом для отправки в издательство. Но рукопись эта бесследно пропала, и можно только строить догадки о содержании четвертого тома электромагнитной теории. Об этом мы еще расскажем позднее.

Когда знакомишься с книгой «Электромагнитная теория», возникает впечатление, что это не учебник, не традиционная научная монография, а, скорее, рабочий дневник Хевисайда. Это впечатление возникает уже тогда, когда знакомишься с оглавлением книги, помещенным сразу же после предисловия. Содержание тома поделено на 222 раздела. Каждый раздел, как правило, имеет заглавие, иногда несколько разделов имеют одно заглавие. Если содержание раздела опубликовано, то в оглавлении после номера раздела и перед его названием помещается дата публикации, заключенная в квадратные скобки. Например,

«1—7 [2 января, 1891] Предварительные замечания» или

«97 [13 ноября, 1891] Скаляры и векторы»

Это означает, что содержание разделов с 1 по 7 опубликовано 2 января 1891 г., а содержание раздела 97 опубликовано 13 ноября того же года. Как правило, статьи публиковались в журнале «Electrician».

В расположении статей выдержан хронологический порядок. Как уже говорилось, разделы, содержание которых ранее было опубликовано, перемежаются с разделами, впервые напечатанными в книге. По-видимому, эти не опубликованные ранее разделы были специально написаны для книги «Электромагнитная теория», этим объясняется гораздо большее единство книги по сравнению со сборником «Работы по электричеству». Но, с другой стороны, в идейном отношении сборник богаче книги. Многие физические идеи, которые впервые были высказаны в работах Хевисайда, составляющих сборник «Работы по электричеству», поясняются и развиваются на страницах «Электромагнитная теория».

В первый том «Электромагнитной теории» вошли работы, опубликованные с января 1891 г. по ноябрь 1893 г.

Книга начинается рассуждениями о роли математики и теоретической физики в естественных науках. Здесь Хевисайд продолжает борьбу со своими противниками, которые утверждали, что математический подход ничего прояснить не может, а только может затемнить понимание. Он спорит с такими людьми и высмеивает их (не называя по имени). Он, в частности, пишет, имея в виду обнаруженное им явление скин-эффекта:

«С помощью математического подхода было открыто, что, когда электрический ток начинает течь по проволоке, он возникает исключительно на поверхности провода, даже на наружной поверхности, и что, следовательно, быстрые колебания тока под действием внешней силы происходят вблизи от поверхности провода и не проникают заметным образом в глубину.

Очень немногие из тех электриков, кто обходится без математики, в состоянии понять этот факт, а возможно, и никто из них его не понимает. Многие из них не только не понимают этот факт, но и не верят в него. Я думаю, что даже те многие, которые верят в это, поступают так просто потому, что им так сказали, а не потому, что они хоть в малой степени чувствуют справедливость этого утверждения, исходя из своих собственных знаний. Как

сказал один известный практик после долгого сомнения: «Если сэр У. Томсон это утверждает, кто может в этом сомневаться?» Какой кладезь премудрости заложен в этом замечании!»⁵¹

Обращаясь затем к теории Максвелла, Хевисайд отмечает, что эта теория долгое время всеми рассматривалась как спекуляция. В течение многих лет почти полностью отсутствовал интерес к тем разделам теории Максвелла, которые не были подтверждены экспериментами. Профессор Фицджеральд был самым выдающимся из очень немногих исследователей, который твердо верил в электромагнитную теорию (Хевисайд пишет: «в электромагнитную теорию эфира»). Он интересовался природой расходящихся электромагнитных волн, рассматривал способы их получения и определял потери энергии на излучение. Важный шаг был затем сделан Пойнтингом, установившим формулу для потока энергии. Но теория все еще не имела экспериментального подтверждения. Три года назад электромагнитных волн не было нигде. Теперь они есть повсюду (несколько раньше Хевисайд высказался более ядовито: «...не так давно электромагнитных волн нигде не было, а теперь они есть повсюду, даже в почтовом ведомстве»⁵²). Это произошло благодаря открытию, сделанному Герцем в Карлсруэ. Аналогичные в некоторых отношениях исследования были проведены Лоджем в Англии. Эти исследования, за которыми последовали многие другие (Хевисайд упоминает Фицджеральда, Трутона, Дж. Дж. Томсона и др.), окончательно похоронили электродинамические спекуляции, выдвигавшиеся в разное время и разными исследователями от Вебера до Клаузиуса, а максвелловская теория получила экспериментальное обоснование. Теперь теоретик может писать об электромагнитных волнах, не опасаясь обвинения в том, что он занимается всего лишь бумажной теорией.

И дальше во введении к первому тому «Электромагнитной теории» следуют слова, которые мы здесь приведем целиком, так как они очень существенны, — они свидетельствуют о подходе Хевисайда к теории Максвелла. Восхищение этой теорией Хевисайд выражал неоднократно и по многим поводам. Один раз он назвал Максвелла «посланный небом Максвелл» («heaven-sent Maxwell»). Но теорию Максвелла Хевисайд все же не считал окончательной. Вот его слова:

«Ни в коем случае не следует думать, что Максвелл — это последнее слово. Последнего слова не существует.

Нельзя даже точно утверждать, что волны Герца полностью доказывают максвелловскую диэлектрическую теорию. В самом деле, эти наблюдения были довольно грубыми, если их сравнивать с тонкими измерениями в других разделах электрической науки. Доказана важная вещь — что электромагнитные волны в эфире, по крайней мере в приблизительном согласии с теорией Максвелла, представляют собой реальность и что метод Фарадея—Максвелла является правильным. Другой вид электродинамической спекуляции полностью выходит из игры. Будет еще множество возможностей для дальнейшей теоретической спекуляции, но она будет действительно полезной лишь в том случае, если будет максвелловского типа»⁵³.

Теперь мы знаем, что классическая максвелловская электродинамика там, где она применима, дает не только правильное по существу, но и математически точное описание электромагнитных явлений. Опасения Хевисайда относительно точности описания электромагнитных явлений с помощью максвелловской электродинамики — эти опасения оказались напрасными. Математический аппарат электродинамики — это надежная вычислительная основа для расчета приборов и установок и для описания электрических и магнитных явлений. Предсказание же Хевисайда о том, что схема Максвелла есть основа для дальнейшего развития электродинамики, полностью подтвердилось. Можно сказать даже больше. Уравнения Максвелла, а точнее, теория Максвелла явилась исторически первой полевой теорией, а электромагнитное поле — первым примером физического поля. Развитие максвелловской электродинамики стимулировало возникновение специальной теории относительности, а затем и целого ряда полевых теорий, т. е. таких теорий, где объектом изучения является физическое поле — гравитационное, поле ядерных сил, поле бета-сил (т. е. сил, вызывающих бета-распад ядер) и целый ряд других полей.

Содержание первого тома «Электромагнитной теории» можно разбить на три больших раздела. Первый раздел содержит определение и анализ основных понятий и величин, входящих в теорию электромагнитного поля, а также математическую запись соотношений между этими величинами. По существу, это изложение теории Максвелла с учетом ее развития как самим Хевисайдом, так и другими. Изложение не является систематическим, рассматриваются далеко не все вопросы теории электричества. В частности, совсем не рассматриваются статиче-

ские поля. В основном внимание уделяется вопросам генерации и распространения электромагнитных волн. В частности, рассматривается излучение заряженной частицы, возникающее при резкой остановке или при резком старте. При этом скорость движения частицы до остановки или после старта считается равной скорости света в той среде, где происходит движение. Почему было сделано такое предположение — неясно. Возможно, что Хевисайд хотел найти излучение, возникающее при распространении импульса тока вдоль провода конечной длины. В этом случае излучение заряда при резком старте или при резкой остановке как-то моделирует излучение провода (ведь ток, дойдя до конца провода, дальше не может распространяться). В хорошо проводящем проводе скорость импульса тока близка к скорости света. Задачи такого типа давали какое-то представление об излучении передающей антенны. Может быть, именно поэтому Хевисайд их и рассматривал.

Сразу же после того, как Герц обнаружил на опыте электромагнитные волны, возникла возможность передавать сигналы без проводов, с помощью излучаемых в пространство электромагнитных волн. Эта идея привела к возникновению радиосвязи, или, как ее называли вначале, беспроволочной телеграфии. Задачи, рассмотренные Хевисайдом, имели отношение к этой проблеме.

Среди рассмотренных задач этого типа есть одна, которая очень интересна теперь, спустя 90 лет после того, как она впервые была рассмотрена. Хевисайд рассмотрел излучение двух равных по величине и противоположных по знаку электрических зарядов, разлетающихся из одной точки в противоположных направлениях. Задача ставилась так: два точечных заряда первоначально находятся в покое и расположены очень близко друг от друга. Поскольку заряды равны по величине и противоположны по знаку, поля этих зарядов взаимно гасятся, поэтому в окружающем пространстве поле равно нулю (будем для простоты считать, что оба заряда расположены настолько близко, что гасят друг друга). Пусть теперь в некоторый начальный момент заряды начинают разлетаться из общей точки, сразу с постоянной скоростью. Они как бы выбрасываются из общей точки, где первоначально находились, и затем разлетаются с постоянными скоростями. Хевисайд рассмотрел случай, когда скорости зарядов противоположны по направлению, а по величине совпадают и равны скорости света в той среде, где происходит разлет.

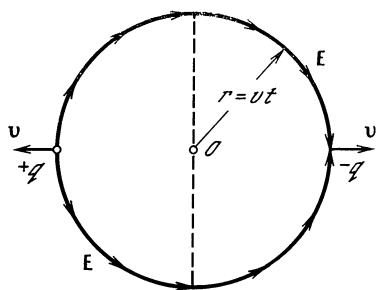


Рис. 11

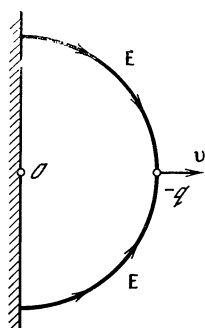


Рис. 12

При этом, как показал Хевисайд, образуется сферическая электромагнитная волна, расходящаяся из точки, где первоначально находились оба заряда. Поле излучения отлично от нуля на сферической оболочке, радиус которой растет «со скоростью света». Поскольку скорость разлетающихся зарядов равна скорости света, то они все время находятся на этой расширяющейся сферической оболочке. Если изобразить графически электрическое поле, возникающее при разлете, то картина будет такой (рис. 11).

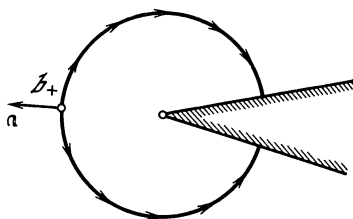


Рис. 13

На рисунке буквой O обозначена точка, где первоначально находились оба заряда. При разлете заряд $+q$ начал двигаться влево со скоростью света (величина скорости света обозначена через v), а заряд $-q$ начал двигаться вправо с той же скоростью. Электрическое поле E существует только на сферической оболочке, радиус которой r растет со скоростью света ($r = vt$). Оба заряда также находятся на этой расширяющейся оболочке. Направление электрического поля показано стрелками. Если принять точки, где находятся заряды, за полюса сферы, то электрическое поле направлено по меридианам от положительного заряда к отрицательному. Магнитное поле на рисунке не изображено, оно направлено по широтным кругам сферы.

Расширяющаяся сферическая оболочка — это и есть

волна излучения, возникающего при разлете двух зарядов. И внутри и вне оболочки поле равно нулю⁵⁴.

Проведем теперь через точку O плоскость, перпендикулярную линии разлета зарядов (на рисунке эта плоскость изображена пунктиром). Электрическое поле вблизи от этой плоскости будет всегда перпендикулярно к ней. Допустим, что эта плоскость есть тонкий слой хорошо проводящего металла. Электрическое поле не будет вызывать никаких токов на этой плоскости. Следовательно, поле при наличии плоскости остается таким же, каким оно было до внесения плоскости. Можно внести в поле не плоскость, а массивный кусок металла с плоской границей, расположив границу так, как ранее была расположена плоскость. Пусть, например, металл заполняет пространство слева от пунктирной линии. Тогда поле справа будет такое же, каким оно было в отсутствие металла. Поле слева от границы в этом случае будет равно нулю.

Картина поля при наличии металла изображена на рис. 12. Считается, что металл заполняет левое полупространство. Изображенная картина поля описывает излучение, возникающее при вылете заряда из металла. Заряд вылетает с поверхности металла в точке O и далее движется перпендикулярно поверхности со скоростью v , равной скорости света. Заряд противоположного знака и равной величины оказывается распределенным на границе раздела, а точнее говоря, этот заряд распределен на окружности с центром в точке O и с радиусом, равным радиусу расширяющейся сферической оболочки. Эта окружность представляет собой экватор сферической волны излучения, расходящейся от точки вылета.

Этот пример, рассмотренный Хевисайдом⁵⁵, интересен в том отношении, что является, по-видимому, первым примером так называемого переходного излучения. Теория «переходного излучения» была создана в 1945 г. В. Л. Гинзбургом и И. М. Франком⁵⁶. Они рассмотрели поле точечного заряда, который, двигаясь с постоянной скоростью, пересекает границу раздела двух сред. Рассмотрение Гинзбурга и Франка обладало большой общностью. Среды по обе стороны границы раздела имели разные оптические свойства (разные значения показателя преломления). Заряд, двигаясь равномерно, подлетал по нормали к границе раздела из первой среды, пересекал границу и уходил от границы, двигаясь уже во второй среде. В такой постановке удается точно вычислить электромагнитное поле. Оказалось, что переход заряда из одной

среды в другую сопровождается излучением волны, которая расходится во все стороны от точки перехода (т. е. от точки, в которой заряд пересекает границу раздела).

Работа В. Л. Гинзбурга и И. М. Франка положила начало подробному исследованию переходного излучения. В настоящее время число опубликованных по этой теме работ подходит к тысяче.

Хевисайд рассмотрел очень частный пример. Он предполагал, что одна из сред является идеально проводящей, что в обеих средах отсутствует дисперсия, что заряд движется со скоростью, равной скорости света в той среде, куда он влетает. Кроме того, его рассмотрение было чисто качественным. Он не выводил формул, а обсуждал такие физические особенности явления, которые могут быть выяснены без вычислений. И все же его обсуждение показывает, что очень многие черты переходного излучения на его простой и очень частной модели могут быть качественно поняты.

Качественное рассмотрение, проведенное Хевисайдом, показывает, что переходное излучение может быть просто исследовано и для некоторых случаев, когда граница раздела не является плоской. В частности, он рассмотрел случай, когда металл заполняет внутреннюю часть кругового конуса (рис. 13). Заряд вылетает из вершины конуса и движется вдоль оси со скоростью света. При этом возникает сферическая волна, расходящаяся от вершины конуса. Заряд все время движется вместе с волной излучения. Картина электрического поля такова, что вблизи от поверхности конуса электрическое поле перпендикулярно поверхности и остается таким при разбегании волны.

Мы привели лишь одну из многих проблем, рассмотренных Хевисайдом в первой главе первого тома «Электромагнитной теории». Эта глава содержит на своих 130 страницах обсуждение многих вопросов, но мы здесь лишены возможности упомянуть о них хотя бы кратко.

Вторая глава содержит систематическое изложение векторной алгебры и векторного анализа. Изложение необходимых сведений по векторному исчислению содержится и в более ранних работах Хевисайда, опубликованных в начале 80-х годов прошлого столетия, за много лет до того, как вышел первый том «Электромагнитной теории» (а вышел он в конце 1893 г.). Параллельно с Хевисайдом и примерно в те же годы пропагандой и развитием векторного исчисления занимался профессор Йельского университета Джозайя Уиллард Гиббс. В 1881—1884 гг. он

подготовил для студентов курс лекций по векторному анализу. Курс этот не был опубликован. Но в 1888 г. Хевисайд получил экземпляр лекций Гиббса. Он тогда же отправил Гиббсу письмо, в котором выразил удовлетворение этими лекциями. Значительно позднее Хевисайд писал:

«... Пытаясь приспособить кватернионную технику для развития физической теории, я обнаружил, что эта техника очень неудобна. Она была в своей векторной части антифизической и неестественной и не гармонировала с привычной скалярной математикой. Поэтому я совершенно оставил кватернионы и перешел к чистым скалярам и векторам, используя в своих работах, начиная с 1883 г., очень простую векторную алгебру. Статья, помещенная в начале второго тома «Работ по электричеству», может считаться некоторым итогом развития. Более ранняя работа была в основном связана с векторным оператором дифференцирования ∇ и с его приложениями, а также с физическим смыслом различных действий. До 1888 г. я воображал, что я — единственный, кто развивает векторное исчисление на основе положительных физических принципов. Но затем я получил экземпляр лекций профессора Гиббса по векторному анализу (не опубликовано, 1881—1884). Это было похоже на сжатый конспект трактата. Несмотря на внешние различия, это были, по существу, те же самые векторная алгебра и анализ, к которым пришел и я. То есть это была чистая векторная алгебра, а метод рассматривания ∇ в операциях вычисления потенциала, дивергенции, ротора и градиента был практически таким же. Обозначения профессора Гиббса нравились мне не в такой мере, как мои собственные, поэтому я не посчитал желательным что-либо менять и пошел старой дорогой. Моя глава по векторной алгебре и векторному анализу в первом томе «Электромагнитной теории» была написана для того, чтобы дать необходимые сведения, но специально для моих читателей. Если ее рассматривать как руководство, то как руководство за неимением других руководств»⁵⁷.

Хевисайд считал, что конспект лекций Гиббса по векторному исчислению труден для неподготовленного читателя. Поэтому он писал главу по векторной алгебре и анализу в первом томе своей «Электромагнитной теории», имея в виду дать введение в этот вопрос, более подробное и более доступное для неподготовленного читателя.

Глава по векторному анализу в первом томе электромагнитной теории занимает 170 страниц. Она содержит

подробное изложение алгебраических, дифференциальных и интегральных операций над векторами. Это изложение сопровождается множеством примеров, иллюстрирующих приложения векторного исчисления к физическим вопросам. Во многих отношениях эта часть книги и теперь может служить учебным пособием. Надо еще добавить к этому, что векторное исчисление и векторный анализ в изложении Хевисайда — это не раздел чистой математики, это, скорее, «физическая математика», если воспользоваться его же собственным выражением. В главе содержится множество примеров, иллюстрирующих полезность векторного исчисления при рассмотрении физических задач.

В конце главы Хевисайд выразил надежду на то, что со временем появятся учебники векторного исчисления для физиков, «основанные на векторном рассмотрении векторов», т. е. на рассмотрении вектора как самостоятельного объекта, не связанного с кватернионным исчислением.

Надежды Хевисайда осуществились, но не скоро и не в полной мере. Через десять лет после того, как вышел из печати первый том «Электромагнитной теории» Хевисайда, появился учебник по векторному исчислению, написанный Е. Б. Уилсоном. Этот учебник имел своей основой не главу по векторному исчислению из «Электромагнитной теории», а конспект лекций Гиббса. В небольшом числе мест изложение Уилсона следовало Хевисайду, в основном же это было развитие лекций Гиббса.

Хевисайд высоко оценил эту книгу. Он писал: «Я думаю, что доктор Уилсон сделал свое дело исключительно хорошо и выпустил книгу, которая будет полезна для изучающих физическую математику. В ней много достоинств и мало недостатков. Но ввиду нехватки места я оставляю похвалы и сосредоточусь на критических замечаниях. По-видимому, для дальнейшего это будет более полезно»⁵⁸.

Замечаний Хевисайд сделал немного, но они характерны для его подхода и, кроме того, высказаны в яркой и необычной форме, как почти все, что говорил Хевисайд. Одно из замечаний относится к вопросу о сложении разнородных величин:

«Я думаю, что замечание доктора Уилсона на стр. 13 о невозможности сложения скаляра и вектора может быть неправильно понято начинающими студентами. На самом деле вполне допустимо складывать друг с другом все виды разных величин. Это делают все. Моя прачка всегда

так делает. Она складывает и вычитает самые разные вещи, а также совершает над ними различные операции (включая линейные), а в конце недели эта бедная невежественная женщина с помощью многозначной алгебры составляет уравнение, приравнявая сумму некоторого количества разных вещей, полученных и сложенных в корзину в начале недели, тому количеству вещей, которое она складывает в корзину в конце недели. Иногда она ошибается, производя свои операции. Математики тоже ошибаются. Я думаю, что доктору Уилсону следовало объяснить суть дела так: если

$$A_1 + B_1 + C_1 + \dots = A_2 + B_2 + C_2 + \dots,$$

причем все A — это объекты одного сорта, все B — объекты другого сорта и т. д., то мы тогда получаем, что $A_1 = A_2$, $B_1 = B_2$ и т. д., причем каждое такое равенство справедливо по отдельности, как и большое равенство, включающее все эти малые. Точно так действует и упомянутая прачка. Мораль: математикам, которые хотят развивать многозначную алгебру, следует отправиться к прачке и посмотреть, как она делает. Как отметил Марк Твен, «муравей оказывается идиотом при сравнении».

Приведем еще одно замечание Хевисайда по поводу книги Уилсона о векторном анализе. Это замечание отражает взгляды Хевисайда по вопросу о том, в какой мере надо соблюдать математическую строгость в учебнике по математике для физиков («в физической математике»). Хевисайд пишет: «Книга доктора Уилсона, как целое, в значительной мере свободна от погони за строгостью, которая сводится к изобретению трудностей, той погони, над которой человек с самостоятельными взглядами мог бы посмеяться. Но я вижу примечательное исключение, и оно настолько типично для содержания других книг, что я выставляю его на обозрение, как шокирующий пример. Он касается линейных функций от вектора. Сначала вам нужно узнать, что такое линейная функция от вектора. Затем приводится следующее ее свойство: $n\Phi(\mathbf{r}) = \Phi(n\mathbf{r})$. Это означает, что умножение линейной функции от \mathbf{r} на скаляр n дает тот же результат, что и умножение самого вектора \mathbf{r} на тот же скаляр n . Доктор Уилсон говорит, что это довольно очевидно, а затем начинает доказывать это свойство, по-видимому, к пользе тех, кто лишен юмора. Он сначала проводит доказательство для случая, когда n — целое положительное число. Затем он распространяет доказательство на случай положитель-

ных и рациональных чисел, затем переходит к отрицательным и, наконец, с помощью предельного перехода распространяет доказательство на случай несоизмеримых чисел [иррациональных. — *Б. Б.*] Тут я должен заявить, что все это есть не что иное, как то, что Фицджеральд называл «таинство». Но меня могут спросить: «Вы хотите сказать, что это доказательство неверно?» Не знаю. Думаю, что оно верно. Я бы не стал его обсуждать. «Тогда как бы Вы доказали это?» Конечно, простой проверкой. Напишите любое выражение для $\Phi(\mathbf{r})$. . . , тогда получаем . . . $n\Phi(\mathbf{r}) = \Phi(n\mathbf{r})$ сразу же и без каких-либо дополнительных доводов. Это похоже на арифметический расчет, который Алиса проделала для Шалтая-Болтая. И вот теперь, когда видно, что это похоже на правду, можно спросить, почему так происходит. Да просто потому, что n раз взятый вектор \mathbf{r} есть вектор $n\mathbf{r}$. Рациональность или иррациональность числа n не имеет к этому никакого отношения. Кроме того, число n могло бы быть и комплексным, а доктор Уилсон не привел доказательства для этого случая».

Арифметическое вычисление, которое выполнила Алиса для Шалтая-Болтая, описано в книге Льюиса Кэррола «Алиса в Зазеркалье». Приведем отрывок, в котором идет речь об этом вычислении. Алиса разговаривает с Шалтаем-Болтаем:

«— Простите, но я не поняла: подарок на день нерождения? Что это такое?

— Подарок, который тебе дарят не на день рождения. Алиса задумалась.

— Мне больше нравятся подарки на день рождения, — сказала она наконец.

— А вот и зря! — воскликнул Шалтай-Болтай. — Сколько в году дней?

— Триста шестьдесят пять.

— А сколько у тебя дней рождения?

— Один.

— Триста шестьдесят пять минус один — сколько будет?

— Триста шестьдесят четыре, конечно.

Шалтай-Болтай поглядел на Алису с недоверием.

— Ну-ка посчитай на бумажке, — сказал он.

Алиса улыбнулась, вынула из кармана записную книжку и написала:

$$\begin{array}{r} - 365 \\ \quad 1 \\ \hline 364 \end{array}$$

Шалтай-Болтай взял книжку и устался в нее.

— Кажется, здесь нет ошибок... — начал он.

— Вы ее держите вверх ногами, — прервала его Алиса.

— Ну, конечно, — весело заметил Шалтай-Болтай и взял перевернутую Алисой книжку. — То-то я смотрю, как странно все это выглядит! Поэтому я и сказал: «Кажется, здесь нет ошибки!», хоть я и не успел разобраться как следует... Значит, так: триста шестьдесят четыре раза в году ты можешь получать подарки на день рождения.

— Конечно, — сказала Алиса.

— И только один раз на день рождения!..»⁵⁹

Глава восьмая

После главы о векторном анализе в первом томе «Электродинамической теории» идет большая глава «Теория плоских электромагнитных волн».

Обращает на себя внимание тот факт, что в первом томе «Электродинамической теории» совсем не рассматриваются электростатика и магнитостатика. Это обстоятельство резко выделяет книгу «Электродинамическая теория» из большого числа книг по теории Максвелла. Стало уже своего рода традицией, что все книги по теории электричества и магнетизма начинаются с рассмотрения статических задач, т. е. таких, в которых поля не зависят от времени. В первом томе «Электродинамической теории» таких задач нет. Забегая вперед, скажем, что в двух последующих томах статическое поле тоже никак не рассматривается. Статика не интересовала Хевисайда. И это легко можно понять. Теория Максвелла формально отличалась от предыдущих теорий тем, что в уравнения поля было введено новое слагаемое. Максвелл назвал его «ток смещения». Это слагаемое представляет собой скорость изменения электрического поля во времени и записывается как производная по времени от вектора электрического поля. Ясно, что для статического поля ток смещения равен нулю. Поэтому статика в теории Максвелла ничем не отличается от статики в более ранних теориях. Но для полей, которые меняются во времени, теория Максвелла дает качественно новые предсказания. Теперь уже ток смещения

не равен нулю, и учет этого обстоятельства приводит к тому, что поведение электрического и магнитного полей описывается волновыми уравнениями. Появление волновых уравнений в теории электромагнитного поля — это качественное отличие теории Максвелла от всех предыдущих теорий. Так уж получилось, что Хевисайд с самого начала заинтересовался такими процессами в теории электричества, для которых необходимо знать изменение полей во времени. Это переходные процессы в электрических цепях и линиях связи, переходные процессы при излучении электромагнитных волн токами и зарядами, вопросы распространения электромагнитных волн и т. п. Поэтому электро- и магнитостатика не интересовали Хевисайда.

С другой стороны, еще во времена Хевисайда стало традицией такое изложение теории электричества и магнетизма, которое начиналось с изучения статических полей.

Хевисайд поломал эту традицию. Систематическое изложение электромагнитной теории он начал не со статики, а с теории плоских электромагнитных волн. Для этого у него были основательные причины. Изучение плоских электромагнитных волн не требует от изучающего большой математической подготовки. Математический аппарат здесь во многих отношениях проще того, который применяется при рассмотрении статических задач. В то же время круг физических идей и представлений, связанных с теорией распространения плоских электромагнитных волн, очень важен сам по себе и дает основу для понимания более сложных электромагнитных явлений. Вот что писал об этом сам Хевисайд:

«Теперь незамедлительно возникает вопрос: каким образом распространять знания по теории электромагнитных волн. Если бы мы могли предполагать, что читатель получил хорошую математическую подготовку, это бы в большой степени упростило дело. С другой стороны, вряд ли вообще стоит делать это для тех, кто не имеет математических знаний, и в последнюю очередь для тех противников математического описания, нападающих на теорию волнового распространения электрических возмущений, которые явно показывают, что они даже не усвоили, что такое волна и какие следствия вытекают из ее существования. Но если не рассматривать эти две крайности, то, я думаю, можно многого достигнуть в деле распространения знаний путем подробного изложения теории плоских волн, особенно в диэлектриках. При использовании плоских волн математическая сложность общей волновой тео-

рии в значительной мере исчезает, и вместо математического анализа, который необходим в более сложных случаях, зачастую используется обычная алгебра. Мыслящий читатель, который не продвинулся в своей математике, может усвоить основные качественные выводы и руководящие идеи, а то, что в него не вмещается, он может пропустить. Кроме того, само по себе изучение плоских волн есть наилучшее введение в изучение более общих случаев»⁶⁰.

В главе «Теория плоских электромагнитных волн» (эта большая глава занимает в первом томе «Электромагнитной теории» 150 страниц убогистого текста) Хевисайд рассматривает широкий круг вопросов. Первая половина главы рассказывает о свойствах электромагнитных волн, распространяющихся в среде с известными законами преломления и поглощения. Описание Хевисайда является чисто качественным, он почти не прибегает к формулам, хотя нам кажется, что во многих местах было бы очень полезно привести их. Для случаев, разбираемых Хевисайдом, эти формулы достаточно просты, и они очень помогают пониманию. Нет сомнения, что такой знаток теории Максвелла, как Хевисайд, говоря о физических особенностях явления, никогда не выпускал из поля зрения математический аппарат теории. Почему же он не использовал этот аппарат в тексте? По-видимому, он отдавал дань очень распространенному в то время взгляду (мы уже приводили соответствующее высказывание из редакционной статьи в журнале «Electrician», где был четко высказан этот взгляд), что понимание и применение физических законов ничего общего не имеет с математическим описанием. Сам он с этим не был согласен, но понимал, что многих читателей могут отпугнуть математические формулы, даже сравнительно простые, а у него была важная цель — ознакомить как можно более широкий круг читателей с теми выводами, которые давала теория. Поэтому его изложение и было почти чисто описательным.

Сначала Хевисайд разбирает качественно процесс излучения электромагнитных волн. Если в некоторой малой области пространства имеется некоторое не зависящее от времени распределение токов и зарядов, а вне этой области нет ни токов, ни зарядов, тогда во всем пространстве вокруг этой малой области существуют не зависящие от времени электрическое и магнитное поля, причем электрическое поле определяется распределением зарядов в малой области, а магнитное — распределением токов. Предпо-

ложим, что заряды и токи, заполняющие малый объем, начинают меняться во времени, например, начинают перетекать из одной части объема в другую, тогда внутри объема появляется дополнительный переменный ток, вызванный перетеканием зарядов. Этот ток является переменным, потому что до некоторого момента времени его не было, а потом он появился. Одновременно внутри объема меняется и плотность заряда. Пусть эти изменения происходят в течение некоторого промежутка времени T , а затем в том же малом объеме опять устанавливается постоянное распределение заряда и тока, и в дальнейшем оно уже не меняется. Как при этом будет меняться поле вне объема? Хевисайд в начале главы подробно разбирает этот вопрос. Его разбор очень поучителен и дает очень полезную качественную картину процесса излучения. Мы кратко изложим здесь разбор Хевисайда, пренебрегая для простоты размерами малого объема, т. е. считая, что объем, в котором сосредоточены заряды и токи, настолько мал, что его размеры можно не учитывать.

Если в какой-то точке меняются плотность заряда и плотность тока, то от этой точки во все стороны разбегаются электромагнитные волны. Они разбегаются точно так же, как расходятся круги на воде от того места, куда упал камень. Еще одна аналогия — звуковые волны, которые расходятся во все стороны от источника звука. Волны на поверхности воды — круговые, а волны от источника звука — сферические. Электромагнитные волны, расходящиеся от точки, где изменяются заряды и токи, — тоже сферические. Таким образом, от нашего малого объема, где меняется распределение зарядов и токов, во все стороны начнет расходиться сферическая волна. Говорят, что из объема излучается сферическая волна. Источниками этой волны являются переменные заряды и токи. Они совершают работу, которая идет на создание сферической волны. Излученная волна уносит из объема энергию, и поток энергии расходится вместе с волной во все стороны. Это значит, что излученная волна может совершать работу, может воздействовать на тела, находящиеся далеко от точки излучения. Благодаря этому воздействию и становится возможным прием излученной волны в радиосвязи. Мы не случайно здесь упоминаем о радиосвязи. Работы Хевисайда (в частности, те, которые вошли в первый том «Электромагнитной теории») во многом способствовали возникновению и развитию радиосвязи.

Поместим наш малый объем в начало координат, выберем точку наблюдения на расстоянии R от начала и будем наблюдать, как в этой точке меняется поле.

Пусть токи и заряды в малом объеме сначала были постоянны во времени, а затем в какой-то момент времени начали изменяться. Это изменение продолжалось в течение конечного промежутка времени T , а затем в объеме установилось некоторое распределение токов и зарядов (вообще говоря, не совпадающее с тем, какое было вначале), и в дальнейшем это новое распределение уже не менялось со временем.

Момент, в который появились переменные токи и заряды, примем за начало отсчета времени. Тогда в промежутке времени от $t = 0$ до $t = T$ из начала координат излучаются сферические волны. Скорость излученных волн равна скорости света. Мы здесь, следуя Хевисайду, предположим, что скорость всех излучаемых волн одинакова. В действительности волны разных частот имеют разную скорость распространения в среде. Это явление называется дисперсией. Хевисайд не учитывал дисперсии и считал, что скорость распространения (фазовая скорость) волн не зависит от частоты и для всех волн имеет одно и то же значение. Отметим, что есть такая «среда», в которой все электромагнитные волны независимо от частоты распространяются с одной и той же скоростью. Это — пустота.

Итак, мы находимся на расстоянии R от излучающего объема (от начала координат) и следим за тем, как меняется поле в точке наблюдения.

До того как началось излучение, в точке наблюдения есть постоянное во времени поле, созданное постоянным во времени распределением токов и зарядов в начале координат. В момент $t = 0$ началось излучение, и из начала координат расходится сферическая волна. Но до тех пор, пока эта волна не дошла до точки наблюдения, в этой точке сохраняется статическое поле, соответствующее тому распределению зарядов и токов, которое было в начале координат до момента времени $t = 0$. Статическое поле в точке наблюдения начнет меняться только в тот момент, когда туда придет волна, излученная из начала координат. Нетрудно определить этот момент времени. Если скорость волны обозначить через v , то время, за которое волна дойдет до точки наблюдения, равно R/v . Волна излучения будет проходить через точку наблюдения в течение промежутка времени T , т. е. ровно

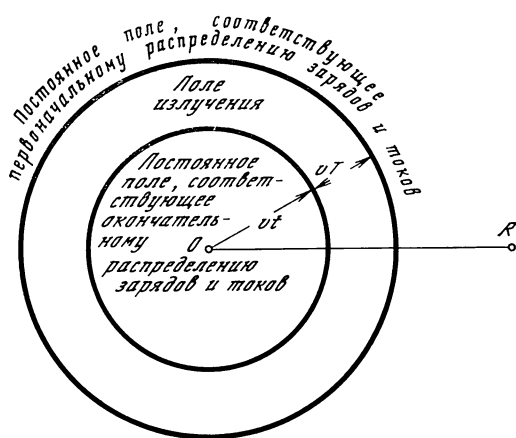


Рис. 14

столько времени, сколько длится изменение зарядов и токов в начале координат. Это значит, что в момент времени $t = R/v + T$ через точку наблюдения пройдет, если можно так сказать, «последняя волна излучения» и после этого поле в точке наблюдения уже не будет меняться со временем. Установится статическое поле, соответствующее тому окончательному распределению зарядов и токов, которое установилось в начале координат после момента времени $t = T$.

Картина поля в рассматриваемом случае схематически изображена на рис. 14.

Буквой R обозначена точка наблюдения. Источник излучения (система зарядов и токов) находится в точке O . Поле излучения заключено в сферическом слое толщиной vT (v — скорость света, T — время излучения). Этот слой распространяется во все стороны со скоростью света. Вне сферического слоя (т. е. там, куда излучение еще не дошло) имеется статическое поле, соответствующее тому распределению зарядов и токов, которое было до излучения. Внутри сферического слоя поле соответствует тому распределению токов и зарядов, которое установилось в системе после излучения. Расходящийся от центра со скоростью света сферический слой излучения рано или поздно доходит до любой точки пространства, проходит через нее, и эта точка из внешней по отношению к сферическому слою превращается во внутреннюю. При этом сферический слой излучения, проходя через точку пространства, как бы «переключает» электрическое и маг-

нитное поля с одного статического значения на другое.

Хевисайд отмечает, что поле в сферической волне различно в различных точках расширяющейся сферы. Это означает, что энергия, излучаемая в разных направлениях, различна.

Если размерами излучаемой системы нельзя пренебречь, сферический слой излучения деформируется, но каждая малая часть излучающей системы дает уже рассмотренный сферический слой. Результирующее поле получается наложением полей от каждой малой части излучающей системы.

Как уже было сказано, Хевисайд не учитывал дисперсии. Учет дисперсии приводит к тому, что сферический слой излучения по мере удаления от источника расплывается.

Хевисайд подробно разбирает картину поля, возникающего при излучении, его разбор более подробен, чем наше краткое изложение. Интересно здесь отметить, что глава называется «Теория плоских электромагнитных волн», а речь пока идет об излучении сферических волн. Но различие это несущественно. На достаточно большом расстоянии от источника излучения сферическая волна в некоторой ограниченной и не очень большой части пространства неотличима от плоской, а сферический слой в малой области близок к плоскому слою.

Далее Хевисайд рассматривает свойства плоской электромагнитной волны в однородной среде, влияние проводящих и непроводящих неоднородностей, а также ряд других вопросов, о которых мы здесь не упоминаем, хотя как сами эти вопросы, так и их изложение представляют несомненный интерес.

А затем Хевисайд переходит к рассмотрению электромагнитных волн, бегущих вдоль проводов. Исходя из уравнений Максвелла, он выводит телеграфное уравнение. Это само по себе очень важно — вывести систему уравнений, описывающих распространение волн вдоль проводов, исходя из системы уравнений Максвелла. Даже в наши дни, когда студентам, изучающим электричество или связь, читаются телеграфные уравнения, очень редко лектор выводит эти уравнения из уравнений Максвелла. Столь же редко это делается и в учебниках. А в тех немногих случаях, когда телеграфные уравнения все же обосновываются или выводятся на базе основных уравнений электромагнитной теории — даже тогда отсутст-

вует ссылка на Хевисайда, который сделал это первым.

Хевисайд сначала ведет рассмотрение чисто качественно. Мы здесь кратко изложим его соображения.

Сначала рассматривается тонкий плоский слой электромагнитного излучения. Этот слой распространяется со скоростью света в направлении, перпендикулярном своей плоскости. Внутри этого слоя электрическое и магнитное поля отличны от нуля, а вне слоя равны нулю. Электрическое и магнитное поля в рассматриваемой волне направлены параллельно плоскости слоя (говорят, что электрическое и магнитное поля в плоской волне параллельны фронту волны). При этом электрическое поле внутри слоя перпендикулярно магнитному, а по величине электрическое поле связано с магнитным простым соотношением, вытекающим из теории Максвелла: электрическое поле пропорционально магнитному. Коэффициент пропорциональности зависит от свойств среды и от выбора системы единиц. В простейшем случае электрический вектор всюду в слое направлен вдоль некоторого направления, параллельного слою, а магнитный вектор всюду перпендикулярен электрическому полю и тоже параллелен плоскости слоя.

Однако, хотя линии электрического и магнитного полей в электромагнитном слое должны быть всегда перпендикулярны друг другу, они не должны быть обязательно прямыми линиями. Поэтому, говорит Хевисайд, мы можем иметь бесконечное множество таких распределений электрического и магнитного полей, когда соответствующие силовые линии являются плоскими кривыми, лежащими в слое, причем нужно только, чтобы электрические силовые линии всюду были перпендикулярны магнитным. Если еще соблюдаются нужные соотношения между величиной электрического и магнитного полей в каждой точке, то такое образование ведет себя как плоская электромагнитная волна. Предоставленная самой себе, она будет двигаться в прямом или обратном направлении со скоростью света, причем направление распространения определяется относительным расположением электрических и магнитных силовых линий.

Здесь важно отметить, что линии электрического и магнитного полей в плоской волне не должны иметь ни начала ни конца, потому что в точке, где обрывается (или из которой выходит), например, электрическая линия, должен быть электрический заряд, положительный (если

линия выходит из этой точки) или отрицательный (если линия кончается в этой точке). Поэтому, если в поле волны имеются обрывы силовых линий, это надо представлять себе так, что вместе с волной и с той же скоростью движутся электрические заряды. Если нет движущихся зарядов, то и волны такой не может быть.

Однако эту трудность можно обойти, если допустить, что электрическое поле заканчивается на идеально проводящих линиях или на идеально проводящих цилиндрических поверхностях (предполагается, что и линии, обладающие идеальной проводимостью, и образующие цилиндрических поверхностей параллельны направлению, в котором распространяется волна). Тогда требование, чтобы заряды двигались вместе с волной, становится необязательным. Далее Хевисайд рассматривает конкретный пример, когда электрическое поле в плоском электромагнитном слое таково, что оно выходит по нормали из поверхности идеально проводящей трубы и входит по нормали в поверхность другой параллельной идеально проводящей трубы. Тогда на первой трубе имеется положительный поверхностный заряд, а на второй трубе — отрицательный. В этом случае магнитное поле проходит между трубами и вокруг труб. Одна труба может находиться внутри другой, говорил Хевисайд, но мы будем рассматривать другое расположение, напоминающее пару параллельных проводов. Тогда в среде, окружающей эти два проводника, может распространяться электромагнитная волна. Направление распространения волны совпадает с направлением двух параллельных труб. Получается, что эти два проводника как бы ведут волну. При этом волна не искажается, конфигурация полей в слое не меняется со временем. Вместе с волной движется и поверхностная плотность зарядов на трубах. Мы видим, таким образом, что вместе с поверхностными токами вдоль параллельных проводников распространяется плоская электромагнитная волна, заполняющая все пространство. Без этой волны не может осуществляться и передача сигнала вдоль проводов. В случае идеальной проводимости скорость распространения сигнала вдоль проводников точно равна скорости света.

Учет поглощения в пространстве, окружающем проводники, а также учет их конечной проводимости несколько меняет рассмотренную выше картину. Но первоначальное рассмотрение остается все же хорошим исходным приближением, которое можно уточнять с учетом различных реальных факторов.

Исходя из этой картины, Хевисайд получает сначала телеграфное уравнение для идеального случая, когда параллельные проводники не имеют сопротивления, а среда, находящаяся между проводниками, наоборот, имеет бесконечное сопротивление, т. е. является идеальным изолятором.

В идеальном случае электрическое и магнитное поля вне проводников лежат в плоскости, перпендикулярной к проводникам. Хевисайд показывает, что в этом случае линейный интеграл от электрического вектора, взятый в плоскости, перпендикулярной проводникам, по пути, соединяющему поверхность одного проводника с поверхностью другого, не зависит от пути интегрирования. Поэтому Хевисайд вводит переменную величину, равную этому интегралу, и называет ее напряжением («вольтаж»). Эта величина зависит от времени и от положения секущей плоскости, в которой вычисляется интеграл от электрического поля. Вторая величина, введенная Хевисайдом, — это циркуляция магнитного вектора вокруг одного из проводников. Она с точностью до множителя равна току, текущему в проводнике. Таким образом, вместо электрического и магнитного полей в волне, бегущей по проводнику, можно взять две новые переменные — контурные интегралы от электрического поля (напряжение) и от магнитного поля (ток). Подбирая нужным образом поверхности и контуры интегрирования и используя уравнения Максвелла в интегральной форме, Хевисайд получил систему уравнений для напряжения и тока в линии — сначала для идеального случая (проводники без сопротивления, совершенная изоляция), а затем учел сопротивление проводников и утечку в изоляции.

С этого места словесное описание начинает все больше уступать место формулам. Хевисайд рассматривает (а точнее говоря, создает) теорию проводной связи, исходя не из законов Кирхгофа для стационарных цепей и не из теории Кельвина для медленно меняющихся токов, а из уравнений Максвелла. Многие важные результаты этой теории, приведенные в главе «Теория плоских электромагнитных волн», были получены Хевисайдом ранее, в работах, вошедших в книгу «Electrical papers». Но здесь они изложены более подробно, обсуждение является более полным, подчеркиваются некоторые важные детали, которые до этого оставались в тени. В частности, Хевисайд подробно обсуждает различные возможности, которые способствовали бы созданию линии связи, [передающей

сигналы без искажения. Одним из таких путей было увеличение индуктивности существующих линий. Такой вывод вытекал из теории Хевисайда. Один из разделов главы «Теория плоских электромагнитных волн» так и называется: «Различные способы, хорошие и плохие, увеличения индуктивности в линиях».

Среди разных обсужденных способов есть и такой, который впоследствии широко начал применяться в практической телефонии. Этот способ (мы о нем еще будем говорить подробнее) оказался очень эффективным, его применение обеспечило бурное развитие практической телефонии. Протяженность телефонных сетей стала быстро расти, число телефонных компаний множилось, прибыли их астрономически росли. Никакой материальной выгоды от осуществления своих предложений Хевисайд не получил. Он не патентовал свои открытия и не имел юридического права на вознаграждение за использование своих предложений. Чудес на свете не бывает. Впрочем, может быть, правильнее было бы сказать, что бывают на свете чудеса, но в данном случае чуда не произошло. Ни один из процветающих телефонных бизнесменов не вспомнил о Хевисайде и не помог ему в нужде.

Мы изложили содержание первого тома «Электромагнитной теории». О многом из того, что там содержится, мы не имели возможности упомянуть из-за недостатка места. Мы не упомянули об очень интересных соображениях Хевисайда, относящихся к сверхпроводимости. А ведь эти соображения были высказаны задолго до открытия сверхпроводимости. Мы не отметили, что в год издания первого тома своей «Электромагнитной теории» Хевисайд был очень близок к предсказанию лоренцева и фицджеральдова сокращения. Не отметили мы и ошибочных высказываний Хевисайда, которые имеются, в частности, в тех местах, где рассматривается распространение электромагнитных волн в движущихся средах. Вопрос этот тогда очень оживленно обсуждался, но полное решение пришло позже, после появления теории относительности.

В связи с работами Хевисайда по теории проводной связи отметим еще одно немаловажное обстоятельство. Современная линия электропередачи, по которой передаются огромные мощности, мало чем напоминает линию связи — телеграфный или телефонный кабель. А между тем законы прохождения тока по линии электропередачи во многом те же, что и законы, управляющие распростра-

нением сигнала по линии связи. В частности, по линии электропередачи тоже могут распространяться волны, и в таком случае линия работает нестабильно. Вопросы устойчивости работы электрических цепей и линий электропередачи имеют важнейшее значение для энергетики. И в решении этих вопросов большую роль играют физические идеи и математические методы, разработанные Хевисайдом; физические аналогии между работой линий связи и линий электропередачи позволяют использовать для расчета, по существу, одни и те же методы.

Отметим, однако, что в середине восьмидесятых годов прошлого века, когда Хевисайд только приступал к разработке теории связи, сама возможность передачи переменного тока по проводам ставилась под сомнение, как и возможность связи без искажений. В конце 1885 г. Томас Блэйкли, видный ученый, профессор Королевского мореходного колледжа в Гринвиче, опубликовал в журнале «Electrician» серию работ, в которой подробно рассмотрел ограничения на дальнюю телефонию⁶¹. Его взгляды теперь представляют лишь исторический интерес, но именно это нам и важно сейчас, потому что они дают представление о состоянии дел в 1885 г. О передаче электроэнергии на расстояние Блэйкли писал в предисловии к серии своих статей:

«Я неоднократно и энергично возражал против действий Торговой палаты, которая намерена поставлять электричество в виде переменных токов для широкого общественного пользования. Я не меняю своих взглядов, как это вытекает из дальнейших глав. Но в последней главе я показал, что переменные токи можно с пользой применять для измерения некоторых электрических свойств цепи. Следовательно, переменные токи крайне полезны для целей измерения».

Теперь эти слова Блэйкли могут только вызвать улыбку. Но в то же время эти слова дают реальное представление о тех трудностях, с которыми сталкивалось в те годы развитие электротехники.

О перспективах развития телефонии Блэйкли писал в той же серии статей:

«Таким образом, в конце любой линии, имеющей заметную длину и емкость, различные тоны голоса будут приниматься с ослаблением, зависящим от их высоты. Но ухо не имеет способности восстанавливать первоначальный звук по осколкам, состоящим из по-разному ослабленных компонент. Учет этого обстоятельства и кладет пределы

на телефонию. И до тех пор, пока это не будет понятно с большей ясностью, чем это, по-видимому, представляют себе в настоящее время, до тех пор люди не смогут разобраться в той исключительной чепухе, которую они теперь склонны часто выслушивать».

У меня нет сведений о том, как отнесся Блэйкли к теории Хевисайда, но известно, что он воспринял скептически первый доклад Хевисайда о связи без искажений. По поводу предложения Хевисайда включать в линию катушки индуктивности Блэйкли заметил: «Это все равно, что делать на дороге ухабы для увеличения ее пропускной способности».

Не прошло и двух лет после появления работы Блэйкли с таким безнадежным прогнозом относительно дальней телефонной связи, как Хевисайд опубликовал в журнале «Electrician» раздел 40 своей работы «Электромагнитная индукция и ее распространение»⁶². В этом разделе Хевисайд сформулировал условия для связи без искажений и с уверенностью предсказал, что при выполнении этих условий станет возможной телефонная связь через Атлантику. К предсказанию Хевисайда многие отнеслись с недоверием. Но Хевисайд оказался прав. В то же время работы Блэйкли и совпадающее мнение Приса были, казалось, основаны на незыблемых фактах и ничего общего не имели с домыслами. И тем не менее в споре с Хевисайдом они оказались неправы. Почему так произошло? Трудно дать объяснение. Но если бы Прис мог подвергнуть сомнению свою точку зрения, если бы Блэйкли не высказывался столь категорично, то, может быть, они скорее убедились бы в том, что их точка зрения ошибочна, а Хевисайд прав. Как сказал однажды Р. Фейнман, ученый всегда должен испытывать сомнения.

Для Хевисайда было характерно отсутствие слепого почтения к научным авторитетам. Если он высоко оценивал чью-либо научную работу или физическую идею, это значило, что он все относящееся к делу изучил, проверил, обдумал и пришел к выводу, что работа (или идея) достойны высокой оценки. Он не мог бы сказать: «Если сэр Уильям Томсон это утверждает, значит, это так и есть».

Работы Хевисайда по развитию теории и техники связи важны по многим причинам. Одна из причин приведена в книге Норберта Винера «Кибернетика»⁶³.

Прошрое столетие, оценивая его с точки зрения технического прогресса, люди называли веком паровых машин. Как назвать нынешний век? Веком атомной энергии?

Или веком реактивного движения? Или веком электроники? По мнению Н. Винера, не эти достижения определяют лицо века. Он пишет: «...настоящее время есть век связи и управления». Если встать на эту точку зрения, то следует признать, что работы Хевисайда, во многом определившие нынешнее состояние теории связи, еще в конце прошлого века заложили основы для технических достижений века нынешнего.

Далее Н. Винер пишет: «В электротехнике существует разделение на области, называемые в Германии техникой сильных токов и техникой слабых токов, а в США и Англии — энергетикой и техникой связи. Это и есть та граница, которая отделяет прошедший век от того, в котором мы сейчас живем. В действительности техника связи может иметь дело с токами любой силы и с двигателями большой мощности, способными вращать орудийные башни; от энергетики ее отличает то, что ее в основном интересует не экономия энергии, а точное воспроизведение сигнала. Этим сигналом может быть удар ключа, воспроизводимый ударом приемного механизма в телеграфном аппарате на другом конце линии, или звук, передаваемый и принимаемый через телефонный аппарат, или поворот штурвала, принимаемый в виде углового положения руля. Техника связи началась с Гаусса, Уитстона и первых телеграфистов. Она получила первую достаточно научную трактовку у лорда Кельвина, после повреждения первого трансатлантического кабеля в середине прошлого столетия. С 80-х годов, по-видимому, больше всего сделал для приведения ее в современный вид Хевисайд. Изобретение и использование радиолокации во второй мировой войне наряду с требованиями управления зенитным артиллерийским огнем привлекло в эту область большое число квалифицированных математиков и физиков. Чудеса автоматической вычислительной машины принадлежат к тому же кругу идей — идей, которые, бесспорно, никогда еще не разрабатывались так интересно, как сейчас»⁶³.

Эти слова обрисовывают широкий круг проблем, имеющих важнейшее практическое значение, а также указывают на фундаментальную роль работ Хевисайда для них.

В приведенном отрывке Н. Винер выступает как создатель кибернетики. Здесь можно добавить, что как чистый математик он также способствовал «легализации» операционного исчисления. Работы Н. Винера по гармоническому анализу содержали, помимо прочих результатов, и обоснование операционного исчисления Хевисайда.

Глава девятая

Годы жизни в Пэйнтоне были для Хевисайда очень продуктивны. Он много работал и много сделал. Несомненно, что это была пора его творческого подъема. Но есть и другая не менее важная причина, которая объясняет успешную научную работу Хевисайда в этот период. Он был окружен заботами любящей матери, она и отец избавляли Оливера от всех дел, которые могли бы отвлечь его от науки. Он полноценно отдыхал, много ходил по окрестностям городка, совершал велосипедные прогулки, много времени проводил с детьми своего брата Чарлза, играл с ними, шутил и был счастлив. Жизнь в кругу семьи почти полностью удовлетворяла потребность Хевисайда в человеческом общении. Он по натуре был нелюдим и скорее избегал людей, чем тянулся к ним. Приезжал изредка доктор Сил. Они подружились, часто обменивались письмами, но виделись в течение нескольких дней в году.

В 1894 г. вышло из печати второе издание книги Рэлей «Теория звука». Это издание порадовало Хевисайда в двух отношениях. Во-первых, в предисловии к первому тому Рэлей высказал свое отношение к тем ревнителям математической строгости, которые требовали соблюдения ее в полном объеме даже в теоретической физике. Это высказывание Рэлей мы привели, когда рассказывали о споре Хевисайда со строгими математиками. Хевисайд придерживался по этому вопросу точно таких же взглядов, как и Рэлей. Это место из предисловия и, в частности, слова Рэлей о том, что исследователю-физику «более строгий образ действий чистого математика может показаться не более, а менее доказательным», Хевисайд впоследствии привел во втором томе «Электромагнитной теории» в том месте, где обсуждал вопрос о роли математики в физике.

И еще одно обстоятельство порадовало Хевисайда. Рэлей включил во второе издание своей книги большую главу «Электрические колебания». Глава эта во многом была построена на результатах, полученных Хевисайдом. А в самом начале главы Рэлей отметил роль Хевисайда в развитии волновой электродинамики. Рэлей писал:

«Введение телефона в практическое употребление и разнообразные его применения в научных экспериментах приводят к тому, что переменные электрические токи

включаются в рамки акустики. Это налагает на нас обязанность показать, каким образом общие принципы, изложенные в настоящем труде, могут быть наилучшим образом применены к разрешению возникающих задач. Разумеется, учение об электричестве дает такие прекрасные примеры, что выше мы не могли удержаться от изложения некоторых из них. В нижеследующем, впрочем, придется предполагать знакомство читателя с элементами теории электричества и в значительной мере воздержаться от рассмотрения применений к колебаниям чрезвычайно высокой частоты, подобных тем, которые в последнее время получили столь большое значение в связи с исследованиями Лоджа и Герца. В трудах этих физиков, а также в трудах Дж. Дж. Томсона и Хевисайда читатель найдет необходимые сведения об этой стороне предмета».

Здесь Рэлей говорил не только о том, какие вопросы будут рассматриваться в главе «Электрические колебания», но главным образом о том, какие вопросы теории электричества остаются за рамками главы. Эти не затронутые в главе вопросы Рэлей советовал изучать по трудам Лоджа, Герца, Дж. Дж. Томсона и Хевисайда. Но и в тех вопросах, которые разбирались в главе, трудам Хевисайда было полностью отдано должное. Рассматривая протекание переменных токов в цепи, содержащей омическое сопротивление, емкость и индуктивность, Рэлей широко использовал результаты, полученные Хевисайдом в работе «Об операторах сопротивления и проводимости». Теперь эти результаты входят во все учебные курсы теории электричества, как общие, так и специальные, но в отличие от Рэрея никто из авторов, приводя выражения для импеданса цепи при переменном токе, не ссылается на Хевисайда.

Рэлей отметил также работу Хевисайда «О самоиндукции проводов» в связи с рассмотрением схемы типа мостика Уитстона на переменных токах (Хевисайд называл такую схему индуктивным мостиком). Дело в том, что при прохождении переменного тока по такой цепи баланс может быть определен лишь при учете не только омического, но и индуктивного сопротивления ветвей. В свою очередь, такая схема позволяет определять как омическое, так и индуктивное сопротивление исследуемых проводников. Хевисайд в своих работах подробно исследовал эти вопросы, причем не только теоретически. В своей лаборатории (он тогда еще жил в Лондоне) Хевисайд собрал индуктивный мостик и использовал его при экспериментальном определении индуктивности.

Рассматривая распределение переменного тока по сечению проводника, а также распределение электромагнитного поля в массе проводящего сердечника, Рэлей использовал результаты Хевисайда и отметил его приоритет.

Рэлей изложил далее теорию Кельвина, описывающую распространение сигнала по кабелю. Мы уже говорили, что в этой теории учитываются лишь два параметра линии — емкость и сопротивление, а индуктивность и утечка не принимаются во внимание. По теории Кельвина, волна определенной частоты, идущая по кабелю, затухает, причем затухание зависит от частоты, т. е. волны разных частот затухают по-разному. Для того чтобы оценить затухание сигнала по теории Кельвина, Рэлей рассмотрел близкий к реальности пример. Он выбрал волну с частотой ~600 Гц, попадающей в интервал частот человеческой речи. Таким образом, в примере, рассмотренном Рэлеем, речь шла о том, возможна ли и на какое расстояние возможна телефонная связь, если исходить из теории Кельвина. Параметры кабеля Рэлей взял такие, какими обладал кабель, проложенный через Атлантический океан. Оказалось, что в таком кабеле волна с выбранной звуковой частотой затухает и амплитуда волны уменьшается примерно в три раза на пути около 20 миль. «Таким образом, — пишет Рэлей, — уже на расстоянии в 20 миль сила звука, пропорциональная квадрату амплитуды, падает приблизительно до $\frac{1}{10}$; очевидно, это расстояние не может быть увеличено во много раз без того, чтобы звук стал совершенно неслышимым. При использовании подобного кабеля предельное расстояние, по-видимому, не превысит 50 миль, в особенности если учесть, что разборчивость речи требует наличия в передаче еще более высоких тонов, чем взятый в приведенном частном примере».

К такому неутешительному результату приводила теория Кельвина. Таков же, по существу, был и приведенный нами безнадежный прогноз Блэйкли.

Дальше Рэлей переходит к изложению результатов Хевисайда:

«В приведенной теории предполагалось, что изоляция совершенна и что можно пренебречь самоиндукцией. Возможно, что кабель в достаточной степени удовлетворяет этим условиям. Однако в других телефонных линиях самоиндукция имеет большое значение. Эта задача была рассмотрена с полной общностью Хевисайдом, однако рамки нашей книги позволяют привести лишь самое беглое описание его исследования». И дальше: «Пожалуй, можно

было бы думать, что конечная утечка... всегда будет влиять как усложнение; однако Хевисайд показал, что можно устроить так, что она будет упрощать дело». Рэлей рассматривает случай, когда выполняется условие Хевисайда (произведение утечки на самоиндукцию равно произведению емкости на сопротивление). При этом сигнал по линии идет без искажений, хотя, конечно, с ослаблением. Рэлей пишет, что этот случай замечателен сам по себе и проливает свет на общую задачу.

Интересно отметить, что, излагая теорию прохождения сигнала по кабелю, Рэлей приводит дословно довольно большие выдержки из опубликованных работ Хевисайда. В двухтомной «Теории звука» это, пожалуй, единственное место, где автор излагает проблему словами другого автора. Стиль Рэрея является образцом ясности и систематичности, и все же вопрос о передаче сигнала по кабелю Рэлей изложил словами Хевисайда. Это была дань Рэрея тому артистизму, который был характерен для манеры изложения Хевисайда. Приводя большие отрывки из работы Хевисайда, Рэлей считал, что трудно написать об этом лучше. Вот вам и непонятный и трудный Хевисайд!

В 1894 г. умерла мать Хевисайда Речел-Элизабет. Тяжелее всего эту потерю восприняли Оливер и его отец. Томас Хевисайд прожил с Речел более пятидесяти лет, они пережили вместе и горести и радости, подняли на ноги детей. Старшие дети разъехались, у них уже давно были свои семьи, и последние годы старики жили вместе с младшим сыном Оливером. Мать любила его, жалела, потому что у него был трудный характер, мало друзей, он не ухаживал за девушками, не женился, не завел своей семьи. Но она гордилась своим младшим сыном, она знала, что он был выдающимся ученым — ведь он был избран членом Королевского общества, он получал множество писем, и среди тех, кто ему писал, были многие великие люди. Даже далекая от науки Речел-Элизабет знала имена Уильяма Томсона (лорда Кельвина), Генриха Герца, Джона Уильяма Стретта (лорда Рэрея). Выходили книги; написанные ее сыном, и она держала эти книги в руках, перелистывала их, ничего в них не понимая, и еще больше гордилась своим сыном. Ее старший сын Артур Уэст был выдающимся телеграфным инженером, и он не раз говорил матери, что никто в Англии и в целом мире не знает телеграф и телефон так, как Оливер. Мать еще в Лондоне старалась создать Оливеру такие условия, при которых ничто не могло бы отвлечь его от работы. Когда он работал

в своей комнате в доме на Огестайнс Роуд, мать приносила еду и оставляла ее за дверью, чтобы не беспокоить Оливера. Но иногда она заглядывала в комнату и говорила: «Оливер, тебе надо поесть». «Спасибо, мама, не сейчас», — говорил Оливер недовольно. В комнате стояла страшная жара и духота. Окна были закрыты, топились печь, горела керосиновая лампа. Мать тихо закрывала дверь и шла к себе, удивляясь, как можно заниматься в таких условиях.

Потом они переехали из Лондона в Пэйнтон, и там Оливер стараниями матери был избавлен от всех забот, не связанных с наукой. И, что самое главное, у Оливера была семья. Со смертью матери положение менялось. Они остались вдвоем с отцом. Отец тяжело переживал смерть жены, кроме того, он болел и недолго прожил после того, как Речел-Элизабет отправилась в последний путь. В 1896 г. скончался и Томас Хевисайд. Оливер остался один. Рядом, правда, была семья его брата Чарлза, и Оливер, по-видимому, если бы захотел, мог жить с ней. Но он не захотел. Он предпочитал жить один. В следующем 1897 г. Оливер переехал в дом, который он снял в городе Ньютон Эббот, недалеко от Пэйнтона и Торки. Дом, который снял Оливер, назывался Брэдли Вью. Брат Чарлз жил со своей семьей в городе Торки, в 5—6 милях от Брэдли Вью. Все эти три города — Пэйнтон, Торки и Ньютон Эббот — расположены в графстве Девоншир на южном побережье Англии, Торки и Пэйнтон — прямо на берегу пролива Ла-Манш, а Ньютон Эббот — недалеко от побережья. Места эти в то время были очень живописные, зеленые, и многие жители из других мест Англии приезжали сюда на отдых. Вместе с Хевисайдом в Брэдли Вью жила экономка, пожилая женщина, которая еще в Пэйнтоне помогала его родителям. В начале 1899 г. экономка заболела и оставила Оливера. С того времени он жил совершенно один, если не считать редких гостей, одним из которых был доктор Сил. Он много работал, но, конечно, у него много времени отнимали домашние заботы, которые теперь всецело легли на его плечи.

В 1893 г. вышел из печати второй том «Электромагнитной теории». Этот том содержит работы Хевисайда, выполненные и опубликованные за пять с лишним лет, с 1893 по 1898 г. Том этот написан по тому же плану, что и первый том. Некоторые разделы книги представляют собой статьи, опубликованные Хевисайдом в научной

печати. Другие разделы написаны специально для книги. Они поясняют и развивают уже опубликованные статьи и, кроме того, делают изложение более связным, как бы перекидывают мостики между опубликованными статьями.

По своему объему второй том «Электромагнитной теории» примерно равен первому тому, но следует иметь в виду, что на создание второго тома потребовалось приблизительно вдвое больше времени, чем на создание первого. Мы знаем причину. Хевисайду было трудно работать, потому что ему приходилось самому о себе заботиться.

Что же удалось сделать Хевисайду за время, прошедшее после выхода в свет первого тома?

Пожалуй, про второй том «Электромагнитной теории» можно сказать, что это прекрасная иллюстрация того, что понимал Хевисайд под словами «физическая математика». В этом томе наряду с рассмотрением важных вопросов электромагнитной теории разбираются и эффективные математические методы, разработанные Хевисайдом, в первую очередь его операционное исчисление. Математическим методам в этом томе уделяется не меньше места, чем физическим проблемам.

В наше время операционное исчисление преподается во всех технических учебных заведениях, в программу которых входит электротехника. Но современное операционное исчисление сильно отличается от того, которое изложено во втором томе «Электромагнитной теории». В настоящее время операционное исчисление строится на базе интегрального преобразования Лапласа (или Фурье). Искомая функция представляется в виде интеграла по некоторому определенному пути от некоторой другой функции, которая однозначно связана с искомой и называется ее изображением. При этом соответствии оказывается, что дифференциальному уравнению для искомой функции соответствует более простое уравнение для ее изображения. Поэтому изображение сравнительно легко можно найти, а затем по изображению восстановить искомую функцию. Хевисайд действовал совсем не так. Он совсем не использовал представления функции в виде интеграла. Поясним его образ действия примером. Пусть имеется дифференциальное уравнение первого порядка для функции f :

$$df/dt = \hat{1}(t),$$

где $\hat{1}(t)$ * — функция Хевисайда: Она равна нулю при всех

* Мы придерживаемся здесь обозначений, введенных Хевисайдом. Сейчас эта функция в честь Хевисайда обозначается $H(t)$.

отрицательных t и равна 1 при всех положительных t . Можно представить себе, что функция $f(t)$ — это скорость частицы, а $\dot{1}(t)$ — действующая на частицу сила. Масса частицы равна 1. Пусть частица до начала действия силы покоилась, $f(t < 0) = 0$. Тогда решение, как мы знаем, имеет вид

$$f(t) = t \quad (t > 0).$$

Это означает, что скорость растет линейно. Теперь обозначим операцию дифференцирования по времени d/dt через p . Уравнение для f запишется в виде

$$pf = \dot{1}(t),$$

а решение этого уравнения

$$f = p^{-1} \dot{1}(t).$$

Но, с другой стороны, мы уже получили, что

$$f(t) = t \quad (t > 0).$$

Сравнивая эти два равенства, видим, что

$$p^{-1} \dot{1}(t) = t,$$

причем это равенство справедливо при всех положительных t . Действуя аналогично, можно найти, что

$$p^{-2} \dot{1}(t) = t^2/2,$$

причем и это равенство справедливо при всех положительных t . Действуя таким путем, легко найти функцию $p^{-n} \dot{1}(t)$ для всех целых и положительных значений n :

$$p^{-n} \dot{1}(t) = t^n/n!$$

Теперь, если имеется какое-нибудь линейное дифференциальное уравнение

$$L(p)f = \dot{1}(t),$$

где $L(p)$ — некоторый линейный дифференциальный оператор, то мы формально можем написать решение

$$f = L^{-1}(p) \dot{1}(t).$$

Если выражение $1/L(p)$ разлагается по целым степеням p , мы можем записать решение в виде ряда, поскольку мы знаем, как действует $1/p^n$ на функцию Хевисайда $\dot{1}(t)$. Если в разложении встречаются дробные степени p , нужно знать, какой результат получается при действии каждого из этих слагаемых на $\dot{1}(t)$. Хевисайд, зная за-

ранее решение некоторых линейных уравнений, получил путем сравнения выражения для $p^{-n} \hat{1}(t)$ при некоторых дробных значениях n . Это позволило ему получить с помощью операционного исчисления решение целого ряда проблем, важных как в теоретическом, так и в прикладном отношении.

Форма операционного исчисления, развитая Хевисайдом, — это, так сказать, инвариантная форма, не зависящая от системы функций, по которой проводится интегральное разложение.

Если кратко подытожить сказанное, то можно сказать, что операционное исчисление Хевисайда приводило к получению решения в виде

$$\frac{1}{L(p)} \hat{1}(t) = L^{-1}(p) \hat{1}(t),$$

где $L(p)$ — некоторая функция от оператора дифференцирования по времени $p = d/dt$. Далее функция $L^{-1}(p)$ разлагалась в ряд по степеням p (целым или дробным) и вычислялся результат от воздействия каждого члена этого ряда на функцию $\hat{1}(t)$. Потом все слагаемые суммировались, полученная сумма и представляла собой решение. Разложение функций в ряд, затем почленное операционное преобразование ряда, а затем его суммирование Хевисайд проводил с большим искусством. При этом он, по мнению строгих математиков, нарушал все правила, по которым проводится разложение функций в ряды. Действительно, если разложить функцию $1/L(p)$ в ряд по степеням p , то невозможно даже оценить сходимость полученного ряда, потому что p — это не число, а операция дифференцирования. Но даже если считать p простым числом, то и тогда нередко оказывалось, что Хевисайд разлагал функцию в расходящийся ряд, а это было по тогдашним математическим канонам совершенно недопустимо. Математики, рецензировавшие работы Хевисайда (в основном это были математики из Кембриджа), неизменно давали отрицательные отзывы на его работы, на методы разложения в ряды и суммирование рядов и вообще на операционное исчисление в целом. Это вызывало горькие ответные замечания со стороны Хевисайда. Вот образчики этих замечаний из второго тома «Электромагнитной теории»:

«Давайте прежде всего постараемся быть справедливыми. Даже кембриджские математики заслуживают справедливости. Я не могу присоединиться к общим нападкам на них. Я сам крайне сожалею, что не имею кемб-

риджского образования, а вместо этого потратил несколько лет моей жизни всего лишь на тяжелую, нудную работу или на немногим большее. Именно кембриджским математикам мы обязаны за большую часть математико-физических исследований, выполненных в этой стране. Разве не из Кембриджа вышло подавляющее большинство специалистов по математической физике? Разве Томсон и Тэт, Максвелл и Рэлей — это не кембриджские математики, не говоря уже о большом количестве других, по большей части молодых людей, чьи имена мы еще узнаем? В этом деле, как и во многом другом, нужно принимать хорошее вместе с плохим; и хотя можно выдвинуть разумные и серьезные возражения против вызывающего огорчение и надрывающего сердце стиля работы некоторых кембриджских математиков, а также против существующей склонности к неоправданному консерватизму (склонность к сохранению плохого, как и хорошего, и сопротивление всем нововведениям), мы все должны не упускать из вида большой объем и большое значение выполненной ими работы, должны избегать несправедливого принижения и обидных сравнений. Что же касается недостатка у них симпатии по отношению к людям, менее их соблюдающим условности, то неверно думать, что у них не хватает именно симпатии, — было бы, по-видимому, неразумно вообще предполагать какое бы то ни было наличие симпатии. Однако, то, на что мы имеем право, — это ждать справедливого отношения, чтобы отсутствие симпатии не выходило за пределы нейтрального состояния и чтобы не возникало ненужных препятствий. Потому что даже люди, которые не являются кембриджскими математиками, заслуживают справедливости, которую, как я очень опасаясь, они не всегда получают, в особенности тихие и скромные люди, и те, кто долго был в пренебрежении»⁶⁴.

В другом месте он писал: «Я не знаю, попадает ли хороший математик после смерти в Кембридж»⁶⁵. (Это уже выдержка из третьего тома «Электромагнитной теории». Между выходом в свет второго и третьего томов «Электромагнитной теории» прошло более 12 лет. Но мы видим, что обида Хевисайда на кембриджских ревнителей строгости не утихла.)

Операционные методы Хевисайда позволяют в ряде случаев получать решение линейного дифференциального уравнения гораздо быстрее и проще, чем при использовании строго обоснованных методов. По этому поводу Хевисайд писал:

«Ортодоксальные математики, если они не могут найти решение в явном аналитическом виде, склонны искать спасение, написав определенный интеграл и назвав его решением. Конечно, это — одна из форм решения. Но может оказаться, что исследовать этот определенный интеграл столь же трудно или даже еще труднее, чем дифференциальное уравнение рассматриваемой задачи, поскольку трудно вычислить этот интеграл и найти, что означает решение. В таких случаях мы можем с равным успехом придерживаться дифференциального уравнения и будем столь же правы. Так вот, мне стало известно, что один человек, который не является кембриджским математиком и который не претендует на то, чтобы считаться вообще математиком, но является практическим физиком и может обсуждать и выносить правильные суждения по такому вопросу, как возраст Земли... недавно сделал открытие, что один нестандартный метод математического рассмотрения задачи (этот метод был разъяснен ему мною) приводил его немедленно к точному решению его проблемы, буквально в нескольких строчках. В то же время с помощью обычно применяемых методов он мог бы проводить дни за днями, сидя над этой задачей, и не продвинуться дальше получения определенного интеграла, слишком сложного вида для того, чтобы его практически обсуждать или вычислить в явном виде»⁶⁶.

«Один человек», про которого говорит Хевисайд, — это профессор Джон Перри. Он один из первых убедился в эффективности операционного исчисления, причем в данном случае речь шла не о проблемах электродинамики, а о задаче из теории теплопроводности, а именно об остывании Земли и о связанной с этим возможностью определить возраст нашей планеты.

Применяя теорию теплопроводности Фурье к телам большого размера, лорд Кельвин⁶⁷ отметил возможность определить возраст Земли по ее остыванию. В то время были сведения, правда, очень скудные, которые позволяли судить о том, как меняется температура по мере углубления в земную толщу. Эти сведения давали представление о градиенте температуры вблизи от поверхности Земли. Отсюда с помощью теории теплопроводности можно было найти время, когда центр Земли был настолько горячим, что все известные элементы могли существовать только в газообразном состоянии. Идея такого определения, принадлежавшая лорду Кельвину, была очень красива, но результат оказался катастрофическим, по крайней мере

для геологов и для большого числа последователей Дарвина и Гексли, т. е. для сторонников теории эволюции. Лорд Кельвин получил, что возраст Земли заключен в пределах от десяти миллионов до пятидесяти миллионов лет. Этого времени явно мало как для образования современной геологической картины, так и для эволюции растительного и животного мира. Действительно, по современным воззрениям, только время, в течение которого ящеры господствовали на планете, составляет более 100 миллионов лет. По одной из гипотез, ящеры вымерли в результате похолодания, наступившего 75 миллионов лет назад. Время, в течение которого ящеры вымерли после периода холодов, оценивается в 10 миллионов лет. Уже эти данные говорят о том, что 50 миллионов лет для возраста Земли — слишком мало. Это — мгновение по масштабам времени эволюции.

Видный эволюционист профессор Гексли возражал Кельвину (хотя и довольно кротко), говоря, что в глубине Земли могут существовать неизвестные вещества и это может изменить результат Кельвина. Это его мнение было подтверждено открытием радиоактивных веществ, но Гексли не переспорил самого яркого представителя британской науки. Тогда в 1895 г. профессор Перри, близкий друг и Хевисайда и Кельвина (он был ранее ассистентом у лорда Кельвина) предложил Хевисайду рассмотреть уравнение Фурье для случая, когда следующие друг за другом слои земной породы имеют различную теплопроводность. Дело в том, что Кельвин в своей работе о возрасте Земли исходил из упрощенной модели. Он рассматривал полубесконечное тело с плоской границей. Теплоемкость и теплопроводность этого тела он считал однородными, а значения этих величин принял такими, какие существуют в земной коре. Далее, лорд Кельвин принял, что температура на границе такого тела поддерживается равной нулю, и рассмотрел остывание этого тела.

В отличие от Кельвина, Перри предположил, что теплоемкость и теплопроводность в глубине Земли имеют большее значение, чем на поверхности. Однако он не смог с помощью стандартных методов теории теплопроводности решить задачу об остывании неоднородного тела. Хевисайд легко решил эту задачу с помощью операционного исчисления. Он рассмотрел остывание слоистого тела и показал, что при некоторых разумных предположениях относительно теплоемкости и теплопроводности материала в слоях величина возраста Земли, определяемая по гра-

диенту температуры, может оказаться в тысячу раз больше, чем оценка Кельвина. При этом не учитывалось возможное выделение тепла, происходящее при распаде радиоактивных элементов. По этому поводу Б. А. Беренд в своей статье «Труды Оливера Хевисайда» пишет: «В дальнейшем сэр Эрнест Резерфорд и его школа еще увеличили эту оценку — во столько раз, сколько может понадобиться геологам или биологам для согласования с их теориями»⁶⁸.

Проблема возраста Земли сложнее и, конечно, не исчерпывается теми немногими сведениями, которые мы здесь привели. Для нас важно, что операционное исчисление, разработанное Хевисайдом, позволило легко получить решение такой задачи, решение которой стандартными методами потребовало бы значительно больших затрат сил и времени. И пускай операционное исчисление не получило признания со стороны «чистых» математиков. Оно зато было оценено практиками (практиками без кавычек, потому что слово «практик» для Хевисайда значило примерно то же самое, что «воинствующий невежда»).

По поводу задачи об остывании Земли Хевисайд писал: «Конечно, я испытал большое удовольствие, когда обнаружил, что рассматриваемый метод [речь идет об операционном исчислении. — *Б. Б.*], который провозглашает возможность получить решение в явном виде прямо из дифференциального оператора и, так сказать, вычислить определенный интеграл без необходимости его вычислять, что этот метод получил столь быстрое признание от практического физика. Конечно, у него нет предубеждений, вызванных требованием строгости, но он использует то, что находит полезным, как только он выясняет, как нужно делать... По этой причине я больше не буду колебаться, используя этот метод там, где будет нужно в дальнейшем, особенно в таких простых случаях, которые, как показывает этот пример, являются ясными и без большого труда могут быть усвоены практическими физиками и электриками, но не кембриджскими математиками консервативного толка, которые смотрят в зубы дареному коню и качают головами с мрачной улыбкой»⁶⁹.

Задача об остывании Земли составляет первую главу во втором томе «Электромагнитной теории» (нумерация глав во всех томах едина, поэтому второй том начинается с пятой главы). Содержание этой главы можно было бы считать отступлением от основной темы книги — какое отношение имеет теплопроводность к электромагнитной

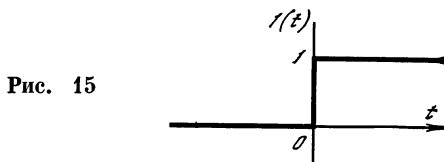
теории? Но следует иметь в виду, что во втором томе много места уделено развитию и приложению операционного исчисления, а решение задачи об остывании неоднородного тела — это очень убедительный пример могущества операционного исчисления. Кроме того, Хевисайд и в предыдущем томе не придерживался жестких рамок, ограничивающих изложение только вопросами электромагнитной теории. И, наконец, задача об остывании все же имеет отношение к дальнейшему содержанию второго тома. Следующая глава называется «Чистая диффузия электрического смещения». В ней рассматривается распространение сигнала в линии при пренебрежении индукцией. Мы знаем, что в этом случае уравнения, определяющие напряжение и ток в линии, совпадают с уравнением теплопроводности. Таким образом, и уравнения, и математические методы их рассмотрения в этих двух главах во многих отношениях одинаковы.

Глава «Чистая диффузия электрического смещения» занимает 240 страниц. Это богатейшее собрание физических задач и математических методов. Что касается физики, то рассматриваются самые разные линии в случае прохождения сигнала низкой частоты (для высокочастотных сигналов существенна самоиндукция и уравнение получается не такого вида, как уравнение теплопроводности). При этом отыскиваются решения для самых разных условий на концах линии (заданное сопротивление на конце линии, заданная емкость, замкнутый накоротко конец линии, заземленный конец линии и т. д.) и для самых разных начальных распределений тока и заряда в линии. Эти задачи очень важны для понимания процессов, происходящих в линиях связи.

С чисто математической точки зрения содержание тоже очень интересно. Хевисайд, например, уже с самого начала вводит понятие производной дробного порядка. Если обозначить оператор производной по времени $d/dt = p$, то операционное исчисление приводит к необходимости определить, какой результат дает действие на функцию оператора $\sqrt{p} = p^{1/2}$. Хевисайд называет его оператором дробного дифференцирования. Он определяет результат действия $p^{1/2}$ на единичную функцию $1(t)$. Про эту функцию мы уже говорили. Она теперь называется функцией Хевисайда. Эта функция равна нулю во все отрицательные моменты времени и равна единице во все положительные моменты времени. График функции Хевисайда имеет вид ступеньки (рис. 15).

Определяет Хевисайд и результат действия других дробных степеней оператора p , а также результат действия сложных выражений, включающих разные степени оператора p . Теперь это все сравнительно легко может быть вычислено с помощью контурного интегрирования, но Хевисайд им не пользовался.

Во втором томе «Электромагнитной теории» широко используется дельта-функция. Дельта-функция — это современное название, тогда она называлась иначе. Хевисайд называл ее импульсной функцией. Эта функция



равна нулю всюду, кроме начала координат, где она обращается в бесконечность таким образом, что интеграл от нее по отрезку, включающему точку $x = 0$, равен единице.

Функция с такими свойствами не является новой для математиков и для физиков. Еще до Хевисайда эта функция рассматривалась в работах Коши, Пуассона, Кирхгофа. Уже после Хевисайда такую функцию рассматривал Лебег. Но в работах Хевисайда эта функция стала действенным инструментом, позволяющим эффективно решать задачи математической физики. В книге Хевисайда приводится много представлений импульсной функции — разложение ее в ряд Фурье, в интеграл Фурье, разложение по различным системам функций. Эти разложения в наше время приводятся во многих учебниках по математической физике, но, конечно, никакой ссылки на Хевисайда, как правило, при этом не делается. Исключения составляют некоторые учебники операционного исчисления, там, правда, тоже, как правило, нет ссылки на Хевисайда, но применяется его название «импульсная функция».

При рассмотрении некоторых вопросов, связанных с дельта-функцией (или с импульсной функцией), Хевисайд подчеркивает такие особенности обращения с ними, которые и до сих пор отмечаются далеко не во всех учебниках. Скажем, приводя разложение дельта-функции в ряд Фурье по косинусам

$$\delta(x) = \pi/2 + 1/\pi \sum_{n=1}^{\infty} \cos nx,$$

Хевисайд замечает, что это разложение описывает дельта-функцию лишь в промежутке значений x от $-\pi$ до π (или в любом промежутке длиной в 2π , содержащем точку $x = 0$). Если же рассматривать всю ось x , то это разложение дает целый «часток» из дельта-функций, отстоящих друг от друга на 2π . Это следует из общей теории рядов Фурье. В современных книгах, где приводится такое или аналогичное разложение, редко можно увидеть соответствующую оговорку, а уж ссылку на Хевисайда вы никогда не увидите.

Отметим здесь, что Хевисайд считал дельта-функцию самой обычной функцией, такой же функцией, как и все остальные. В глазах строгих математиков это было ересью. Конечно, эта функция требует осторожного с собой обращения. Помнится, на лекциях по квантовой теории поля в МГУ (это было в 1950 г.) Д. И. Блохинцев, вводя дельта-функцию при вычислении коммутаторов, подробно говорил о том, как с ней надо обращаться, и добавлял: «Дельта-функцию следует держать на цепи». Теперь существует строгое с математической точки зрения обоснование как самой дельта-функции, так и операций с нею. Но это обоснование мало что изменило с точки зрения прежней практики в ее применении. Просто раньше «строгие» математики отворачивались от дельта-функции, а теперь разрешают ее применение. Кстати, когда Дирак в 1928 г. заново ввел дельта-функцию, строгие математики также не признали ее. Но в учебнике Дирака было одно важное замечание о дельта-функции, важное для математиков, и это замечание, в частности, побудило Лорана Шварца, одного из создателей теории обобщенных функций, заняться этой проблемой. Замечание заключалось в том, что дельта-функцию нельзя, строго говоря, рассматривать как обычную функцию.

Во втором томе «Электромагнитной теории» Хевисайда содержится множество новых математических методов, идей и результатов. Однако среди математиков по отношению к Хевисайду до сего времени нет единого мнения. Некоторые и сейчас отрицают значение того, что им сделано (но все же некоторые, а не подавляющее большинство, как это было при его жизни).

Впрочем, не все кембриджские математики отрицательно относились к методам Хевисайда и к полученным им результатам. В частности, Джозеф Лармор, который считал себя математиком, но которого мы теперь знаем как выдающегося физика-теоретика, высоко ценил работы

Хевисайда и состоял с ним в оживленной переписке. Когда вышел из печати второй том «Электромагнитной теории», Хевисайд послал книгу Лармору и получил в ответ письмо, где о втором томе говорилось:

«Я бегло проглядел его содержание и нахожу, что из него можно извлечь много философских выводов как относительно электричества, так и более общего характера. В нем также содержится полезная критика моей собственной профессии (математика), которая иногда заблуждается относительно силы своих символов, считая, что такая вещь, как строгая точность, может царить в любом создании человеческого разума»¹².

Слова Лармора нуждаются в пояснении. Когда он пишет о философских выводах, он, скорее всего, имеет в виду физические результаты. В те времена физика считалась частью философии и даже называлась «натуральная философия», философия природы. Что же касается той критики в адрес кембриджских математиков, которая содержится в книге Хевисайда, то из ответа Лармора видно, что хотя он эту критику считает полезной (по крайней мере, так он пишет), но существо этой критики оценивает не совсем так, как Хевисайд.

Второй том «Электромагнитной теории» содержит и великое богатство физических результатов. Здесь методично и с большой полнотой рассмотрены все мыслимые варианты (или почти все) линий связи, распространение сигналов по линиям, трансформация сигналов на неоднородностях линии, отражение сигнала от конца линии, излучение от конца линии в открытое пространство и т. д. — всего не перечислить. Укажем здесь еще на некоторые другие физические результаты, которые представляют собой, по нашему мнению, явный интерес.

Рассматривая разные варианты распределения параметров в линии, Хевисайд рассмотрел и случай отрицательного сопротивления. Именно, рассматривается случай, когда ток и напряжение на одном конце кабеля удовлетворяют соотношению $V = -R_1 I$, где V — напряжение, I — ток, а R_1 — некоторая положительная величина. По этому поводу Хевисайд пишет:

«... мы не будем доказывать, что величина $-R_1$ играет роль отрицательного сопротивления. Если исходить из общепринятого электрического закона, такое утверждение привело бы к бессмыслице. Уравнение или условие $V = -R_1 I$ подразумевает наличие установки, которая при действии на нее внешнего напряжения давала бы ток,

удовлетворяющий закону $V = -R_1 I$. Мы не обязаны входить в дальнейшие подробности относительно того, как это следует сделать. Конечно, здесь не обойтись без источника энергии, но он не нуждается в уточнении, потому что его действие обусловлено приведенным законом»⁷⁰.

Далее Хевисайд рассматривает случай, когда на одном конце кабеля помещено положительное сопротивление (этот конец обозначим буквой A), а на другом конце B — равное по абсолютной величине отрицательное сопротивление. Пусть теперь в какой-то средней точке кабеля помещается заряд величины Q . Этот заряд сразу же начинает растекаться и слегка увеличивает потенциалы в точках A и B . При этом в точке A имеется ток из кабеля, а в точке B ток направлен в кабель. Направление тока в точке A является обычным, а направление тока в точке B — необычным (Хевисайд пишет — ненормальным), потому что конечное сопротивление в точке B отрицательно. Поэтому конец B заряжается быстрее, чем конец A , и чем выше становится потенциал, тем сильнее ток, направленный в кабель. С другой стороны, на конце A , где все соединения обычные, ток, вызванный начальным зарядом, сначала возрастал бы до максимального значения, а затем медленно спадал до нуля. Но непрерывное поступление свежего заряда с конца B меняет дело. Заряд распространяется по кабелю от B к A , повышая потенциал всего кабеля. В конце концов, после того, как пройдут обычные явления, вызванные начальным распределением заряда, возникнет состояние, при котором положительный заряд в кабеле будет непрерывно возрастать по мере удаления от конца A . В каждой точке кабеля, кроме того, будет происходить возрастание заряда с течением времени. При этом в кабеле будет протекать ток от B к A .

Состояние с нулевым потенциалом является неустойчивым. Достаточно появления в B бесконечно малого заряда, чтобы равновесие нарушалось. Направление тока в B зависит от знака начального заряда. Если потенциал, созданный зарядом, имеет положительное значение, ток входит в кабель и в дальнейшем течет в том же направлении. Если потенциал отрицателен, ток в точке B выходит из кабеля и кабель будет заряжаться отрицательно.

Хевисайд разбирает и некоторые другие особенности, вызванные наличием в цепи отрицательного сопротивления. Теперь, в наше время, спустя почти сто лет, мы

можем оценить введение Хевисайдом отрицательного сопротивления. По существу, Хевисайд, введя в линию отрицательное сопротивление, рассмотрел тем самым простейшую теорию генератора или усилителя. В то время это был необычный и смелый шаг. Хевисайд понимал физический смысл отрицательного сопротивления, он ясно писал, что введение отрицательного сопротивления должно быть связано с источником энергии. Однако, хотя он и разобрал этот случай, разобрал в деталях, все же, по-видимому, не считал его естественным. Он писал:

«Если спросить, почему вообще рассматриваются такого рода случаи, то вместо ответа полезно вспомнить анекдот про доктора Эллиотсона. Один из его студентов сказал, что не видит пользы от патологической физиологии, ведь она так неестественна. Доктор назвал его болваном и добавил: «Только изучая патологию, можно установить истинные условия здоровья»⁷¹.

В настоящее время термин «отрицательное сопротивление» так же, как и «отрицательная проводимость», «отрицательная температура», получил права гражданства. Физические системы, в состав которых входят такие элементы, — это системы, в которых возникают неустойчивости и колебания. Теория систем с отрицательным сопротивлением, проводимостью, температурой — это нелинейная теория колебаний. Хевисайд дал один из первых примеров таких систем. Использованное им линейное приближение позволило установить только факт неустойчивости системы с отрицательным сопротивлением, но не дало возможности судить о дальнейшем поведении.

Еще один интересный физический результат, полученный Хевисайдом, — это рассмотрение такой линии, которая хорошо пропускает сигналы низкой частоты, но не пропускает сигналы высокой частоты. Высокочастотные сигналы в такой линии быстро затухают. Во втором томе «Электромагнитной теории» Хевисайд рассмотрел такую линию.

Представим себе проводник, составленный из большого числа последовательно соединенных катушек с равной индуктивностью. Равенство индуктивностей предполагается для простоты. Места соединения катушек заземляются с помощью проводников, в которые последовательно включены конденсаторы. Емкости всех конденсаторов тоже считаем для простоты равными. Хевисайд рассматривал более сложную цепь, но для качественного

изложения достаточно рассмотреть этот простой пример. Если по такой линии пустить переменный ток, то катушки индуктивности будут играть роль сопротивлений, тем больших, чем больше частота переменного тока. В то же время конденсаторы в такой линии будут играть роль утечки, причем утечка будет расти с частотой тока. Таким образом, с ростом частоты тока сопротивление такой линии возрастает, а утечка увеличивается. Такая линия может служить хорошим фильтром, пропускающим низкие частоты и отсекающим высокие. В наше время эта (или подобная ей) схема, рассмотренная Хевисайдом, так и называется «фильтр нижних частот». Во втором томе «Электромагнитной теории» Хевисайд рассматривает эту схему чисто качественно ⁷². Его не интересуют вопросы отбора по частоте, он рассматривает другие особенности этой линии. Но в одной из его записных книжек, которые теперь находятся в архиве Института инженеров-электриков, имеется расчет, который, по существу, дает теорию фильтра нижних частот. Эта теория была разработана за 20 лет до того, как такой фильтр был предложен Шеффердом в Англии. Позднее Кэмпбелл в Америке провел более подробные математические исследования.

Трудно в небольшом объеме изложить содержание книги, столь богатой красивыми приемами, новыми эффективными методами и важными результатами. Откройте ее, проглядите, даже не читая внимательно, Вы наверняка найдете такие места, которые приведут Вас в восхищение.

Глава десятая

Годы написания второго тома «Электромагнитной теории» были нелегкими для Хевисайда. Он потерял отца и мать, остался один. Но он продолжал научную работу, используя для этого все свое время, свободное от бытовых забот, и тратя на научные исследования все свои силы. Есть шутливое определение: «Наука есть удовлетворение собственного любопытства за казенный счет». Это определение молва приписывает известному советскому физiku Л. А. Арцимовичу. Наука для Хевисайда была нечто большее, чем стремление удовлетворить свое любопытство, и занимался он наукой, не получая за это никакой оп-

латы. Впрочем, некоторые денежные поступления у Хевисайда были. Приходили гонорары за статьи, опубликованные в журнале «Electrician». Это были не очень большие деньги, но они поддерживали Хевисайда.

Дни напряженной отшельнической работы скрашивались редкими визитами друзей. Приезжал доктор Сил; два раза за это время Хевисайда навещил профессор Фицджеральд. Гости привозили научные новости, обсуждали вопросы, представлявшие для них интерес. Потом они отправлялись на велосипедную прогулку.

Доктор Сил вспоминает, что в сентябре 1899 г. он прожил у Оливера несколько дней в его доме Брэдли Вью в Ньютон Эббот. От дома открывался вид на леса средневекового владения Брэдли. После того как в феврале 1899 г. экономка заболела и ушла от Оливера, он остался совершенно один. Когда доктор Сил, проведя ночь в доме Оливера, спустился из своей спальни, Оливер, после утреннего приветствия, сказал: «Надеюсь, что Вы не пили воду из графина, который стоит в Вашей комнате». Сил спросил: «Почему?», и Оливер ответил: «Потому что он стоит с тех пор, как там ночевал последний человек три месяца назад». Днем они отправились на велосипедную прогулку. В те дни у велосипедов не было свободного хода, а тормоз был ручной, с приводом на переднее колесо. Они ставили ноги на подножки, расположенные на передней вилке, и затем скатывались на велосипеде с горок вниз. Оливер поднимал ноги, сгибал руки, и его велосипед несся вниз по крутому и неровному склону, оставляя Сила далеко позади ⁴¹.

С доктором Силом Хевисайд обсуждал различные вопросы, связанные с характером электромагнитного поля движущихся зарядов. В 1899—1900 гг. он снова вернулся к задаче об определении поля движущихся зарядов для разных предположений о законе движения (равномерное движение заряда, внезапная остановка, резкий старт и т. д.).

Джордж Фрэнсис Фицджеральд привлекал внимание Хевисайда к новым проблемам электромагнетизма. После опытов Герца по генерации электромагнитных волн Фицджеральд уже думал о возможности передачи радиосигналов на большие расстояния. Хевисайд тоже с большим интересом следил за работой Маркони и инженеров Британского почтового ведомства по практическому использованию радиоволн для связи. Сначала расстояния, на которых осуществлялась радиосвязь, были очень малы и

в теоретических расчетах можно было считать поверхность Земли плоской, как и поверхность моря. Это все были простые задачи, но успехи в передаче на короткие расстояния позволяли предвидеть гораздо более важные достижения. В 1899 г. Фицджеральд писал Хевисайду: «Изучали ли Вы распространение радиоволн вокруг сферы? Такая задача волнует любителей помечтать в связи с возможностью телефони на свободных волнах в Америку. Очевидно, это — задача дифракции. Я думаю, что она должна быть разрешимой»¹². Это письмо было написано за два года до того, как Маркони показал, что трансатлантическая связь в самом деле оказалась возможной. Забегая вперед, скажем, что Хевисайд вскоре объяснил, почему возможна радиосвязь (или, как тогда говорили, беспроволочная телеграфия) на большие расстояния. И объяснение, найденное Хевисайдом, показало, что дифракция радиоволн вокруг земной поверхности не может обеспечить дальнюю радиосвязь.

Материальные условия жизни Хевисайда всегда были нелегкие, и друзья старались обеспечить его жизнь, как могли. В феврале 1894 г. Джордж Фицджеральд, Оливер Лодж и Джон Перри написали ему совместное письмо с просьбой согласиться на получение от Фонда научной помощи при Королевском обществе некоторого гонорара «в признание Вашего общеизвестного вклада в науку по развитию работ Фарадея и Максвелла». Но Хевисайд, рассматривая это предложение как благотворительность, отказался. Поэтому друзья не двинули это дело дальше¹².

В 1896 г. Хевисайду была назначена королевская пенсия (так мы переводим английское Civil List Pension) в 120 фунтов в год. Жить стало легче. Пенсия была пожалована 5 марта 1896 г., «принимая во внимание его работы по теории электричества»⁴¹. В одном из писем Фицджеральда содержится поздравление Хевисайду по этому случаю и говорится, что профессор Перри провел основную работу, убеждая правительство присудить пенсию, но большую помощь ему оказал лорд Рэлей, а лорд Кельвин также интересовался этим делом. Фицджеральд добавляет: «Я рад, что Джону Перри удалось убедить министров Ее Величества, что страна должна выразить хоть какое-то признание по поводу Ваших ценных заслуг»⁶.

В год, когда Хевисайду была присуждена пенсия, первым лордом казначейства был Бальфур. Ему принад-

лежат слова: «Если за минувшее столетие материальный уровень цивилизации изменился, то это не является заслугой ни политиков, ни политических институтов. Мы обязаны этим непрерывным усилиям тех, кто развивает науку, и тех, кто применяет ее»¹³.

Это, конечно, правильные слова, но зададим в связи с этим вопрос. Бальфур ведь не был специалистом в науке. Откуда же он мог знать о выдающемся вкладе Хевисайда в развитие точного знания? Вряд ли основную роль в просвещении Бальфура сыграл Джон Перри. Нет сомнения, что Перри высоко ценил Хевисайда и не жалел сил для того, чтобы выхлопотать ему пенсию. Но прислушался бы Бальфур к Джону Перри, если бы тот был один, хотя и сам по себе Перри имел большой авторитет в среде научной общественности? Вряд ли Перри смог бы подействовать на Бальфура в одиночку.

По-видимому, решающую роль в назначении Хевисайду пенсии сыграл Джон Уильям Стретт (лорд Рэлей). И дело было не в том, что он обладал даром убеждения, способным подействовать на первого лорда казначейства, а в том, что жена Рэрея — Эвелин Бальфур была родной сестрой Артура Бальфура, первого лорда казначейства, а затем премьер-министра. Дядя Эвелин Бальфур, маркиз Солсбери, был министром иностранных дел при Дизраэли, а затем и премьер-министром (до Артура Бальфура). Оба, Солсбери и Бальфур, прислушивались к советам Рэрея относительно политики в науке и назначений. Говорят, что Рэлей уговорил маркиза Солсбери добиться титула баронета для известного физика Джорджа Габриэля Стокса в 1889 г. и произвести в 1892 г. сэра Уильяма Томсона в пары как барона Кельвина Ларга. Биограф Рэрея Дж. Говард добавляет: «Однако Рэлей был консервативным человеком и своим научным влиянием на правительство пользовался очень осмотрительно»⁷³. Мы не сделаем большой ошибки, если предположим, что в деле назначения пенсии Хевисайду помощь Рэрея была решающей, и к добрым делам Рэрея, упомянутых Говардом, следует добавить еще и это. Но, по-видимому, инициатива в этом деле принадлежала Джону Перри. Помогло также и благожелательное отношение лорда Кельвина.

Работы Хевисайда по телефонной связи, где были установлены условия связи без искажений, ждали экспериментального подтверждения, и время их подтверждения приближалось. Напомним, что в теории Хевисайда учитывались четыре параметра линии связи: емкость C ,

сопротивление R , индуктивность L и утечка G . Если эти параметры удовлетворяют соотношению $RC = LG$, то волны всех частот идут вдоль кабеля с одинаковой фазовой скоростью и с одинаковым затуханием. При этом форма сигнала при распространении не меняется, хотя, конечно, сигнал ослабляется. Хевисайд рассмотрел параметры существующих линий связи и пришел к выводу, что условие связи без искажений можно выполнить, если существенно увеличить индуктивность линии. Для этого были разные пути, и Хевисайд их обсудил. Еще в первом томе «Электромагнитной теории» он поместил раздел, озаглавленный «Различные пути, хорошие и плохие, ведущие к увеличению индуктивности линии». К тому времени он уже был не единственным, кто думал об этом. Под влиянием работ Хевисайда профессор Сильванус Томпсон, один из друзей Оливера, предложил увеличивать индуктивность линии с помощью катушек, подключаемых параллельно к двум проводам линии. Хевисайд предложил ряд других методов, ведущих к увеличению индуктивности в линии. Один из них впоследствии и нашел широкое применение. Вот что писал Хевисайд об этом методе:

«Вместо того чтобы добиваться получения большой и равномерно распределенной индуктивности, попробуем получить большую среднюю индуктивность. Или будем сочетать оба эти пути, и получим большую распределенную индуктивность вместе с индуктивностью в отдельных участках. Это означает включение в линию индуктивных катушек на определенных расстояниях друг от друга. Можно сказать, что точно так же, как можно заменить действие распределенной утечки с помощью утечки, сосредоточенной в определенных точках, так можно и воссоздать действие распределенной индуктивности, сосредоточив индуктивность в отдельных точках. Конечно, чем больше таких точек, тем лучше»⁷⁴.

У себя на родине это предложение Хевисайда получило мало признания. Нет пророка в своем отечестве. Английские авторитеты были глухи к идеям Хевисайда. Но ученые в Соединенных Штатах Америки отнеслись к идеям Хевисайда с большим вниманием. В частности, в лабораториях ведущей телефонной корпорации «Белл Систем» исследование возможностей, связанных с идеями Хевисайда, началось вскоре после того, как работы Хевисайда были опубликованы. В апреле 1891 г. сотрудник этой фирмы Джон Стоун Стоун написал отчет, в котором ссылался на «условие передачи без искажений,

полученное мистером Хевисайдом». В этом отчете он рассчитал величину индуктивности, при которой междугородная телефонная линия Нью-Йорк—Бостон будет работать без искажений. По его словам, целью отчета было «показать, что желательнее провести опыты с искусственной индуктивностью вдоль линии»⁷⁵.

С этого времени введение индуктивности в линию, или, как говорят, индуктивная нагрузка, стала предметом многочисленных докладов и исследований. Вначале существо проблемы понимали лишь частично, но к весне 1894 г. Стоун предложил использовать биметаллический проводник, у которого индуктивность оказывается значительно выше, чем у проводника, изготовленного из одного металла. Это предложение Стоуна указывало на ясное понимание проблемы⁷⁵. Мало сомнения в том, что к этому пониманию Стоун пришел под влиянием очень ясной работы, которую Хевисайд опубликовал незадолго до этого, в ноябре 1893 г.⁷⁴ Выдержки из этой работы мы приводили выше.

Спустя несколько лет предвидение Хевисайда относительно нагруженной линии стало реальностью. Если говорить о наземных линиях, то индуктивная нагрузка была сделана не распределенной (вариант с распределенной нагрузкой подробно исследовал Стоун), а с помощью подключения катушек к линии на определенных расстояниях. Вариант этот был разработан независимо Кемпбеллом и Пьюпином.

В 1899 г. профессор Колумбийского университета Майкл Пьюпин создал первую линию связи, нагруженную по Хевисайду. Эту линию он создал в своей лаборатории в Колумбийском университете и описал в работе, вышедшей из печати в мае 1900 г. Проверка теории Хевисайда, которую тот ждал много лет (условие связи без искажений Хевисайд сформулировал в 1887 г., а методы индуктивной нагрузки кабеля с помощью подключения катушек к линии — в 1893 г.), была, наконец, вполне успешно проведена и дала надежное подтверждение точности и глубины анализа, проведенного Хевисайдом. В своей работе, описывающей нагруженный кабель, Пьюпин писал:

«Господин Оливер Хевисайд из Англии, на глубоких исследованиях которого основана главным образом современная математическая теория распространения электромагнитных волн, был зачинателем и самым горячим защитником волновых линий с высокой индуктивностью. К его советам не прислушались в той мере, в какой они

этого заслуживали, и уж заведомо к ним не прислушались в его родной стране»⁷⁶.

Пьюпин создал экспериментальный кабель и нагрузил его индуктивными катушками в полном соответствии с советами Хевисайда. Можно в связи с этим напомнить, что перед прокладкой трансатлантического телеграфного кабеля Варлей и Мюрхед также изготовили лабораторный образец, исследование которого сильно облегчило всю дальнейшую работу. Так и в случае кабеля, созданного Пьюпином, стало возможно легко провести все необходимые измерения, т. е. стало возможным самое широкое подтверждение теории Хевисайда, что далеко продвинуло дело телефонии на большие расстояния. В своей работе Пьюпин экспериментально подтвердил, что проводник с высокой и равномерно распределенной индуктивностью можно с успехом заменить на такой, в котором имеются участки сосредоточенной индуктивности, расположенные на определенных регулярных расстояниях по длине проводника. Доктор Дж. А. Кемпбелл из «American Telephon and Telegraph Co.» примерно в то же время подал заявку на патент, содержание которого практически совпадало с тем, что сделал М. Пьюпин. В возникшем споре приоритет был присужден Пьюпину, ему и были выданы патенты⁷⁷. Интересно, что в своей статье, посвященной, по существу, проверке идей Хевисайда, Пьюпин воздает ему должное. Но патенты он получил единолично. И всеми выгодами от их получения (продал «American Telephon and Telegraph Co.») Пьюпин тоже воспользовался единолично. Еще раз подтвердились слова Хевисайда о том, что он является филантропом и его задача — приносить пользу своим ближним, даже тем, кто получает от этого выгоду.

На своей родине Хевисайд получил мало признания. Но фундаментальные принципы, сформулированные Хевисайдом, нашли признание не только в Соединенных Штатах Америки. Примерно в то же время начались аналогичные исследования во Франции. Дево-Шарбоннель, главный инженер Французской почтовой и телеграфной службы, вспоминал в 1917 г., что еще в 1887 г. инженер почтовой службы Ваші решил дифференциальное уравнение в частных производных, описывающее распространение сигнала вдоль линии, причем сделал это независимо от Хевисайда⁷⁸. Однако перед выходом из печати своей работы, Ваші прочитал статьи Хевисайда в «Philosophical Magazine» и полностью признал приоритет Хевисайда.

Ж. Бетено пишет об этом более подробно. Он пишет, что Вашí вывел телеграфное уравнение, не зная о работах Хевисайда, и рассмотрел с помощью этого уравнения ряд задач, в частности распространение сигнала по неоднородному кабелю, влияние условий на концах линии и т. д. Еще ранее, в 1884 г., на страницах журнала «Annales Télégraphiques» Вашí объявил, не приводя, к сожалению, никаких расчетов, что телефонная связь может быть существенно улучшена с помощью самоиндукции. «Таким образом, — не без печали пишет Бетено, — важный вопрос телефонии на большие расстояния рассматривался одновременно и независимо в работах двух великих ученых, которые не извлекли из своих работ никакой материальной выгоды, несмотря на огромное практическое значение результатов»¹⁴.

В 1896—1897 гг. администрация французской почты, по утверждению Дево-Шарбоннеля, осуществила изготовление нагруженных кабелей того же типа, что и изготовленные Пьюпином. Вся эта работа была проделана сотрудником Французской почтовой службы Барбара⁷⁸.

Индуктивную нагрузку линии с помощью расположенных на равных расстояниях катушек индуктивности Хевисайд называл *heavification* — хевификация. Это было полшутливое название. Слово «*heavification*» можно перевести двояко: либо «утяжеление», либо «выполнение совета, данного Хевисайдом».

Но многие, не знавшие работ Хевисайда, называли индуктивную нагрузку «пьюпинизация». Я сам видел то место в первом томе «Электромагнитной теории» (с. 445), где Хевисайд предлагает подключить к линии сосредоточенную индуктивность. И вот на этой странице читатель оставил надпись карандашом: «*rupinization*». Индуктивная нагрузка была предложена Хевисайдом, а называлась «пьюпинизация». Понятно, почему Хевисайд стал говорить: «хевификация». Он хотел подчеркнуть, что все делалось по его, Хевисайда, идее. Но название «пьюпинизация» довольно прочно утвердилось среди инженеров. Хевисайду и тут не повезло.

Здесь следует оговориться, что линия с сосредоточенной и периодически повторяющейся индуктивностью — это не совсем то же самое, что линия с индуктивностью, распределенной равномерно.

Расчет линии, нагруженной сосредоточенной индуктивностью («хевифицированной» линии), эквивалентен расчету колебаний струны, на которой закреплены сосредото-

ченные массы, расположенные на равных расстояниях друг от друга. Задачу с сосредоточенными массами на струне рассматривал еще Лагранж. Результат рассмотрения сводится к следующему: если длина волны, бегущей по струне, много больше, чем расстояния между закрепленными массами, то волна распространяется точно по такому же закону, как волна, бегущая по однородной струне с такой же средней массой на единицу длины.

Индуктивная нагрузка, как следовало из первых экспериментов Пьюпина, обещала столь радикальное улучшение связи, что этим делом заинтересовалось и Британское почтовое ведомство. В 1901 г. оно начало эксперименты с индуктивными катушками или, как их стали позднее называть, нагрузочными катушками. Идеи Хевисайда вернулись на его родину через Атлантический океан. К тому времени сэр Уильям Генри Прис уже два года как не был главным инженером Британского почтового ведомства. Уход Приса со своего поста был отмечен Хевисайдом. В предисловии ко второму тому «Электромагнитной теории» он привел некоторые неверные высказывания Приса, изложил свои возражения (высказанные в довольно ехидной форме) и закончил предисловие словами: «Следует надеяться и предполагать, что недавние важные удаления в Британском телеграфном ведомстве приведут к значительному повышению качества официальной науки. Приведенные выше два примера показывают, насколько велика нужда в улучшениях. Можно дать и другие примеры. Книга может помочь в этом»⁷⁹.

Интересно здесь отметить, что в 1950 г., когда исполнилось 100 лет со дня рождения Хевисайда, Институт инженеров-электриков организовал торжественное заседание, посвященное его памяти. На этом заседании в числе других выступил сэр Арчибалд Гилл, главный инженер Британского почтового ведомства. Он, в частности, сказал:

«Мы все сожалеем, что предложения Хевисайда по улучшению телефонной связи путем индуктивной нагрузки не были достаточно быстро оценены моим предшественником сэром Уильямом Присом...

...Хевисайд был горько разочарован, когда его предложения были оставлены без внимания, и это ожесточило его, о чем добродушный человек, подобный сэру Уильяму Прису, первый должен был бы пожалеть. Последующие главные инженеры почтового ведомства не скупилась на признание важности работы Хевисайда, но, как сказал сэр Томас Пэрвэс в своей президентской речи: «Оливеру

Хевисайду природа не дала, к несчастью, способность излагать свои взгляды в доступной форме. Его гений в науке об электричестве был в полной мере признан, в основном при его жизни, но, пожалуй, трагически поздно».

Следует, пожалуй, сказать, что в то время, когда Хевисайд отстаивал введение добавочной индуктивности в кабели, еще не было практических способов, с помощью которых такая индуктивность могла быть добавлена. В самом деле, Хевисайд предлагал использование составного проводника, представляющего собой пучок тонких железных проводов, заключенных в медную оболочку. Повсеместное развитие и применение индуктивной нагрузки пошло только после того, как Пьюпин показал, что можно добавлять индуктивность в виде эквидистантно расположенных катушек»⁸⁰.

В этом выступлении хотя и воздавалось должное Хевисайду, но все же были высказаны две причины, по которым не следует так уж винить Британское почтовое ведомство в несвоевременном признании Хевисайда. Первая причина: Хевисайд непонятно излагал свои взгляды. Но ведь его понимали, несмотря на трудность изложения. Не понимали его в Британском почтовом ведомстве.

Вторая причина: до опытов Пьюпина никто не понимал (и Хевисайд в том числе), как надо увеличивать индуктивность линии. Но это тоже неверно. Хевисайд предложил несколько способов увеличения индуктивности, в том числе способ, которым через несколько лет воспользовался Пьюпин.

Таким образом, выступление в 1950 г. главного инженера Британского почтового ведомства сэра Арчибалда Гилла все же не вполне воздавало должное Оливеру Хевисайду. Как тут не вспомнить сэра Уильяма Приса!

Но так или иначе, а в 1901 г. Британское почтовое ведомство начало опыты по добавлению индуктивных катушек к линии связи. Один из биографов Хевисайда сэр Джордж Ли, впоследствии президент Института инженеров-электриков, а тогда молодой инженер, принял участие в этой работе. В тот год была экспериментально нагружена полная линия — первая кабель Лондон—Бирмингем. Сохранившийся старый отчет показывает, что даже после того, как начались эксперименты, теория нагрузки была до некоторой степени тайной для инженерного департамента. Отчет начинается с утверждения, что он, этот отчет, «содержит и стремится довести до читателя

физическую идею математического рассмотрения, с помощью которого наиболее передовые мыслители получили свои формулы для телефонной связи. Некоторые из применяемых математических формул крайне непонятны»⁸⁰.

В 1903 г. была нагружена и начала эксплуатироваться линия Ливерпуль—Уоррингтон. Использовались катушки с воздушными сердечниками емкостью в 45 миллигенри. Было отмечено «улучшение в 2,75 раза»⁷⁷. Неясно, как именно измерялся этот множитель, но приведенная цифра несомненно есть результат какого-то субъективного сравнения между нагруженной и ненагруженной линиями. Последовали длительные полевые эксперименты, целью которых было получение практических сведений в деле нагрузки, и число нагруженных действующих кабелей стало расти. Сразу же после первой мировой войны нагрузка всех проводников в главных подземных кабелях превратилась в стандартную практику. Протяженность нагруженных линий стала быстро расти. Доктор Бакли, который в 1950 г. был президентом компании «Белл Телефон Лабораториз», в своем выступлении на собрании по случаю столетия со дня рождения Хевисайда привел такие данные. К 1920 г. только в Америке нагрузка была установлена на дальних телефонных линиях протяженностью приблизительно 300 000 миль (более 400 000 км)⁷⁵.

Современные телефонные кабели для связи на большие расстояния не нагружаются индуктивными катушками. Это объясняется тем, что по кабелю идет высокочастотная волна, частота которой называется несущей частотой. Телефонные переговоры ведутся, как говорят, на несущей частоте, это означает, что человеческая речь модулирует амплитуду (или фазу) волн с несущей частотой. Для несущей частоты (она довольно высока) нет надобности в индуктивной нагрузке. Однако для линий сравнительно небольшой протяженности установка генератора несущей частоты экономически невыгодна, и в этих случаях по-прежнему применяется индуктивная нагрузка. Доктор Бакли привел еще такие данные: к 1949 г. число нагрузочных катушек только на линиях системы «Белл Телефон» составляло приблизительно 20 000 000 (двадцать миллионов)⁷⁵. Значительной была также протяженность кабелей с распределенной нагрузкой (главным образом подводных). Все это вызвало повышение качества, а с ним и бурное развитие телефонной связи. Но мало кто понимал, что триумф телефона был в решающей степени обусловлен идеями Хевисайда.

Глава одиннадцатая

Кончился XIX век, наступил век XX. Люди встречали его полные надежд. Теперь, в конце XX века, мы видим, что это был век революций, кровавых войн, захватов, борьбы за освобождение. Вместе с тем это был век небывалого развития науки. Но подавляющее большинство ученых не предвидело тогда, на рубеже двух веков, какие гигантские перемены произойдут в самые ближайшие годы во взглядах людей на окружающий нас мир. Существовало мнение (по крайней мере, его разделяли многие физики), что построение физической картины мира в основном закончено, основные законы установлены, задача теперь заключается в том, чтобы применять эти основные законы к решению возникающих проблем. Примерно в этом духе высказался лорд Кельвин в своей речи, подводившей итоги развития физики за XIX век ⁸¹. Он считал, если можно так сказать, что над физикой стоит ясное небо. На этом небе, правда, Кельвин отметил два облачка, две проблемы, которые тогда еще не были решены на основе существующих воззрений.

Одна из проблем, отмеченных Кельвином, заключалась в следующем. Мы знаем, как распространяются волны в твердом теле. Если, скажем, взять металлический стержень и ударить по его торцу молотком, то в месте удара образуется сжатие. Силы упругости приведут к тому, что сжатие это сменится на расширение в месте удара, а в соседнем месте возникнет сжатие. В результате по стержню побежит звуковая волна, вызванная силами упругости. Точно так же, по существу, объясняется распространение волн в газе и жидкости. Во всех этих случаях силы упругости приводят к тому, что возмущение давления или плотности, возникшее в какой-либо точке, распространяется от этой точки в виде звуковой волны. Во всех этих случаях среда переносит волну. За сотни лет механика приучила людей к мысли, что для распространения волны нужна среда. Это правило подкреплялось многими примерами. Хорошо известно, например, что звук не может распространяться в вакууме. Нет среды — нет и звуковой волны.

Но появление электродинамики привело к тому, что это правило — без среды нет волны — явным образом

нарушалось. Электромагнитные волны распространялись в вакууме, в пустоте, где никакой среды в механическом понимании этого слова не было. В то же время стало уже настолько привычным, что всякая волна распространяется только при наличии упругой среды, что ученые готовы были считать, что вакуум заполнен какой-то средой, которая и делает возможным распространение электромагнитных волн. Эту предполагаемую среду называли эфиром. Очень многие ученые конца XIX и начала XX в. потратили немало усилий на то, чтобы определить свойства этого предполагаемого эфира. Свойства эфира (плотность, упругость и т. д.) должны были быть как раз такие, чтобы уравнения для механических волн, бегущих по эфиру, совпадали с уравнениями Максвелла, иными словами, ученые старались вывести уравнения Максвелла для электромагнитного поля, исходя из законов ньютоновской механики. На достижение этой цели было потрачено много сил. Хевисайд тоже пытался создать механическую модель эфира. Его модель наряду с моделями многих других исследователей стала достоянием истории физики. Дальнейшее развитие физики привело к выводу, что не следует искать механического обоснования для электромагнитной теории. Не требуется предполагать существование какой-либо среды, переносящей электромагнитные волны. Электромагнитное поле есть физическая реальность, причем такая реальность, что законы, которым оно подчиняется не сводятся к законам механики. Электромагнитная волна может распространяться в вакууме, причем не нужно придумывать никакую среду, которая играла бы роль механического носителя электромагнитных волн. Это все с полной ясностью было сказано Эйнштейном в 1905 г., но в 1900 г., всего за пять лет до появления работы Эйнштейна, Кельвин считал отсутствие механической теории эфира одной из проблем физики, ждущей своего решения.

Из этого облака на ясном небе теоретической физики всего через пять лет после речи Кельвина родилась теория относительности.

Хевисайд не проявил большого интереса к идеям теории относительности. Он, по-видимому, до конца дней считал, что электромагнитные волны распространяются в особой среде — эфире. Так он и писал: вместо «волны в вакууме» — «волны в эфире». Но математический аппарат теории Максвелла не зависел от такой словесной замены, поэтому все результаты, полученные Хевисайдом,

и сейчас являются правильными, надо только иметь в виду, что представления того времени о существовании некоторой особой светонесущей среды — механического эфира — оказались несостоятельными. Поэтому, читая Хевисайда, всякий раз, когда попадаете слово «эфир», надо его заменять на слово «вакуум».

Вызывает большое удивление, что Хевисайд, чьи результаты в ряде случаев можно рассматривать как предвидение специальной теории относительности (мы уже говорили об этих результатах выше), оказался совершенно равнодушен к этой теории, когда она появилась. У него и слов даже таких не было — «теория относительности» (в работах, опубликованных после 1905 г.). Во всяком случае, если и была им упомянута эта теория, то это его упоминание не попало мне на глаза. А те результаты Хевисайда, которые предвосхитили теорию относительности (например, зависимость поля заряда от его скорости), объясняются тем, что электродинамика Максвелла с момента ее создания была, как говорят, релятивистски инвариантной теорией, она вошла в теорию относительности без всяких изменений.

Второе облачко на ясном небе физики, о котором говорил Кельвин на рубеже XIX и XX вв. — это трудности в объяснении спектра нагретых тел. Мы знаем, что нагретые тела излучают электромагнитные волны. Если температура тела достаточно высока, оно может стать источником излучения видимого света, как, например, раскаленная нить в лампочке накаливания или Солнце. Трудность, отмеченная Кельвином, состояла в том, что физика не могла объяснить спектр излучения нагретых тел (спектр теплового излучения). Эта трудность была преодолена в начале века, тепловое излучение получило свое объяснение, и из объяснения выросла новая важная область физики — квантовая механика, которая так же, как и теория относительности, привела к совершенно новому пониманию окружающего нас мира.

Хевисайд остался равнодушен и к квантовой физике. Он дожил до 1925 г., т. е. был современником появления теории излучения нагретых тел, созданной Планком, теории фотоэффекта Эйнштейна, квантовой теории Бора. Эта область физики совершенно не интересовала его. Все его физические интересы до конца жизни были связаны с классической электродинамикой.

Однако созданные Хевисайдом математические методы — алгебра операторов, введение и использование

функции Хевисайда $\int (t)$ и импульсной функции — впоследствии облегчили развитие математического формализма квантовой теории.

В конце 1918 г. шестнадцатилетний Поль Дирак, будущий великий физик, поступил студентом в Бристольский университет, намереваясь, по примеру своего старшего брата, стать инженером-электриком. Он изучал теорию электрических цепей и таким путем познакомился с операционным исчислением Хевисайда, а также с разработанной Хевисайдом алгеброй операторов. Повидимому, Дирак изучал Хевисайда по его отдельным публикациям, а не по книгам «Работы по электричеству» и «Электромагнитная теория». Те работы Хевисайда, где применялась импульсная функция, остались Дираку неизвестными. Когда в конце 1926 г. Дирак ввел дельта-функцию, он не упомянул об этих (имеющих отношение к делу) работах Хевисайда.

Интересно отметить, что мысли, побудившие Дирака ввести дельта-функцию, возникли у него как раз при изучении технических дисциплин — теории упругости и теории электрических цепей. Известный историк науки Джагдиш Мехра приводит слова Дирака о том времени, когда он был студентом в Бристоле: «Я думаю, что именно такой способ обучения впервые дал мне идею дельта-функции. Действительно, если рассматривать нагрузки на технические конструкции, то иногда эти нагрузки бывают распределенными, а иногда — сосредоточенными (в точке). В этих двух случаях вы получаете несколько различные уравнения. По существу, попытка объединить эти два случая ведет к дельта-функции»¹⁴⁴.

Отметим, что знакомство с операторной алгеброй Хевисайда пригодилось Дираку (и не только ему) при создании и развитии квантовой теории.

В первые месяцы 1900 г. Хевисайд вернулся к вопросам, которые он изучал десятью годами ранее. Он начал подробно, подробнее, чем раньше, исследовать электромагнитное поле движущихся источников. Исследование это заняло несколько лет. В ходе этого исследования Хевисайд получил ряд результатов большой красоты и принципиальной важности. Мы расскажем здесь более подробно о его исследованиях, посвященных определению поля источников, скорость движения которых превосходит скорость света в той среде, где эти источники движутся. Эти исследования составляют примерно половину третьего тома «Электромагнитной теории». Но тре-

тый том вышел только в 1912 г., а все работы по излучению движущихся источников, вошедшие в этот том, были опубликованы Хевисайдом в 1900 и 1901 гг. К тому же, помещая эти работы в третий том своей «Электромагнитной теории», Хевисайд не добавил к ним никакого пояснительного материала, не «разбавил» никакими дополнениями, в отличие от того, как он делал, готовя к печати первые два тома. О причинах этого мы скажем позднее. Здесь же мы кратко изложим его работы по излучению движущихся источников.

Источники электромагнитного поля — это электрические токи и электрические заряды. Из курса средней школы мы знаем, что точечный покоящийся электрический заряд окружен электрическим полем. Мы знаем также, что постоянный электрический ток, протекающий по проводу, создает вокруг провода магнитное поле. В приведенных примерах электрическое и магнитное поля не меняются во времени. Раз поля постоянны, то никаких электромагнитных волн нет. Но если рассмотреть поле движущегося заряда, то положение меняется. Существуют такие случаи, когда движущийся заряд или движущийся ток могут стать источниками излучения электромагнитных волн. Некоторые простые качественные примеры были рассмотрены Хевисайдом в первом томе его «Электромагнитной теории». Теперь же Хевисайд рассмотрел этот вопрос более полно. В первую очередь он подробно исследовал излучение, возникающее в том случае, когда скорость источника превышает скорость света в той среде, где движется источник.

Рассмотрим, следуя Хевисайду, такую картину. Пусть имеется среда, в которой скорость света равна v . В этой среде находится плоское идеально отражающее зеркало (см. рис. 16).

Пусть на это зеркало падает плоский электромагнитный импульс, такой, что электромагнитное поле заключено между двумя параллельными плоскостями, а вне этой области поле равно нулю. Импульс распространяется со скоростью света v , и направление его распространения составляет угол α с нормалью к плоскости зеркала. На рис. 16 видно, что на плоскости зеркала поле равно нулю всюду, кроме отрезка AB . На этом отрезке поле плоского электромагнитного импульса отлично от нуля и вызывает на плоскости зеркала переменные токи и заряды. Эти переменные токи и заряды вызывают излучение электромагнитных волн, поэтому картина, изобра-

женная на рис. 16, является неполной — нужно еще учесть поле излучения от области AB .

Полная картина выглядит так (см. рис. 17). Падающий плоский импульс на этой картине дополнен отраженным импульсом. На поверхности зеркала эти два импульса — падающий и отраженный — имеют общую область перекрытия AB . На поверхности зеркала в области AB падающий импульс наводит переменные токи и заряды, а излучение этих токов и зарядов дает отраженный импульс, который тоже представляет собой плоскую волну,

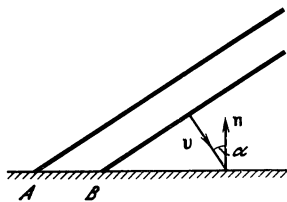


Рис. 16

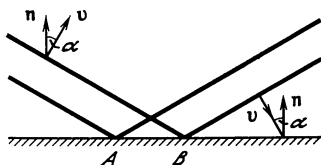


Рис. 17

но волну, уходящую от поверхности зеркала. Направление распространения отраженной волны составляет с нормалью к поверхности зеркала такой же угол α , как и у падающей волны. Это и неудивительно: угол падения равен углу отражения.

В этой картине важно следующее. Область AB , где генерируется отраженная волна, перемещается вдоль поверхности зеркала со скоростью, превышающей скорость света в среде над зеркалом. Действительно, из простых геометрических соображений видно, что если скорость области AB обозначить через u , то

$$u = v/\sin \alpha.$$

Поскольку $\sin \alpha < 1$, то скорость u области AB (скорость «зайчика» на зеркале) превышает скорость света v .

Теперь уберем падающую волну, но оставим на зеркале в области AB те токи и заряды, которые эта падающая волна наводила. Мы получим тогда такую картину. Область AB движется вдоль поверхности зеркала со скоростью $u = v/\sin \alpha$, превышающей скорость света в среде над зеркалом. За этой областью тянется «хвост» — плоский электромагнитный импульс, в котором поле излучения отлично от нуля между двумя параллельными плоскостями, проходящими одна — через точку A , другая —

через точку B . Импульс распространяется со скоростью v в направлении, составляющем угол $\theta = \pi/2 - \alpha$ с направлением скорости отрезка AB , который в данном случае является источником излучения (рис. 18).

Из этого рассмотрения видно, что если создать на плоскости зеркала какое-либо распределение токов и зарядов и затем сделать так, чтобы это распределение двигалось как целое в плоскости зеркала со скоростью, превышающей скорость света в среде над зеркалом, то возникнет излучение, которое будет оставаться позади источника, имея характерную направленность.

А теперь уберем зеркало и оставим только заряженный отрезок AB , который движется в неограниченной среде вдоль направления AB со скоростью, превышающей скорость света v в среде. Тогда картина поля будет выглядеть так (рис. 19).

На рисунке AB — это заряженная полоса, перпендикулярная плоскости рисунка. Эта полоса движется вдоль направления AB со скоростью, превышающей скорость света v . За полосой тянется «шлейф», состоящий из двух плоских волновых импульсов. Угол между фронтом импульса и скоростью полосы определяется соотношением $\cos \theta = v/u$.

Мы пришли к выводу, что если заряженное тело движется со скоростью, превышающей скорость света v , то оно излучает направленные электромагнитные волны. Обратите внимание на то, как Хевисайд подвел читателя к этому выводу. Он начал с задачи об отражении волны от зеркала⁸². Затем он показал, что отраженная волна излучается «зайчиком», который создается падающей волной на поверхности зеркала, причем скорость «зайчика», бегущего по зеркалу, превосходит скорость света. И, наконец, вывел заключение, что любое заряженное тело, скорость которого превосходит скорость света, становится источником излучения электромагнитных волн.

В дальнейшем для краткости мы будем говорить, что если скорость источника превосходит скорость света, то скорость является сверхсветовой. Иногда в этом же смысле будем говорить «сверхсветовое тело» или «сверхсветовой зайчик».

Забегая вперед, скажем здесь, что весь этот круг высказанных Хевисайдом физических идей и связанные с этим его расчеты — все было прочно и надолго забыто. Излучение от сверхсветового зайчика рассматривалось позднее в работах И. М. Франка⁸³, В. Л. Гинзбурга^{84, 85},

В.Я.Эйдмана⁸⁶, С.В.Афанасьева⁸⁷ и автора этих строк^{85, 87, 89}. В них рассматривалось не совсем то, что у Хевисайда, и не совсем так, как у него. Но истоки всех этих работ восходят к приведенному рассуждению Хевисайда. Никто из авторов не знал о соответствующих работах Хевисайда, выполненных на десятки лет ранее.

Установив, что сверхсветовое заряженное тело становится источником излучения, Хевисайд замечает, что

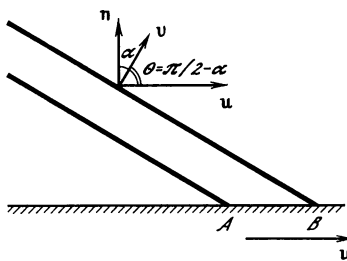


Рис. 18

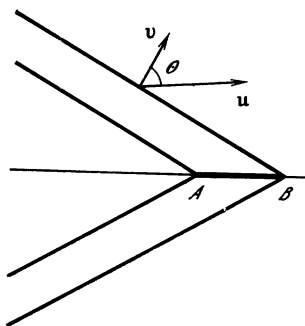


Рис. 19

раз тело излучает электромагнитные волны, то оно теряет энергию, а следовательно, должно замедляться под действием поля излучения. Тело испытывает действие тормозящей силы, эта сила представляет собой реакцию поля излучения. Для случая заряженной полосы, которая движется со сверхсветовой скоростью, Хевисайд очень просто вычисляет и тормозящую силу, и энергию излучения. Чтобы сверхсветовой источник не замедлял своего движения, нужно непрерывно подводить к нему энергию, равную той, которую он излучает, т. е. нужно действовать на сверхсветовое тело с силой, которая компенсирует силу торможения, действующую со стороны излучаемого поля.

Дальше Хевисайд рассматривает некоторые простые случаи сверхсветового движения, определяет поле сверхсветового магнита, электрета (т. е. тела с постоянным электрическим моментом), заряженной полосы, скорость движения которой направлена по нормали к плоскости полосы.

Затем Хевисайд переходит к случаю, когда источником поля является точечный заряд. Хевисайд приводит выражения для поля равномерно движущегося заряда, соответствующие двум случаям: досветовой и сверхсветовой

скорости. Сначала он очень наглядно показывает, как преобразуется потенциал равномерно движущегося заряда по мере роста скорости заряда. Для досветового заряда потенциал записывается в виде⁹⁰

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon \sqrt{z^2 + (1 - u^2/v^2)(x^2 + y^2)}}. \quad (1)$$

Здесь q — величина движущегося заряда. Заряд движется вдоль оси z со скоростью u . Величина $x^2 + y^2$ есть квадрат расстояния от линии движения заряда (от оси z). Подразумевается, что V — это потенциал в точке с координатами x, y, z , если заряд находится в начале координат, так что, по словам Хевисайда, «потенциал V сопровождает заряд в его движении». Величина ϵ обозначает диэлектрическую постоянную среды. Если скорость заряда u равна нулю, то потенциал V переходит в хорошо знакомое выражение

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon \sqrt{z^2 + x^2 + y^2}}, \quad (2)$$

т. е. потенциал покоящегося заряда обратно пропорционален расстоянию до заряда и диэлектрической постоянной среды, в которой находится заряд. Множитель 4π объясняется выбором системы единиц. Хевисайд так выбирал единицы, чтобы поток индукции через замкнутую поверхность, окружающую заряд, равнялся заряду q (а не величине $4\pi q$, как в системе единиц Гаусса). Заметим, что для покоящегося заряда потенциал V численно равен работе, которую нужно затратить, чтобы перенести единичный положительный заряд из бесконечности в точку с координатами x, y, z (если V задается формулой (2)). Если заряд движется, то его потенциал V уже не имеет столь простого физического истолкования. Более того, в этом случае, кроме скалярного потенциала V , для описания поля нужно ввести еще векторный потенциал и дать правила, позволяющие определять поле, зная потенциалы. Хевисайд все это делает. Для равномерно движущегося заряда векторный потенциал в рассмотрении Хевисайда оказывается пропорционален скалярному. Поэтому в дальнейшем можно обходиться только выражением для скалярного потенциала V .

Если скорость заряда u меньше, чем скорость света в среде v , то выражение для потенциала при досветовом движении определяется формулой (1). Потенциал отличен от нуля во всем пространстве.

Если скорость заряда u превышает скорость света в среде v , потенциал принимает вид ⁹¹

$$V = \frac{q}{2\pi\epsilon\sqrt{z^2 - (u^2/v^2 - 1)(x^2 + y^2)}}, \quad (3)$$

причем это выражение имеет смысл только позади заряда ($z < 0$) и только в той области, где подкоренное выражение положительно. Если точку, где находится заряд,

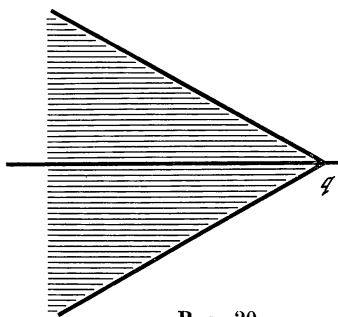


Рис. 20

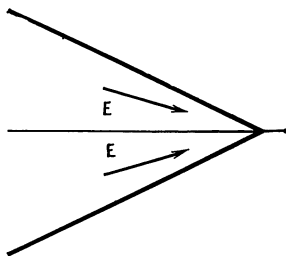


Рис. 21

принять за начало координат, то потенциал определяется выражением (3) в области, изображенной на рис. 20.

На рисунке изображен конус, осью которого является ось z . Именно в заштрихованной внутренней области конуса справедливо выражение (3) для потенциала при сверхсветовой скорости заряда. Вне этой области потенциал равен нулю.

Эти выражения для потенциала сверхсветового заряда Хевисайд получил еще в 1892 г. и кратко сообщил о них во втором томе своих «Работ по электричеству».

Конус, изображенный на рис. 20, внутри которого поле отлично от нуля, «тянется» за сверхсветовым зарядом. Хевисайд вычисляет поле внутри конуса и приходит к удивительному результату. Оказывается, что поле внутри конуса направлено к заряду, если заряд считать положительным! Это явным образом противоречит теореме Гаусса. Известно, по крайней мере для покоящегося положительного заряда, что линии электрического поля направлены от заряда, а для сверхсветового заряда получается обратная картина (см. рис. 21).

Хевисайд выясняет причину этого удивительного обстоятельства. Дело в том, что хотя поле вне конуса равно нулю, поле на поверхности конуса не равно нулю (в дей-

ствительности оно даже бесконечно велико) и направлено от заряда. Суммарный поток оказывается такой, какой и должен быть по теореме Гаусса.

Интересно то, каким путем Хевисайд устанавливает справедливость теоремы Гаусса для поля в случае сверхсветового заряда. Дело в том, что потенциал сверхсветового заряда, который определяется выражением (3), отличен от нуля только внутри конуса, расположенного позади заряда (см. рис. 20). Поверхность конуса, ограничивающего поле, определяется из формулы (3) уравнениями

$$z < 0; \quad \sqrt{x^2 + y^2} = r = \frac{-z}{\sqrt{u^2/v^2 - 1}},$$

причем $u > v$, т. е. скорость заряда больше скорости света. По мере приближения изнутри к поверхности конуса потенциал неограниченно растет. Вместе с ним неограниченно растет и поле. При переходе изнутри через поверхность конуса наружу поле резко обрывается и вне конуса поле равно нулю. Поэтому для поля точечного заряда трудно даже вычислить поток индукции, чтобы проверить, выполняется ли теорема Гаусса.

Хевисайд поступает следующим образом. Он сначала «размывает», «размазывает» заряд, распределяя его равномерно на некотором отрезке конечной длины. Затем он вычисляет поле, которое получается при движении этого отрезка со сверхсветовой скоростью (отрезок направлен параллельно скорости движения). Поле получается конечным во всех точках. В этом случае легко проверить, что теорема Гаусса выполняется. Картина получается такая (рис. 22). Если провести два конуса — один от начала заряженного отрезка, другой от конца отрезка, то эти конусы делят все пространство на три части: внутри заднего конуса поле оказывается примерно такое же, как поле точечного заряда, только вблизи от поверхности конуса поле не обращается в бесконечность, хотя и принимает большие значения (это указано на рис. 22 надписями «Сильное поле»). В пространстве между конусами поле тоже сильное, но направлено противоположно тому сильному полю, которое существует внутри конуса. И, наконец, вне обоих конусов поле равно нулю. Хевисайд вычисляет поля во всех областях и прямым вычислением убеждается в том, что теорема Гаусса выполняется — поток поля к заряду внутри заднего конуса компенсируется потоком поля от заряда в пространстве между

конусами, так что в результате поток оказывается равен в точности заряду, как это и должно быть по теореме Гаусса (в системе единиц Хевисайда). Затем Хевисайд совершает предельный переход, устремляя длину заряженного отрезка к нулю. При этом поле вблизи от поверхности конусов неограниченно возрастает, но теорема Гаусса выполняется по-прежнему, как и для протяженного заряда ⁹².

Отметим, кстати, что раствор угла при вершине у конуса, ограничивающего поле при сверхсветовом движении,

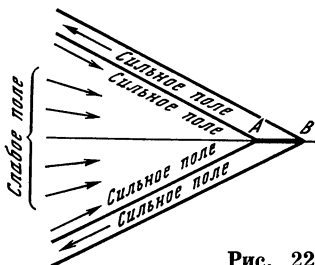


Рис. 22

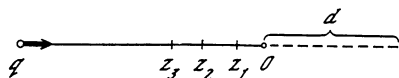


Рис. 23

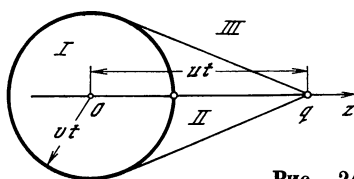


Рис. 24

определяется простым соотношением, которое следует из формулы (3) для потенциала. Если α — угол между образующей конуса и его осью, то

$$\sin \alpha = v/u.$$

Можно ввести угол между скоростью заряда и нормалью к поверхности конуса. Если этот угол обозначить через θ , то $\cos \theta = v/u$.

Отметим здесь, что рассмотренное Хевисайдом излучение сверхсветового заряда нашло свою реализацию в эффекте, обнаруженном через несколько десятков лет советскими физиками С. И. Вавиловым и П. А. Черенковым. К тому времени работы Хевисайда, в которых рассматривалось это явление, были полностью забыты.

Рассматривая поле сверхсветового заряда, Хевисайд делает одно интересное наблюдение. Мы здесь расскажем об этом, взяв для простоты случай, который Хевисайд не разбирал, но который очень ясно показывает обнаруженное им своеобразие сверхсветового движения.

Рассмотрим такой случай. Пусть заряд движется со сверхсветовой скоростью по оси слева направо (рис. 23).

Заряд доходит до точки O и здесь резко останавливается. Справа от точки O на расстоянии d от нее находится наблюдатель. Что он увидит при таком движении заряда? В каждой точке своего пути заряд создает сферическую волну излучения. Но все эти волны остаются позади заряда, так как его скорость превышает скорость света. Поэтому раньше всего до наблюдателя, находящегося в точке d , дойдет волна, излученная зарядом в начале координат, затем волна из какой-то точки z_1 , находящейся левее начала координат, затем волна из некоторой точки z_2 , находящейся левее точки z_1 , и т. д. Принимая все эти волны, наблюдатель увидит, что заряд движется не слева направо, а справа налево! Это удивительное явление — если скорость источника превосходит скорость света, то кажущаяся скорость его движения может оказаться направленной противоположно истинной скорости⁹³. Отметим, что аналогичное явление имеет место и в акустике. Там роль скорости излучаемых волн играет скорость звука. Если в воздухе движется сверхзвуковое тело (скажем, сверхзвуковой самолет), а мы хотим на слух определить направление его движения, то в случае, аналогичном описанному выше, нам будет казаться, что самолет летит не направо (если он летит направо), а налево.

Ситуация может оказаться более сложной, и тогда один сверхсветовой объект мы можем видеть как два объекта, разлетающиеся в противоположные стороны. То же относится и к сверхзвуковым источникам в акустике (только в акустике мы не «видим» источник, а «слышим»).

Рассматривая излучение движущихся сверхсветовых источников, Хевисайд ставит и решает целый ряд интересных задач. У нас нет возможности подробно изложить результаты, полученные в работах, опубликованных в 1900 и 1901 гг. Отметим лишь часть из того, что он сделал.

Выражения для полей равномерно движущегося заряда как в досветовом, так и в сверхсветовом случае Хевисайд получил с помощью разработанного им операционного исчисления. Затем он разложил полученные поля в интегралы Фурье по времени, т. е. представил поля в виде суммы цилиндрических волн всевозможных частот. Он также рассматривает ток, текущий по оси z , в виде волны с заданной частотой. Если скорость волны тока превышает скорость света, возникает излучение, и Хевисайд вычисляет энергию, излученную единицей длины

тока в единицу времени. По существу, такую же энергию уносят цилиндрические волны, по которым разлагается поле заряда. Дело в том, что и плотность заряда, соответствующую сверхсветовому источнику, можно представить в виде суммы бегущих волн, каждая из которых имеет определенную частоту, разную для разных волн. Таким образом, излучение сверхсветового заряда можно представить в виде суммы монохроматических волн, каждая из которых может рассматриваться как излучение волны плотности заряда, имеющей ту же частоту.

Энергию излучения на данной частоте (сейчас более принято название «спектральная плотность излучения») Хевисайд вычисляет двумя способами. Первый способ состоит в том, что определяется поток энергии излучения, уходящий от волны тока. Второй способ заключается в том, что вычисляется работа тормозящей силы, действующей на гармонический ток со стороны излучаемого им поля. Хевисайд показывает прямым вычислением, что оба способа дают один и тот же результат⁹⁴.

Интересно, что Хевисайд не ограничивается случаями равномерного движения, а рассматривает процессы установления. Он разбирает, например, случай, когда покоящийся заряд внезапно ускоряется и начинает движение со сверхсветовой скоростью. В этом случае конус, внутри которого поле отлично от нуля, возникает не сразу. Хевисайд рассматривает поле, возникающее при резком старте заряда. Пусть точечный заряд первоначально находился в покое, а затем мгновенно ускорился и начал движение со скоростью u , превышающей скорость света v . Тогда поле заряда имеет различный вид в трех различных областях пространства. Пусть заряд начал движение из точки O вдоль оси z (рис. 24). Окружим точку старта сферой, радиус которой равен vt , т. е. эта сфера расширяется от точки O со скоростью света. Заряд находится вне сферы в точке q (поскольку скорость его движения превосходит скорость света). Область пространства внутри сферы обозначим римской цифрой I, область вне сферы, но внутри конуса — цифрой II, область вне сферы и вне конуса — цифрой III. Тогда в области I поле описывается тем же решением, что и поле равномерно движущегося сверхсветового заряда. В области II поле есть сумма поля равномерно движущегося сверхсветового заряда и кулоновского поля заряда, покоящегося в точке O . Наконец, в области III поле есть кулоновское поле заряда, покоящегося в точке O . Хевисайд рассмотрел

вопрос о том, как поле сопрягается на границе этих областей ⁹⁵.

Он также вычислил поле излучения, возникающего при мгновенном старте или при мгновенной остановке заряда. Задача ставилась так: пусть имеется покоящаяся заряженная частица. В некоторый заданный момент времени частица мгновенно ускоряется, так что ее скорость меняется скачком от нуля до некоторого значения u , а затем частица движется со скоростью u , которая в дальнейшем уже не меняется. Ускорение в начальный момент приводит к излучению электромагнитных волн, причем, если считать частицу точечной, то поля излучения оказываются бесконечно велики. Хевисайд предположил, что заряд Q распределен равномерно внутри сферы радиуса a . В этих предположениях он получил конечные выражения для поля излучения. На больших расстояниях R от точки старта магнитное поле H имеет вид

$$H = \frac{1}{2a} \frac{Q}{4\pi R} \frac{u \sin \beta}{1 - \frac{u}{v} \cos \beta}.$$

Здесь β — угол между направлением в точку наблюдения и скоростью. Выражение для электрического поля отличается лишь множителем, содержащим диэлектрическую постоянную и магнитную проницаемость среды.

Поля излучения отличны от нуля и описываются приведенными формулами внутри сферического слоя, центр которого расположен в точке старта. Толщина этого слоя равна $2a$. Сохраняя свою толщину, слой расходится во все стороны от точки старта. Скорость движения слоя равна скорости света.

Зная величину магнитного поля, нетрудно подсчитать, какая энергия излучается под углом β к скорости заряда.

Поскольку $2a$ — это толщина сферического слоя, в котором содержится волна излучения, а величина поля в этом слое обратно пропорциональна $2a$, то интеграл от поля H по толщине слоя есть конечная величина и при малых a поле излучения пропорционально дельта-функции, т. е. оно отлично от нуля только на поверхности сферы, а интеграл от поля по радиусу имеет конечное значение.

В те годы, когда Хевисайд развивал теорию излучения движущихся источников, доктор Сил также исследовал некоторые проблемы, связанные с характером поля движущихся зарядов. Результаты этих исследований были опубликованы в нескольких статьях, и Хевисайд живо интересовался результатами Сила. Не обошлось без

анекдотического случая. В некоторых своих расчетах Сил использовал греческую букву ламбда (λ). При очередной встрече Хевисайд спросил Сила, что означает та лемма в его статье. Сил сказал, что там не было никакой леммы (слово «лемма» означает определенный вид научного высказывания). Выяснилось, что Хевисайд называл леммой то, что Сил называл ламбдой. Хевисайд отметил этот случай в своей статье в журнале «Electrician» 29 ноября 1901 г., а затем в третьем томе своей «Электромагнитной теории»:

«Этот результат согласуется с формулой Сила, полученной путем интегрирования по пространству. Я с большим удовольствием получил его результат, потому что не мог понять его λ . Мне казалось, что это что-то академическое, а не электрическое. Он сказал, что это не лемма, а ламбда. Может быть, так оно и было, но это было неубедительно»⁹⁷. Немного позднее Сил поехал в Геттинген и там встретил очень озадаченных математиков. Для получения того результата, который Сил нашел путем довольно утомительных вычислений, Хевисайд использовал метод большой красоты и силы. Геттингенские математики с интересом изучали работу Хевисайда, но не могли понять, почему Сил сказал, что это была не лемма, а ламбда⁴¹.

Про интеграл, содержащий букву λ , который вычислял Сил, Хевисайд позднее сказал, что хотя это и академический интеграл, но тем не менее он, Хевисайд, испытывает по отношению к нему глубокое почтение невежды⁹⁷.

Глава двенадцатая

В 1901 г. умер Джордж Фрэнсис Фицджеральд. Это была большая потеря для английской науки, это была и большая личная потеря Хевисайда.

Нам сейчас имя Фицджеральда мало что говорит. Но для такого незаслуженного пренебрежения нет оснований. Он рано умер, на пятидесятом году своей жизни. Он умер в полном расцвете своих творческих сил, и если бы не тяжелая болезнь, он еще, без сомнения, сделал бы много в теоретической физике. Но и того, что он сделал, было достаточно, чтобы выдвинуть его в первые ряды физиков конца XIX в.

Время его научной деятельности было временем быстрого развития физики, временем ломки старых физических понятий и даже целых теорий, временем создания новых физических понятий и новых физических теорий. В это время была создана и утвердилась теория Максвелла, первая последовательная и всеобъемлющая теория электромагнитного поля и вообще первая теория поля. В конце XIX в. начинали прорастать семена нового знания, начиналось обсуждение и формирование новых идей, которым суждено было коренным образом изменить естественнонаучную картину мира. Эти новые идеи и представления отыскивались ощупью, высказывались поначалу нечетко, невнятно, а порою даже и не столько высказывались новые идеи, сколько рассматривались принципиальные трудности, существующие в понимании физической картины мира (такие, как отмеченные Кельвином на рубеже XIX и XX вв., — отсутствие удовлетворительной модели эфира и отсутствие теории теплового излучения) и указывалось на необходимость новых физических идей, без которых нельзя прийти к преодолению существующих трудностей. Фицджеральд был активным участником этой работы. Другие сказали позднее в более ясной и последовательной форме то, что Фицджеральд только нащупывал, пытался сформулировать. Некоторые полученные им результаты настолько вплетены в ткань современной теоретической физики, что о нем и не вспоминают, когда в учебниках излагаются соответствующие разделы.

Смерть Фицджеральда была тяжелой утратой для Хевисайда (и для науки) еще и по другой причине. Фицджеральд никогда не жалел времени на обсуждение любых проблем, возникающих у его товарищей по науке, и его глубокие знания, физическая интуиция, высокая математическая культура в сочетании с добротой, простотой и полной доступностью постоянно играли стимулирующую роль в развитии самых разных областей физического знания. Может быть, некоторое представление о том, чем был Джордж Фрэнсис Фицджеральд для физики своего времени, дадут отрывки из статьи о нем, помещенной Оливером Лоджем в журнале «Electrician» в марте 1901 г.⁹⁸:

«Старые люди умирают, это естественно, и мы их хороним. Но уход яркого гения, полного силы и самоотречения к выполнению такой работы, которую никто другой выполнить не может, поражает тяжелым чувством отчаяния.

Почему они умирают такими молодыми? [Лодж имел в виду еще и Максвелла, умершего в том же возрасте, что и Фицджеральд, (неполных пятидесяти лет), а также Генриха Герца, который умер в еще более молодом возрасте, в 37 лет.— *Б. Б.*] От непосильной работы — несомненно, их нагрузка слишком велика. Фундаментальные проблемы физики невероятно сложны. Обыкновенные люди не имеют об этом никакого представления. Они не сознают той тяжести, которая ложится на плечи немногих, кто может решить эти проблемы. Люди не могут представить себе умственного напряжения, непрерывных недель, заполненных размышлениями, которые должны привести к высочайшим достижениям в физике. Таких ученых нужно выделять и освобождать от повседневной борьбы обычной жизни; но не такова наша система. Природа щедра, и мы, имея дело с гениями, подражаем ее расточительности. Возьмите в свидетели любого дублинца: пусть он скажет нам, членом скольких комиссий и советов был Фицджеральд; пусть мы услышим, как постоянно научные общества привлекали его в качестве судьи; как много ему приходилось читать корректурных листов других авторов, когда те писали книги, как к нему обращались во всех трудных случаях его коллеги, последователи и ученики не только в Ирландии, но во всем физическом и химическом англоязычном мире.

Была ли потерей времени эта помощь другим по доброй воле, эта самоотверженная деятельность на службе обществу? Кто может ответить? Это подрывало здоровье, но у многих, кому он помог, возникало чувство большой любви и привязанности к нему. Нет, это не было потерей времени.

Если когда-нибудь на свете и был хороший человек, то это был он: посвятивший себя общественной работе, свободный от всех мелочных амбиций, ничего не искавший для себя лично; с великолепной расточительностью разбрасывавший свои идеи налево и направо и радовавшийся, если другие воспринимали и использовали эти идеи. Как быстро он схватывал суть вопроса и как был силен в критике, в развитии темы, в освещении темных мест. Положишь ему под руку трудную для понимания статью, и он, бывало, машинально брал ее, как другие берут в руки газету, и вскоре он уже был поглощен и начинал набрасывать карандашом вычисления — отражения блеснувших идей.

...Не было ума способного быстрее схватывать суть дела, не было ума более зрелых знаний, с большей готов-

ностью применять эти знания в любой области, менее поглощенного собой, с большим стремлением войти в работу и в трудности других. Не было ума более сильного в постижении истинных затруднений физики или более плодотворного в обсуждении гипотез. Он помогал в математике — пусть Лармор расскажет нам об этом, он помогал в химии — пусть об этом скажет Рамзай, он помогал в прикладных вопросах, важных для промышленности — пусть об этом скажет нам Перри, но пусть будет позволено мне сказать о его простой, человеческой, бескорыстной, проникнутой общественными интересами, полной тяжелого труда научной, учебной и семейной жизни. Да, это был человек, которого надо знать. Память о нем не изгладится. Долгая жизнь не могла бы улучшить память о нем. Он прожил свою жизнь и оказал на свое поколение столь же глубокое влияние, как и на прогресс физической науки.

Это было великое время — вторая половина XIX столетия, время, с которым совпала его жизнь. Но похоже, что оно кончается. И все же — нет, еще осталось несколько человек, и открытия носят в воздухе. Мы должны сплотить ряды и двигаться дальше без уныния и смятения, благодарные за то, что мы знали его».

Эти слова Оливера Лоджа, который был другом и Хевисайда, и Фицджеральда, дают представление о Фицджеральде и как об ученом, и как о человеке. Биография Фицджеральда еще ждет своего автора. Мы здесь упоминаем о нем лишь в той мере, в какой он соприкасался с Хевисайдом.

Друзья и коллеги Джорджа Фицджеральда решили почтить его память, издав собрание его научных трудов. Задачу составления, редактирования и издания тома взял на себя Джозеф Лармор. Книга была издана в Дублине в 1902 г.⁵⁰, через год после смерти Фицджеральда. Я разыскал ее в одной научной библиотеке. Листы книги оказались даже неразрезанными. За восемьдесят лет хранения никто ее, наверное, не брал. Знакомство с этой книгой убедило меня в том, что для историка физики — это богатый материал.

Вводная часть книги содержит материалы, посвященные Фицджеральду. Там напечатаны статьи Оливера Лоджа (откуда и взяты приведенные выше выдержки), Джозефа Лармора, Фредерика Трутона. В своей мемориальной статье Лармор приводит выдержку из письма к нему Хевисайда. Узнав о смерти Фицджеральда, Хевисайд писал:

«Насколько помню, я виделся с ним только дважды, один раз в течение двух часов, а другой раз, после долгого перерыва,— шесть часов. Но одно время у нас была очень оживленная переписка, и, по-моему, я его по-настоящему любил. Каким-то объяснением этого может служить взаимопонимание. Вы знаете, что в догерцевские дни он проделал большую работу, большую не по объему, но очень выдающуюся и оригинальную, выясняя возможности максвелловской теории, которая тогда еще была в значительной мере не развита и мало понятна, и его взгляд на вещи был мне ближе всего. И вот, он считал, что и я проделал большую работу в том же направлении, и он самым щедрым образом признавал это и подчеркивал. Без сомнения, слишком щедро. Вы помните ту написанную им рецензию на мою книгу «Работы по электричеству»? Никто не знал лучше меня, до какой степени можно положиться на его темперамент и желание оказать мне помощь. Он, обыкновенно, много писал мне о проблемах электромагнетизма, и я отвечал ему безапелляционно, подобно тому, как я обычно это делаю. Он принимал это все в очень приятной манере. Но я все время знал, что у него было более широкое поле деятельности, чем у меня, и не было времени для подробного разбора частных дел. Он, без сомнения, как никто другой, обладал самым быстрым и самым оригинальным умом. Это было высокое отличие, но, я думаю, в том, что касается его научной славы, это был его недостаток. Он видел слишком много возможностей. Его разум был слишком плодовит и изобретателен. Я думаю, что было бы лучше для него, если бы он был чуть медлительней,— я имею в виду, был бы не столь быстрым и многосторонним, но более упорным. Его бы тогда больше ценили, если не говорить о немногих»⁹⁹.

Прочитав эту выдержку из письма Хевисайда, еще раз убеждаешься в том, какой удивительный человек был Хевисайд. Он был высочайшего мнения о Фицджеральде, их связывала многолетняя дружба, и это все видно из приведенных слов. Он и в дальнейшем, в более поздних своих опубликованных работах будет вспоминать о Фицджеральде. Хевисайд посвятит ему третий том своей «Электромагнитной теории». Этот том выйдет из печати через двенадцать лет после кончины Фицджеральда, когда его имя станет понемногу забываться. Но не такой человек был Хевисайд, чтобы забывать своих любимых друзей и высоко ценимых товарищей по науке. В третьем

томе «Электромагнитной теории» есть слова, проникнутые любовью к Фицджеральду и сожалением по поводу короткой людской памяти:

«Джордж Фрэнсис Фицджеральд умер. Преждевременная потеря человека, обладавшего такой поразительной и самобытной гениальностью и такой отзывчивостью, является национальным бедствием для тех, кто знал его самого и его работы. Конечно, «нация» ничего не знает об этом, и не знает, отчего это так»¹⁰⁰.

В этих словах выражена не только боль за недостаточно оцененные научные достижения и человеческие качества Фицджеральда, здесь чувствуется скрытый намек на собственную тяжелую судьбу Хевисайда. И, конечно, в этих словах высказана боль за «нацию» — за общество, которое не ценит лучших своих людей.

Но во всем этом еще нет ничего удивительного. Мы уже достаточно знаем Хевисайда и знаем, что он не боялся говорить то, что думал, даже тогда, когда это грозило ему неприятностями. Удивило меня другое — то, что Хевисайд за всю свою жизнь лично встретился с Фицджеральдом всего два раза! Как можно за две встречи составить представление о человеке? Оказывается, можно, если к двум встречам добавить еще бесчисленное множество писем, общие взгляды на научные проблемы, общие взгляды на проблемы окружавшей их повседневной жизни. Были у Хевисайда друзья — и их было немало, — с которыми он виделся только один раз в жизни или даже вовсе не встречался, а только вел с ними переписку. Он был для них верным другом и безотказным советчиком во всех трудных случаях. И они были ему верными друзьями, помогавшими в тех трудностях, с которыми он сталкивался. Дружба возникала из переписки (такой уж человек был Хевисайд, он предпочитал переписку личным контактам), но эту дружбу нельзя было назвать дружбой по переписке.

Посвящение Джорджу Фрэнсису Фицджеральду помещено в начале третьего тома в первом издании «Электромагнитной теории», сразу же после предисловия:

In memory of

George Francis FitzGerald, F.R.S.

«We needs must love the highest when we» know him.

Эту надпись можно перевести так:

В память

Джорджа Фрэнсиса Фицджеральда

Члена Королевского общества
Кто знал его, «тот должен полюбить
Все самое высокое на свете».

В кавычки заключена строка английского поэта Альфреда Теннисона из его «Королевской идиллии»*.

Глава тринадцатая

С первых лет XX в. начала присуждаться Нобелевская премия по физике. Довольно быстро эта премия стала показателем высшего международного признания.

В 1902 г. Нобелевская премия по физике была присуждена Хендрику Антону Лоренцу и Питеру Зеemannу. В своей нобелевской речи, излагая историю развития электродинамики и говоря о своей электронной теории, Лоренц упомянул о Хевисайде: «...я взял общепринятые со времени работ Герца и Хевисайда уравнения и добавил некоторые допущения о силе, действующей на электрон»¹⁰¹.

Трудно сказать, читал ли Хевисайд нобелевскую лекцию Х. А. Лоренца, и если читал, то какие испытывал при этом чувства. Может быть, он радовался тому, что Лоренц отметил его в качестве предшественника, а может быть и ворчал про себя. Дело в том, что выражение для силы, действующей на электрон в магнитном поле, Хевисайд получил на несколько лет раньше Лоренца.

Хевисайд хорошо знал работы Лоренца (по крайней мере, некоторые) и даже излагал их содержание в своих статьях, имея в виду, что английский читатель мог и не знать этих работ, а если знал, то ему было бы трудно их прочесть, потому что они были опубликованы не на английском языке. Вот характерная для Хевисайда выдержка из работы 1900 г. (эта работа впоследствии вошла в третий том «Электромагнитной теории»)¹⁰²:

«После глубоких исследований мне посчастливилось открыть работу профессора Х. А. Лоренца «Опыт теории электрических и оптических явлений в движущихся телах» (Лейден, 1895). Это важное приложение максвеллов-

*. Приношу здесь глубокую благодарность А. А. Аниксту, который мгновенно определил происхождение стиха, использованного Хевисайдом в посвящении.

ской теории к оптическим явлениям следовало бы сразу выполнить на английском языке, чтобы избежать повторов. Печально, но факт, что лишь немногие британцы имеют талант к изучению языков. Это происходит не от лени, а главным образом от умственной неспособности, которая сочетается с мнением, что одного языка вполне достаточно. Иностранцы, по-видимому, наоборот, имеют от природы способность к языкам до такой степени, что они изобрели большое количество языков и, как правило, владеют сразу несколькими из них. Очень хорошо. Осмелюсь предложить: пусть они принесут нам, бедным островитянам, пользу своими знаниями, издавая все свои лучшие работы на английском языке. И почему бы не сделать английский язык международным языком науки? Для иностранцев это было бы все равно, а для народов Великобритании, Ирландии и для других, говорящих на английском языке, это было бы великим благом».

Дальше Хевисайд пишет, что, поскольку работа Лоренца известна в Англии не так хорошо, как она того заслуживает, он приведет ее краткое изложение. В этом изложении он не входит в детали, ограничиваясь общими выводами, и выражает удовлетворение от этой работы по нескольким причинам: во-первых, работа Лоренца дает формулу Френеля для скорости электромагнитной волны в движущейся среде. Во-вторых, Лоренц применяет векторный, а не кватернионный анализ, это обстоятельство Хевисайд отмечает «с личной благодарностью»; в-третьих, Лоренц работает с уравнениями полей, не вводя потенциалов, а также принципа наименьшего действия, про который Хевисайд пишет, что он, вопреки его названию, увеличивает количество работы. Здесь, как и почти всюду у Хевисайда, некоторые замечания очень важны по существу, некоторые отражают его личные пристрастия или неприязнь, а есть и просто шуточные высказывания.

Хевисайд постоянно интересовался электродинамикой движущихся сред, но его работы в этой области представляют теперь лишь исторический интерес, как и его модели эфира.

Лоренц и в дальнейшем подчеркивал роль Хевисайда в развитии теории Максвелла. В своей книге «Теория электронов», изданной в 1906 г., Лоренц писал: «Мы будем использовать эти формулы, но не в той довольно сложной форме, в какой их можно найти в трактате Максвелла, а в более ясной и более простой форме, приданной им Хевисайдом и Герцем»¹⁰³.

Когда Лоренц это говорил, он имел в виду не только форму записи, а нечто гораздо большее — то понимание, которое было внесено работами Хевисайда и Герца.

Лоренц не преувеличивал. Мы знаем, что работы Хевисайда и Герца во многом способствовали прояснению физических основ теории Максвелла. В книге А. Ф. Иоффе «Основные представления современной физики» есть такие строки, написанные о Лоренце:

«Автор электронной теории рассказывал мне, что, познакомившись впервые с уравнениями Максвелла, он не смог понять их физического смысла и обратился к переводчику сочинений Максвелла. Но и этот подтвердил, что никакого физического смысла эти уравнения не имеют, понять их нельзя; их следует рассматривать как чисто математическую абстракцию»¹⁰⁴.

В 1926 г. Лоренц прочел в Калифорнийском технологическом институте курс лекций «Проблемы современной физики». Говоря об электродинамике, он отмечал: «То, что нам теперь известно, — это в первую очередь заслуги Максвелла, а после него — Хевисайда и Герца»¹⁴³.

Это было сказано через год после кончины Хевисайда и сказано Х. А. Лоренцем, который с полным основанием считается создателем современной классической теории взаимодействия электромагнитного поля с веществом. Это было сказано об основах теории электромагнетизма, которые послужили исходным пунктом для составивших эпоху исследований самого Лоренца.

Интересно здесь отметить, что в собрании научных трудов Лоренца есть статья «Доказательство теоремы, высказанной Хевисайдом»¹⁰⁵. Лоренц доказывает утверждение Хевисайда, сформулированное во втором томе его «Работ по электричеству». Утверждение это можно в частном виде изложить так: рассматривается некоторый электрический контур, в который входят омические сопротивления, индуктивности и емкости. В этом контуре имеется источник постоянного напряжения. Сначала источник отключен. В некоторый момент включается источник. Тогда в системе возникнет ток, который сначала будет как-то меняться, а через некоторое время примет установившееся значение. При этом в системе появятся постоянные магнитные поля (за счет индуктивностей), постоянные электрические поля (в пространстве между обкладками конденсаторов) и будет выделяться джоулево тепло (на омических сопротивлениях), причем после установления постоянного тока в каждую единицу вре-

мени будет выделяться одно и то же количество тепла. До того, как возникло это установившееся состояние, батарея затратила работу на создание в системе стационарных токов и полей. Теорема Хевисайда дает способ вычисления этой работы внешних сил, затраченной на создание стационарного состояния. Предполагается, что за время установления в каждую единицу времени выделялось такое же джоулево тепло, как и после установления. Определяется количество джоулево тепла, которое выделилось бы в этом случае в системе за время установления. К этой величине добавляется удвоенная полная энергия электрического поля системы в установившемся состоянии, а затем вычитается удвоенная полная энергия магнитного поля системы в установившемся состоянии. Полученное таким образом выражение определяет работу батареи на создание установившегося состояния.

Теорема Хевисайда сформулирована им в более общем виде и относится не только к электрическим цепям, а к любым системам, в которых внешнее поле может совершать работу.

В работе Хевисайда, вышедшей в 1888 г., эта теорема была приведена без доказательства. Через 34 года, в 1922 г., Лоренц заинтересовался этой теоремой и доказал ее.

Почему Лоренц заинтересовался этой теоремой Хевисайда много времени спустя после того, как Хевисайд ее сформулировал? Статья Лоренца, в которой доказывается теорема Хевисайда, была первоначально опубликована в 1922 г. в Трудах Национальной академии наук США. В конце статьи имеется примечание редактора:

«Эта общая теорема, высказанная без доказательства Хевисайдом, была использована Чарлзом Мэннебеком в его докторской диссертации «Излучение от линий передачи», защищенной в Массачусеттском технологическом институте в июне 1922 г. Поскольку ни в учебниках, ни в периодической литературе доктор Мэннебек не смог найти удовлетворительное доказательство этой теоремы в самом общем виде, он обратился за помощью к профессору Лоренцу, который был настолько любезен, что прислал доказательство. Можно думать, что рассмотрение этой теоремы доктора Лоренца, а также сделанные им замечания могут представлять широкий интерес, в особенности из-за возможных практических приложений; доктор Лоренц согласился на публикацию доказательства».

Конечно, Лоренц доказал теорему Хевисайда для самого общего случая, а не для того частного примера, который мы привели выше. Общая формулировка теоремы Хевисайда, приведенная во втором томе его «Работ по электричеству» (с. 412), такова:

«Полная работа, совершаемая сторонними силами после момента включения, превышает ту величину потерь на Джоулево тепло, какой она была бы, если бы потери на тепло в единицу времени с самого начала равнялись бы установившемуся значению (если оно есть), на величину, равную удвоенной разности электрической и магнитной энергий в установившемся состоянии».

Эта теорема очень важна для многих приложений, в частности, она позволяет оценить энергию, нужную для приведения передающей линии в рабочее (установившееся) состояние. Понятно, что эта теорема оказалась полезной для работы доктора Мэннебека. Но Мэннебек не знал, что Хевисайд не только высказал эту теорему, но и подробнейшим образом (более подробно, чем это сделал Лоренц) доказал ее и разобрал многие вытекающие из нее следствия.

Мэннебек увидел формулировку этой теоремы в работе Хевисайда «Об электромагнитных волнах» (ч. III), опубликованной в мае 1888 г. Но в этой работе Хевисайд применял уже доказанную им теорему. Доказательство содержится в его работе «Электромагнитная индукция и ее распространение» (ч. VII), вышедшей из печати тремя годами ранее, в апреле 1885 г. Эта часть так и называется: «Работа, совершаемая сторонними силами в переходных состояниях». В книге «Работы по электричеству» она помещена в I томе (с. 462). Мэннебек не знал об этом и обратился за помощью к Лоренцу. Для Лоренца оказалось проще заново доказать теорему, чем искать ее доказательство у Хевисайда. Редактор тоже не знал, что теорема уже доказана (а не только высказана) Хевисайдом. При этом доказательства Лоренца и Хевисайда очень похожи. И непонятно, почему Мэннебек обратился к Лоренцу, а не к Хевисайду, который в 1922 г. был жив, находясь в здравом уме и твердой памяти, и вполне мог ответить на любой вопрос такого рода. По-видимому, Мэннебек полагал, что Хевисайда уже нет в живых. Некоторым основанием для такой точки зрения было то, что Хевисайд к тому времени уже десять лет не посылал в печать своих работ. Естественно было прийти к выводу, что он умер. Некоторые (и их было немало) так и думали.

Хевисайд об этом знал. В его письме к Беренду, написанном примерно в 1918 г., есть такие строки:

«Мой друг, работающий теперь на авиационном заводе в Фарнборо, рассказал мне забавную историю о своей поездке в Соединенные Штаты несколько лет назад. Он упомянул обо мне и получил такую поразительную информацию: «Хевисайд? Он еще жив? Я думал, что он был одним из классиков». Вот это настоящая слава, не так ли? И я могу прожить еще 20 лет, если спасусь от ревматизма и холода, этих английских проклятий, и буду иметь удовольствие снова услышать замечания такого рода... Так что, как видите, имеются и компенсации. Осмелюсь сказать, что я лучше известен как классик в Соединенных Штатах, чем в Британии»⁶.

Все же, хотя Хевисайд и считался (и с полным основанием) классиком, далеко не все знатоки электромагнитной теории даже в Соединенных Штатах могли похвастаться тем, что хорошо знакомы с его работами. Вот характерный пример.

Через 16 лет после смерти Хевисайда, в 1941 г. в Соединенных Штатах вышла из печати прекрасная книга Дж. А. Стрэттона «Теория электромагнетизма»¹⁴¹, полностью сохранившая свое значение и в наши дни. В книге девять глав, и почти к каждой из них автор подобрал трудные в решении, но принципиально важные для понимания задачи, которые предлагаются читателю. Среди задач, помещенных после девятой главы, есть задача № 42. Она заключается в том, что читателю предлагается доказать теорему Хевисайда о работе внешней силы на создание установившегося состояния. Задача поставлена для случая сплошной среды, обладающей поляризацией и проводимостью. Сформулировав теорему, Стрэттон сообщает, что она была впервые высказана Хевисайдом в его «Работах по электричеству» (т. 2, с. 412) и доказана Лоренцем¹⁰⁵. Аналогичная теорема для электрических цепей приведена у Пирса в его книге «Электрические колебания». Такой выдающийся знаток электромагнитной теории, как Джулиус Адамс Стрэттон, не знал, что теорема не только сформулирована, но и доказана Хевисайдом.

В июне 1902 г. Хевисайд написал статью «Теория электрической телеграфии» для десятого издания «Британской энциклопедии». Сам факт, что эта статья для столь престижного издания была заказана именно Хевисайду,

говорит о том, что в теории связи Хевисайд был признанным авторитетом. В этой статье в полной мере проявилось совершенно новое понимание, которое внес Хевисайд в теорию распространения волн вдоль проводников. Это были не волны тока и не волны напряжения, бегущие вдоль проводников, а электромагнитные волны, бегущие вдоль линии в пространстве, окружающем провода. Первый абзац статьи Хевисайда точно отражает то новое, что внес Хевисайд в понимание проблемы:

«Теория электрического телеграфа, начатая работами У. Томсона (лорда Кельвина) в 1855 г. и сыгравшая важную роль при прокладке атлантического кабеля и вообще в кабельной телеграфии, теперь вошла в более широкую теорию как ее предельный случай. Эта более широкая теория основана на максвелловской теории электромагнитного излучения и может быть поэтому названа радиационной теорией. Новейший вид электрической телеграфии, обычно называемой «беспроволочной телеграфией», выросший из экспериментальных исследований Герца, также описывается этой более общей теорией. Главная трудность заключается в том, чтобы объяснить, какие задачи выполняют провода. Что касается радиационной части, которая имеет фундаментальное значение, то это — сравнительно легкая часть проблемы»¹⁰⁶.

Дальше в этой не очень большой статье (около 7000 слов) содержится очень ясное качественное изложение теории распространения поля вдоль проводов. Это изложение построено примерно так же, как уже упомянутый выше и помещенный в первом томе «Электромагнитной теории» качественный анализ распространения плоской волны вдоль двух параллельных идеально проводящих цилиндрических тел. В этом случае линии электрического поля волны начинаются на поверхности одного цилиндра и заканчиваются на поверхности другого, при этом линии поля лежат в плоскости, перпендикулярной образующим цилиндров. Линии магнитного поля представляют собой замкнутые кривые в той же плоскости, перпендикулярной образующим. Каждая замкнутая кривая окружает либо один, либо другой проводник. В каждой точке линии электрического и магнитного полей перпендикулярны. Рассмотренная картина поля распространяется вдоль проводов без искажения и затухания со скоростью света.

Хевисайд рассматривает и другую модель, когда плоская линейно поляризованная электромагнитная волна распространяется в пустом пространстве между двумя

горизонтальными идеально проводящими плоскостями (или достаточно протяженными пластинами).

В пространстве между плоскостями электрическое поле перпендикулярно плоскости и поэтому не наводит на поверхности плоскостей никаких токов. Магнитное поле параллельно поверхности плоскостей. Теперь можно оставить только поле между плоскостями, а поле во внешнем пространстве считать равным нулю. Внутри этого плоского волновода поле будет таким, как будто волна распространяется в неограниченном пространстве.

Эти примеры проясняют, по крайней мере частично, какова роль проводов в телеграфии. Провода ведут волну из одного места в другое без потерь и позволяют это сделать с ограниченной затратой энергии. Без проводов для передачи сигнала нужна была бы полная неограниченная плоская волна во всем пространстве. Иначе возникло бы расщивание волны во все стороны, а это сопровождалось бы уменьшением энергии, текущей в нужном направлении.

Хевисайд в этой статье, конечно, рассматривает и математический аппарат теории (хотя и не столь подробно, как в первых томах «Электромагнитной теории»). Но основное место уделяется разбору именно качественных сторон проблемы. Причем этот качественный разбор оказывается таким насыщенным, что читателю ясно: автор излагает без формул, словами, результаты подробнейших математических исследований, проделанных им же самим. Это, в частности, относится к разбору роли неоднородностей в линии.

Рассматривается также и роль индуктивной нагрузки. Хевисайд излагает свое предложение, сделанное девятью годами ранее: включать в линию регулярно расположенные индуктивные катушки. Он говорит, что нужно проводить опыты в этом направлении, и замечает: «В Великобритании ничего не сделано для того, чтобы осуществить изобретение автора; но в Америке доктор Пьюпин добился некоторого успеха. Он сообщил об опытах, подтверждающих пользу от изобретения автора. При включении катушек дальность телефонной связи возросла в пять раз».

В конце статьи Хевисайд, по сложившейся привычке, упомянул о своих разногласиях с У. Присом, своим главным оппонентом, и, как обычно, сделал это в довольно ядовитой форме. Он мог бы и не делать этого — всем

теперь было ясно, что теория Хевисайда верна и плодотворна, а возражения оппонентов неосновательны.

В этой статье, написанной в 1902 г., Хевисайд не только изложил свои известные результаты по теории проводной связи. Он сделал одно короткое замечание, вся важность которого была оценена лишь впоследствии (больше, чем через двадцать лет после опубликования). Хевисайд и здесь обогнал свое время.

Показав, как проводники ведут волну вдоль линии, Хевисайд дальше написал:

«Нечто подобное имеет место в «беспроволочной» телеграфии. Морская вода, хотя и прозрачна для света, имеет вполне достаточную проводимость для того, чтобы вести себя как проводник по отношению к волнам Герца, и Земля также имеет проводимость, хотя и меньшую. Поэтому волны Герца приспособляются к поверхности моря точно так же, как они следуют вдоль проводов. Без сомнения, нерегулярности ухудшают распространение, но главные волны следуют кривизне Земли и не уходят от нее. Есть и другое соображение. Возможно, что существует достаточно проводящий слой в верхней атмосфере. Если это так, то волны будут, так сказать, захвачены этим слоем в большей или меньшей степени. Тогда, с одной стороны, волну будет вести море, а с другой — этот верхний слой».

В трех последних фразах из приведенного отрывка содержится возможное объяснение дальней радиосвязи. В то время, когда Хевисайд писал эти строки, уже были проведены первые успешные опыты по радиосвязи через Атлантику. Эти опыты имели огромное значение и повели к быстрому развитию радиосвязи, или, как ее называет Хевисайд, «беспроволочной телеграфии».

Хевисайд никогда не занимался практической радиосвязью. Но он с большим интересом следил за работой Маркони и инженеров Британского телеграфного ведомства по практическому использованию радиоволн для связи. Сначала расстояния, на которых осуществлялась радиосвязь, были малы. Для теоретического объяснения опытов было достаточно считать Землю (или поверхность моря) плоской, а излучающую антенну — расположенной над плоской границей раздела двух сред. Соответствующие расчеты были сравнительно просты, во всяком случае, математических трудностей здесь не было.

Успехи в передаче радиосигналов на малые расстояния пробуждали надежды на гораздо более важные дос-

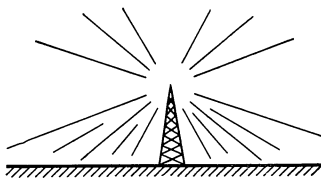


Рис. 25

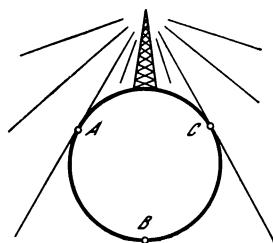


Рис. 26

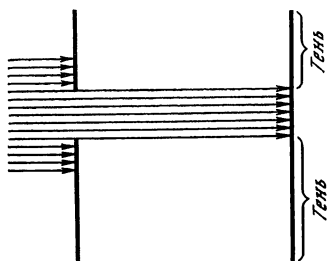


Рис. 27

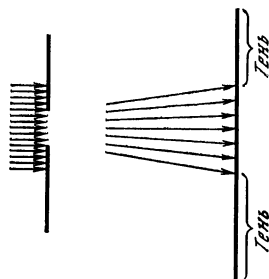


Рис. 28

тижения. Мы уже приводили письмо Фицджеральда к Хевисайду, где говорилось о «возможности телеграфии на свободных волнах в Америке». Письмо было написано в 1899 г., а уже в декабре 1901 г. Маркони успешно осуществил радиосвязь между Европой и Америкой. Но вопрос о том, почему такая связь оказалась возможной, в то время не имел еще ответа. Чтобы понять, в чем состояла трудность, рассмотрим сначала связь на малые расстояния. Тогда поверхность Земли можно считать плоской (рис. 25). Передатчик, помещенный на мачте, посылает во все стороны радиоволны. Очевидно, радиолуч может попасть в любую точку земной поверхности, — каждой точке приема отвечает свой луч.

Рассмотрим теперь радиосвязь на большие расстояния. Тогда Землю уже нельзя считать плоской (рис. 26). Видно, что радиолучи, прямолинейно распространяясь, не могут попасть на ту часть поверхности Земли, которая соответствует дуге ABC . Там, следовательно, приема быть не может. Но опыт показал, что и на дуге ABC , т. е., как говорят, в области радиотени, прием все же происходит. При определенных условиях сигнал может быть принят в любой точке земной поверхности.

Почему же это происходит? Одной из возможных причин является дифракция радиоволн. Явление дифракции заключается в следующем. Возьмем параллельный пучок световых волн, и пусть этот пучок падает на непрозрачный экран с отверстием (рис. 27). Позади этого экрана поместим другой плоский экран. Тогда мы можем ожидать, что на втором экране будет светлое пятно, форма которого точно воспроизводит форму отверстия, а во всех остальных точках экрана будет темнота — они попадут в область тени.

Однако опыт показывает, что этого не происходит. Луч, проходящий вблизи от края отверстия, отклоняется, и картина прохождения волн через отверстие выглядит примерно так, как показано на рис. 28. Это означает, в частности, что волны могут попасть в область геометрической тени. Такое отклонение волн от первоначального направления называется дифракцией.

При радиосвязи дифракция приводит к тому, что радиоволны могут огибать Землю, как показано на рис. 29. Большая часть энергии, излученной передатчиком, уходит от Земли, но некоторая часть излученной энергии распространяется вдоль поверхности Земли, следуя ее кривизне. К этому приводит эффект дифракции.

Фицджеральд как раз и думал, что именно дифракция радиоволн на сферическом теле, каким является земной шар, может обеспечить радиосвязь через Атлантику.

Хевисайд предложил другой механизм (рис. 30). Те лучи, которые уходят от Земли, падают на отражающий слой, расположенный на большой высоте, и попадают обратно на Землю. Они могут снова отразиться от Земли и снова попасть на отражающий слой, а затем снова вернуться на Землю. Таким образом, если действительно, как предположил Хевисайд, над Землей существует слой, отражающий радиоволны, становится возможной радиосвязь между двумя любыми точками земной поверхности.

Отметим здесь, что одновременно с Хевисайдом предположение о существовании проводящего слоя, расположенного на большой высоте, сделал американский ученый Кеннелли. Были и более ранние предположения о существовании высоко в атмосфере области с электрической проводимостью (Бальфур Стюарт, 1882 г. и Шустер, 1887 г.).

Когда в «Британской энциклопедии» появилась статья Хевисайда о телеграфии, его замечание о возможном существовании проводящего слоя на большой высоте не

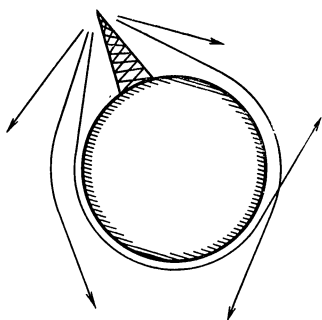


Рис. 29

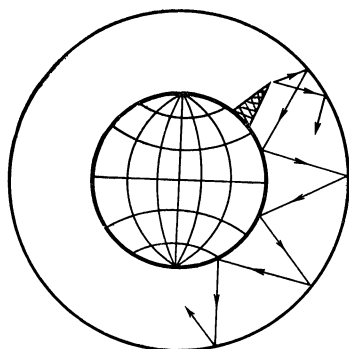


Рис. 30

Рис. 31



привлекло внимания. Главной причиной, объясняющей успешную радиосвязь Европы с Америкой, считали дифракцию радиоволн вокруг Земли. Сразу после 1902 г. появилось большое число математических работ, в которых исследовалась проблема, поставленная Фицджеральдом перед Хевисайдом, — проблема дифракции радиоволн вокруг проводящей Земли. Эти исследования были очень сложны, потому что решение любой или почти любой задачи о дифракции наталкивается на большие математические трудности. До настоящего времени точные решения задач дифракции можно сосчитать по пальцам. Хевисайд писал в одном из писем, имея в виду работы, посвященные дифракции радиоволн: «эти ужасные дифракционные вычисления».

Но «ужасные дифракционные вычисления» все же были проделаны. Сравнение их с опытом показало, что одна только дифракция волн вокруг Земли не может объяснить дальние радиопередачи. Наиболее полные сравнения результатов, которые давала теория дифракции, с опытом были проведены известным голландским радиофизиком Б. Ван-дер-Полем. Он пришел к выводу, что для объяснения наблюдаемой связи нужно учитывать и другие факторы и главным образом фактор, от-

меченный Хевисайдом,— отражение волн от проводящего слоя, расположенного высоко над Землей.

Этот слой еще не был обнаружен на опыте, но в ряде исследований уже к началу первой мировой войны стали изучать свойства этого предполагаемого слоя и его влияние на распространение радиоволн. В 1912 г. У. Х. Экклз развил гипотезу Хевисайда более подробно. Он предположил, что на большой высоте над Землей имеется область, где газ ионизован, т. е. атомы газов, входящих в состав воздуха, разделяются на электроны и положительно заряженные ионы. И электроны и ионы под действием электрического поля перемещаются, ионы — по полю, а электроны — против поля. В такой ионизованной области под действием электрического поля возникает ток, т. е. эта область обладает проводимостью, а это означает, что электромагнитные волны, падающие снизу на границу этой области, частично отражаются к Земле, причем амплитуда отраженной волны тем больше, чем больше проводимость ионизованного слоя. Экклз, в частности, считал, что коэффициент преломления такого слоя меньше единицы и меняется с высотой. Это приводило к тому, что радиолуч, приходящий от Земли в такую проводящую область, постепенно менял свое направление, отклоняясь книзу, и в конце концов уходил опять к Земле. Еще позднее было учтено, что на свойства этой ионизованной области заметно влияет земное магнитное поле ¹⁰⁷.

К началу 20-х годов существование отражающей области в верхней атмосфере уже признавалось многими исследователями и делались попытки косвенно определить свойства этой области. Прямой эксперимент, подтверждающий существование отражающей области, был проведен в 1924 г., через 22 года после того, как Хевисайд высказал предположение о существовании отражающего слоя. Эксперимент был проведен Эпплтоном и Барнетом ¹⁰⁸.

Схема опыта Эпплтона и Барнета изображена на рис. 31. В Оксфорде находилась приемная станция, принимавшая сигналы передатчика, расположенного в Борнмуте. Очевидно, если существует отражающая область, то в Оксфорд из Борнмута приходят два луча: прямой, идущий параллельно земной поверхности, и луч, отраженный от проводящего слоя. Видно, что пути, проходимые этими лучами, различны. Если пути отличаются на целое число волн, то прямой и отраженный пучки

будут усиливать друг друга в месте приема. Если же разница путей равна нечетному числу полуволн, то пучки будут взаимно гаситься. Меняя длину волны, посылаемой из Борнмута в Оксфорд, и измеряя возникающую при этом последовательность максимумов и минимумов сигнала, принятого в Оксфорде, можно определить пути прямого и отраженного лучей, а затем из простых геометрических соображений — и высоту точки, где произошло отражение луча. Таким путем Эпплтон и Барнет в декабре 1924 г. получили прямое подтверждение того факта, что существует отражающая область на высоте примерно 90 км над Землей. Эта отражающая область получила название «слой Хевисайда—Кеннелли».

Через два года Эпплтон впервые обнаружил вторую отражающую область на высоте 200 км над земной поверхностью. Он вел измерения, используя радиоволны с меньшей длиной волны, чем в первый раз. Эти волны прошли («пробили») нижний отражающий слой и отразились от более высоко расположенного слоя.

Неизвестно, дошла ли до Хевисайда весть о первых опытах Эпплтона и Барнета, проведенных в декабре 1924 г. В это время Хевисайд был уже тяжело болен. 2 января 1925 г. он был помещен в больницу, а 3 февраля того же года умер. Во всяком случае, слой Хевисайда был обнаружен на опыте еще при его жизни, хотя и через 22 года после сделанного им предсказания.

Скажем здесь несколько слов о дальнейшей судьбе этого открытия.

Мы знаем, что воздух не проводит электрического тока. Однако под влиянием внешних воздействий воздух может быть проводником. Например, достаточно быстрые заряженные частицы ионизуют атомы газов, составляющих воздух, т. е. выбивают из этих атомов электроны. В результате процесса ионизации нейтральный атом превращается в две частицы: отрицательно заряженный электрон и положительно заряженный ион, который гораздо тяжелее электрона. Так в воздухе появляются свободные носители заряда, которые могут перемещаться в электрическом поле и обуславливают проводимость. Ионизация воздуха может происходить не только под действием быстрых частиц, но и под влиянием некоторых других воздействий. В частности, ультрафиолетовое излучение также может, проходя через воздух, приводить к ионизации атомов и создавать таким путем проводимость.

Верхние слои атмосферы все время испытывают целый ряд воздействий, приводящих к ионизации атомов. Это жесткая часть солнечного излучения (ультрафиолетовые и более короткие волны), поглощаемая в верхней атмосфере и вызывающая ионизацию. Это и потоки частиц, идущих на Землю от Солнца. Они также производят ионизацию в атмосфере. Это и космическое излучение, приходящее на Землю из далеких областей, находящихся за пределами нашей Галактики. Все эти и некоторые другие факторы и приводят к тому, что атмосфера на большой высоте представляет собой ионизованный газ, способный проводить электрический ток. Проводящая среда поглощает и отражает электромагнитные волны. Этим и обусловлено отражение радиоволн от слоя Хевисайда—Кеннелли. Теория распространения радиоволн в проводящей атмосфере очень сложна, потому что плотность и проводимость атмосферы меняется с высотой, кроме того, ионизованный газ в верхней атмосфере находится под воздействием магнитного поля Земли, и это обстоятельство необходимо учитывать — ионизованный газ в магнитном поле приобретает такие оптические свойства, как двойкопреломление, т. е. в каждом данном направлении в такой среде могут распространяться две волны одной частоты, но с разными фазовыми скоростями, причем вектор поляризации у одной из этих двух волн вращается вправо, а у другой — влево.

Постепенно название «слой Хевисайда» вышло из обихода и теперь область, занятую ионизованным газом, называют «ионосфера». Хевисайду и тут не повезло.

Свойства ионосферы сейчас довольно хорошо изучены. Если можно так сказать, ионосфера — живой организм, чутко реагирующий на время суток (ночью степень ионизации меньше, чем днем), на состояние солнечной активности, на процессы в атмосфере и еще на многие факторы. Нам здесь в первую очередь важно, что все эти факторы сильно влияют на радиосвязь, но следует иметь в виду, что ионосфера существенно определяет не только радиосвязь, но и целый ряд геофизических и геомагнитных явлений.

Отметим еще, что отражающие свойства ионосферы неодинаковы для волн разных частот. Волны с достаточно высокой частотой (грубо говоря, волны, длина которых меньше нескольких метров), пробивают ионосферу и уходят от Земли. Связь на таких волнах возможна в пределах прямой видимости, а если передатчик и прием-

ник отделены друг от друга изгибом земной поверхности, связь резко ухудшается.

Здесь нет места для подробного разбора явлений в ионосфере и их влияния на радиосвязь. Это теперь — большая область радиофизики и не только радиофизики.

Глава четырнадцатая

С февраля 1899 г. Хевисайд жил совершенно один в Бредли Вью (так назывался дом в городке Ньютон Эббот в графстве Девоншир). Он сам заботился о себе, убирал дом, покупал припасы, готовил пищу. Вот отрывок из его письма к доктору Силу с описанием готовки на кухне:

«День назад я делал джем из нескольких яблок, которые еще не были украдены мальчишками, и из небольшого количества несъедобной черной смородины. Но я не создан для готовки. Я забываю. Тогда это все подгорает, превращается в золу, что и обнаруживается через несколько часов. Или, если я варю яйцо, я отвлекаюсь из-за какого-нибудь громкого разговора. Или я не налил воды. Или она вся выкипела»⁴¹.

В 1904 г. друг Хевисайда доктор Сил женился. На рождество в 1905 г. Сил и его жена приехали в Торки. Он пишет:

«Это был первый праздник из семнадцати, проведенных нами здесь при жизни Оливера. Мы отправились повидаться с ним в Бредли Вью, Ньютон Эббот, и он напоил нас чаем. Чаепитие было немного странным, потому что носик заварного чайника был забит чайниками и приходилось достаточно круто наклонять чайник, чтобы чай вытекал сверху через край. Он, как мог, старался, чтобы что-то попало в чашки. Из чашки моей жены он ложкой выловил большую часть чайнок. Но все мы наслаждались обществом друг друга. Каждый раз, с одним только исключением, мы, приезжая в Торки, наносили ему несколько визитов, сначала в Ньютон Эббот, а после в Торки [В 1908 г. Хевисайд переехал из Ньютон Эббот в Торки. — *Б. Б.*].

Последний раз мы видели его в Бредли Вью на рождество 1907 г. Мы нашли его в жалком состоянии. Он был

весь желтый от желтухи или какой-то подобной болезни и весь дрожал. Он сидел наверху и следил за тем, как бы мальчишки не начали бросать камни и не разбили еще одно окно. Мальчишки дразнили его и писали надписи на его калитке»⁴¹.

В эти годы продуктивность работы у Хевисайда заметно снизилась. Домашние заботы отнимали много времени, пришли болезни, сил на научную работу оставалось мало. Он продолжал заниматься вопросами излучения движущихся источников, рассматривал некоторые задачи по теории проводной связи, заинтересовался теорией нелинейных волн. По каждому из этих вопросов он опубликовал одну-две работы. Но все это носило характер завершающих исследований. Его все больше захватывала теория тяготения. Он изучал проблемы теории тяготения, обдумывал возможную связь тяготения и электромагнетизма. Он ничего не публиковал по этому вопросу, желая предварительно добиться для себя ясности. Наброски, фрагменты, краткие замечания, вычисления на отдельных листках — он пока ограничивался этим.

Одиночество тягостно для человека. По-видимому, потребность общения столь же важна для человека, как и потребность есть, пить и спать. Если у человека нет пищи, он погибает от голода. Если нет воды — погибает от жажды. Если человек лишен общения с себе подобными, он рано или поздно начинает вести себя странно для окружающих. Хевисайд жил как отшельник, особенно трудной для него была жизнь в Ньютон Эббот. Но он не был лишен человеческого общения. Правда, гостей у него было немного и приезжали они редко. Но он получал много писем, отвечал на них, размышлял над интересовавшими его проблемами, посылал статьи в научные журналы. И он умел отдыхать в одиночестве.

Впрочем, это не было полным одиночеством. Оливер любил птиц. Он кормил их в своем саду, и птицы не опасались его. У него была знакомая малиновка, которая стала совсем ручной, она даже залетала внутрь дома и не боялась не только Оливера, но и его редких гостей. Доктор Сил вспоминает, как эта малиновка садилась к нему, Силу, на руку и брала крошки прямо из его пальцев. Позднее появилась еще одна малиновка. Оливер писал о ней в своих письмах к Силу. Вот отрывок из одного письма:

«Малиновка в полном здравии. В данный момент она на столе. Забавно видеть, как она танцует перед зеркалом, восхищаясь собой. Время от времени она клонит свое отражение. Она, конечно, знает, что отражение — это ерунда»⁴¹.

В 1908 г. Хевисайд переехал в город Торки, где жил его брат Чарлз с семьей. В письме к Силу Хевисайд писал: «Моя длительная болезнь заставила меня переехать, чтобы иметь возможность прожить следующую зиму. И чтобы иметь разнообразную диету, домашний комфорт и т. д.»

На самом деле к переезду в Торки привела инициатива его родственников. Они, как могли, старались помочь Оливеру, но это было нелегко, потому что Оливер имел до крайности независимый характер. Сил, вспоминая об отношениях Оливера с родственниками, пишет: «Я полностью уверен в том, что они сделали для него все, что было возможно перед лицом его нежелания принять доброту».

Когда Хевисайд болел в Брэдли Вью, к нему приезжала его племянница, дочка Чарлза, чтобы за ним ухаживать. Его племянник Чарлз Т. Хевисайд, сын его брата Чарлза, вычертил много чертежей для статей своего дяди. Он же сделал единственные известные фотографии Оливера.

Встревоженные положением Оливера, родственники постарались сделать так, чтобы он жил поближе к ним. В городе Торки, по адресу Хоумфилд, Лоуэр Уорберри Роуд, жила в собственном доме Мэри Элиза Джонс Уэй — единственная сестра Сары Хевисайд, жены Чарлза Хевисайда. С ней договорились, что Хевисайд переедет в ее дом и будет там жить в качестве «платящего гостя» с оплатой в 100 фунтов в год. Мисс Мэри Уэй (ей было тогда 66 лет) сдала Хевисайду верхнюю половину дома.

Доктор Сил пишет про мисс Уэй: «Это была полная женщина, страдавшая от подагры, но у нее было истинное достоинство, хорошая осанка и чувство юмора. Она имела прекрасный девонширский темперамент и доброе сердце».

Заботы мисс Уэй во многом облегчили жизнь Хевисайда, и он смог продолжать свою научную работу. Но для мисс Уэй он оказался трудным постояльцем. Ее доброта и понимание личных особенностей Оливера позволили ей в течение ряда лет смягчать конфликты, возникавшие между нею и «нанимателем». Оливер был вы-

сокого мнения о личных качествах мисс Уэй и по-своему заботился о ней. Но в то же время он доставлял ей много неприятных минут, хотя неприятные переживания большей частью вскоре смягчались, благодаря не покидавшему мисс Уэй чувству юмора.

Коль скоро Оливер платил 100 фунтов в год за свое пребывание в доме мисс Уэй, он считал, что она находится у него на службе. А раз она ему служит, она никоим образом не должна уклоняться от исполнения своих обязанностей. Однажды он сказал мисс Уэй: «Вы должны передать своим друзьям, чтобы они не ходили к Вам». «Почему?» — удивилась она, и он ответил: «Потому что Вы обязаны работать»⁴¹.

Доктор Сил с женой много раз бывали в Хоумфилде. Как правило, они приезжали к чаю. После краткой общей беседы Оливер уводил Сила в свой рабочий кабинет, а мисс Уэй занимала миссис Сил интересными сообщениями об очередных проделках Оливера. Многие случаи вызывали у нее большое огорчение, но были и смешные стороны, и она часто не могла удержаться от смеха. Он называл ее «дитя мое». Он редко отдавал себе отчет, сколь многим он ей обязан (иногда, правда, он это понимал), и, не задумываясь, доставлял ей много трудностей. Он заставил ее подписать «соглашение», где были, в частности, такие пункты:

«Мисс Уэй соглашается никогда не выходить из дома без разрешения Оливера Хевисайда;

мисс Уэй соглашается носить теплое шерстяное нижнее белье и тепло одеваться зимой».

Если мисс Уэй выходила и не возвращалась к тому времени, когда Оливер ее ждал, она могла найти его в саду, с горящей свечой в руках, «занятого поисками ее бездыханного тела». Он сам очень любил тепло и боялся, что мисс Уэй, может быть, недостаточно тепло одевается, а потому может простудиться и умереть — а что тогда с ним будет? Он много раз высказывал такие опасения доктору Силу и его жене, а один раз даже обратился с просьбой к миссис Сил, не может ли она выяснить, что одевает мисс Уэй.

В рабочем кабинете Хевисайда помещалась его «картинная галерея». Часть площади одной из стен, приблизительно десять футов в длину и шесть в высоту, была покрыта портретами самых разных людей, большей частью тех, кого он знал по их научным трудам. Над камином висела картина (доктор Сил пишет: «хорошая

картина»), изображающая мальчика Иисуса в храме, сидящего среди богословов и ведущего с ними беседу. Картина принадлежала мисс Уэй, хозяйке дома.

Отношение Хевисайда к религии было противоречивым. Он хорошо знал Священное писание еще со школьных лет и в своих книгах иногда приводил взятые оттуда подходящие к случаю притчи и выражения. С другой стороны, у него встречаются высказывания, явно расходящиеся с заповедями христианской религии. Например, в предисловии к третьему тому «Электромагнитной теории» он написал: «Любить своих врагов столь же неправильно, как и ненавидеть друзей». Он не заявлял, что имеет общепринятые религиозные воззрения, но и не высказывался резко против веры. Впрочем, в последние два или три года своей жизни он писал в Норвегию профессору Бьеркнессу письма, где высказан ряд довольно горьких замечаний о религии, как он ее понимал. Добавим еще, что сохранился листок бумаги, на котором Хевисайд записал свои мысли, связанные с религиозными представлениями о загробной жизни. Из этой записки, содержание которой мы еще приведем, видно, что Хевисайд придерживался (по крайней мере, в этом вопросе) атеистических воззрений.

Постепенно в научном мире все больше осознавалось значение трудов Хевисайда. Одним из свидетельств этого явилось избрание Хевисайда в 1905 г. почетным доктором Геттингенского университета. Это было очень высокое научное отличие. Геттингенский университет был одним из мировых центров развития математических и естественных наук.

В дипломе Геттингенского университета о Хевисайде говорилось:

Знаменитый муж
Оливер Хевисайд

Англичанин по национальности, проживающий в Ньютон Эббот



Рис. 32. Мисс Мэри Уэй (фотография сделана доктором Силом около 1910 г.)

Изогранный в искусстве анализа
Исследователь частиц, называемых электронами
Стойкий, плодовитый, счастливый, хотя и ведущий одинокую
жизнь,
Однако среди распространяющих учение Максвелла несом-
ненно первый.

Все это было написано по латыни. Хевисайду вместе с дипломом прислали несколько копий. Переехав в Хоумфилд, Торки, в дом мисс Уэй, он одну из копий повесил в своем рабочем кабинете, добавив к некоторым словам «увеличительные» окончания: *Wilhelmi — Wilhelmibus*. Еще одну копию Хевисайд подарил Силу.

В 1908 г. Хевисайд был избран почетным членом Института инженеров-электриков. В свое время он был членом Общества телеграфных инженеров, но в 1881 г. был исключен за неуплату членских взносов. Теперь, через двадцать семь лет, он был восстановлен в Обществе (оно к этому времени было преобразовано в Институт инженеров-электриков), причем уже в качестве почетного члена. Это было, конечно, признанием его выдающихся заслуг перед наукой и техникой. Но шутники по-другому объясняли это избрание. Они говорили, что иначе, как почетным членом, Хевисайда избрать нельзя. Если его избрать обычным, не почетным членом, как это уже один раз было, он снова не будет платить членские взносы и его снова придется исключить. А почетные члены Общества не платят членских взносов.

Жизнь Хевисайда после переезда в дом мисс Уэй стала намного легче, чего нельзя сказать о жизни хозяйки Хоумфилда, которой прибавилось немало забот. Но она знала, что ее новый жилец, который был ей дальним родственником, — большой ученый, и она старалась создать для него такие условия, в которых он мог работать без помех. Она была добрая женщина, и ее доброта помогала ей на протяжении многих лет относиться с пониманием к особенностям характера Оливера.

В 1912 г. вышел из печати третий том «Электродинамической теории». Мы уже говорили о том, что эта книга была посвящена памяти Джорджа Фрэнсиса Фицджеральда.

В предисловии к третьему тому Хевисайд писал: «Давным-давно я имел намерение, если обстоятельства будут благоприятствовать, закончить третий том этой

книги примерно к 1904 г., а четвертый — около 1910 г. Но обстоятельства не благоприятствовали». Трудная жизнь, болезни, переезды, материальные затруднения привели к тому, что он работал уже не с такой продуктивностью, как в прежние годы.

Как пишет Хевисайд в начале книги: «Всею свое время: кричать, вежливо разговаривать, молчать, чистить кастрюли и писать книги. Оставим теперь кастрюли, пусть они покрываются копотью, и сядем за работу. Трудно начать, но нужно это сделать».

Эти строки были написаны в 1900 г., когда Хевисайд жил совершенно один в Брэдли Вью. Поэтому упоминание о чистке кастрюль — это не художественный прием, а точное отражение действительности. Ему, действительно, приходилось самому чистить свои кастрюли, и это мешало писать книгу.

В первый том «Электромагнитной теории», вышедший из печати в конце 1893 г., были включены работы Хевисайда, опубликованные им за два с половиной предшествовавших года. Во второй том «Электромагнитной теории» (1899 г.) вошли работы, опубликованные за четыре года (с 1894 по 1898 г.). В третьем же томе собраны работы, выполненные за двенадцать лет. При этом все три тома имеют примерно равный объем.

На первых страницах книги помещены очень интересные соображения Хевисайда о том, как надо преподавать электродинамику. Эти соображения интересны и сейчас, почти через сто лет после того, как они были высказаны.

Хевисайд считает, что начинать надо с определения электрического и магнитного полей, причем предлагаемые им определения основаны на измерении ньютоновских сил, действующих на электрический и магнитный заряды. Это определение полей по силам, которые действуют на источники поля, теперь общепринято, с той только разницей, что магнитный заряд до сих пор не обнаружен и потому магнитное поле определяется по силе Лоренца — по силе, действующей на движущийся электрический заряд. Кстати, сам Хевисайд употреблял термины «электрическая сила» и «магнитная сила» вместо принятых теперь «электрическое поле» и «магнитное поле».

После того как определены электрическое и магнитное поля, надо, по мнению Хевисайда, переходить к рассмотрению таких простых случаев, где и электрическое и магнитное поля существуют одновременно, т. е.

следует, минуя электростатику, сразу переходить к электродинамике, правда, начинать надо с простых примеров.

Это предложение Хевисайда, как и многие другие, опередило свое время. Науку об электричестве и до сих пор нередко преподают начиная с электро- и магнито-статики, т. е. с полей, не зависящих от времени. В этом случае, как известно, электрическое и магнитное поля никак не связаны друг с другом и можно отдельно изучать не зависящие от времени электрическое и магнитное поля. Переменные во времени поля, а тем более электромагнитные волны, обычно изучались в конце курса. Считалось, что это самые сложные разделы науки об электричестве. Кстати, именно такой последовательности придерживался Максвелл в своем «Трактате об электричестве и магнетизме».

У Хевисайда на этот счет была своя точка зрения. «Ниоткуда не следует, — писал он, — что материал, излагаемый ближе к концу курса, например в великой книге Максвелла, труднее, чем тот, который содержится в первой главе его первого тома. Наоборот, некоторые части того материала, который ближе к концу, несравненно легче. Для следующего поколения, вероятно, будет написано много курсов электромагнетизма. И нет никаких соображений в пользу той точки зрения (и много веских соображений против того), что старое и общепринятое начало курса — электростатика (вне связи с общей теорией) — так и будет всегда началом. Кроме всего прочего, разве не следует более легкие части темы излагать раньше, чтобы помочь читателю и расширить его понимание? Я думаю, что было бы совершенно справедливо с точки зрения практики начинать серьезное изложение теории с электромагнитных волн простого вида».

Предварительно, по мнению Хевисайда, следует сообщить изучающим основные опытные факты так, чтобы у студентов было «хорошее знание эксперимента, не обязательно очень глубокое». Затем следует дать уравнения Максвелла и обсудить некоторые их свойства более подробно. После этого, переходя к приложениям, начать с плоских электромагнитных волн в непроводящем диэлектрике. «Математика в этой задаче, даже если входить в такие подробности, как отражение и т. п., пожалуй, оказывается проще, чем в любом другом разделе этой науки, если не говорить о законе Ома и подобных вещах; а физический интерес огромен».

«Вы можете затем перейти к волнам вдоль проводов. Сначала подробная теория передачи без искажений, а затем, исходя из этой теории, можно изложить общую природу эффектов, вызванных практическими отклонениями от идеальной картины. Трудную математику, дающую точные результаты, можно оставить для дальнейшего изучения. И вот, все это и много чего другого оказывается гораздо легче, чем потенциалы, и сферические гармоники, и сопряженные преобразования, наполняющие электростатику; и в электромагнитных задачах содержится гораздо больше материала, развивающего понимание, чем в электростатических. Дальнейшее построение курса остается открытым. Имеются всевозможные пути».

В третьем томе «Электромагнитной теории» всего две главы. Первая из них — «Волны от движущихся источников» — содержит исследования, посвященные определению электрического и магнитного полей, возникающих при движении зарядов и токов в преломляющей среде. О многих результатах, включенных в эту часть книги, уже говорилось выше. Как правило, в этой части рассматривается равномерное движение источника поля в преломляющей среде. При этом скорость источника может быть меньше или больше скорости света в среде. Для обоих этих случаев Хевисайд определяет поле, а для сверхсветового случая определяет также возникающее излучение. В этой части книги также определяется поле источников для такого случая, когда скорость движения испытывает резкие изменения. Например, заряженная частица до какого-то момента времени покоилась, а затем мгновенно ускорилась и дальше движется с постоянной скоростью. При этом возникает излучение, и Хевисайд определяет поле этого излучения.

Вторая глава называется «Волны в эфире». Современный читатель может перевести для себя это заглавие как «Волны в вакууме». В этой главе излагается целый ряд проблем, не всегда связанных друг с другом. Есть здесь несколько задач из теории передачи сигнала по линии. Много места уделено расчетам излучения заряженных частиц при различных законах движения (равномерное движение по кругу, движение по эллиптической орбите, по орбитам другого вида). Есть и параграфы чисто математического содержания.

Вопросы, рассмотренные в третьем томе «Электромагнитной теории», представляют интерес и для современ-

ного читателя, а полученные в этом томе результаты до сих пор не изучены в той мере, в какой они этого заслуживают.

Обычно, оценивая книгу, люди рассматривают то, что в этой книге есть. Но может быть, в данном случае имеет смысл сказать и о том, чего там нет.

Начало XX в. в физике было ознаменовано великими открытиями. В 1900 г. Макс Планк нашел закон, описывающий спектр излучения нагретого тела. Измерения подтвердили этот закон с хорошей точностью. Но любые попытки вывести этот закон из известных законов механики Ньютона неизменно заканчивались неудачей. Планку пришлось сделать предположение, что при излучении волны с частотой ω энергия тела меняется на величину, кратную $\hbar\omega$, где коэффициент пропорциональности \hbar был назван впоследствии постоянной Планка. Получалось так, что энергия световой волны, имеющей определенную частоту ω , не могла меняться непрерывно. Волна как бы состояла из отдельных частиц, каждая из которых имела энергию $\hbar\omega$, и эти частицы могли излучаться по отдельности. Первые несколько лет после того, как Планк пришел к такому странному заключению, его результат подвергался сомнению. Не прекращались попытки вывести формулу Планка для спектра теплового излучения без предположения о том, что энергия волны не может меняться непрерывно. В то время не было понимания того, что трудность со «световыми частицами» имеет место во всех явлениях, связанных с излучением и поглощением света, а не только в случае равновесного теплового излучения. Но в 1905 г. Эйнштейн указал на то, что результат Планка является универсальным, что всегда, во всех случаях энергия световой волны с частотой ω может меняться лишь на величину, кратную $\hbar\omega$. Величину $\hbar\omega$ можно принять за энергию «световой частицы». Приняв универсальность этого соотношения, Эйнштейн смог сразу же объяснить в числе других явлений и закономерности фотоэффекта — явления, при котором свет выбивал электроны с поверхности металла.

Работа Планка и последующая работа Эйнштейна положили начало развитию квантовой физики. Вековой спор между Ньютоном и Гюйгенсом о том, что такое свет — волны или частицы, — разрешился удивительным образом: свет — это и волны и частицы.

Хевисайд, по-видимому, проявил полное равнодушие к этим революционным изменениям во взглядах на элект-

ромагнитное поле. По крайней мере, в его работах не нашлось никаких указаний на то, что это зарождение новой теории его интересовало.

Нет в книге также никаких упоминаний о специальной теории относительности, которая была окончательно сформулирована в 1905 г. в знаменитой работе Эйнштейна. Хотя, казалось бы, Хевисайду должны были быть близки и понятны идеи теории относительности, потому что электродинамика вошла в теорию относительности без всяких изменений — это была первая релятивистски инвариантная теория. Почему так произошло, можно только гадать. По-видимому, причиной является отсутствие непосредственных личных контактов с физиками. Он получал много писем, но это были письма с вопросами, с просьбами о помощи в решении трудных задач. Это были, как правило, письма, посвященные довольно узким вопросам. Или же это были письма от людей весьма квалифицированных, известных ученых, не имевших, однако, достаточной широты взглядов, чтобы заметить и должным образом оценить зарождение нового знания.

Среди его корреспондентов мало кто мог оценить значение таких великих событий, происходящих в физике, как зарождение теории относительности и квантовой механики. Был бы жив Фицджеральд, все было бы иначе. Но он умер, и никто не мог рассказать или написать Хевисайду о самом главном. Сам же он, живя в маленьком городке, не имел возможности следить за научной периодикой. В то время физических журналов было не так много, но он, скорее всего, их не выписывал — не такой у него был достаток.

Избранный Хевисайдом образ жизни давал ему то, что он ценил больше всего на свете, — независимость в научном и во всех иных отношениях. Но жизнь отшельника имеет и свои теневые стороны. Хевисайд не увидел зарождения новой физики.

Последний параграф третьего тома «Электромагнитной теории» называется «Ограничения, налагаемые на научные предсказания». Этот параграф содержит всего одну страницу текста, и мы его здесь приведем:

«Все известные возмущения переносятся или электромагнитными, или гравитационными силами. В первом случае скорость конечна. Во втором случае она тоже может оказаться конечной и иметь ту же величину. ...Тогда, если предположить, что все возмущения переносятся с конечной скоростью, то из этого предположе-

ния немедленно следует, что уничтожение нашего грешного мира может произойти в любой момент без предупреждения. Нет возможности предсказать это бедствие (или, может быть, благодеяние), потому что причина его не может дать нам никакой информации до тех пор, как оно придет, а тогда уж будет слишком поздно принимать меры, чтобы предупредить разрушение. Богословские, метафизические, юридические, моральные и материальные последствия этой неопределенности познания огромны, сколь бы глубоко ни исследовались состояние и законы природы. Но в действительности я не думаю, что это имеет значение. Мы верим по привычке, исходя из прошлого опыта. Тот, кто был вором вчера, остается вором и сегодня, пусть он даже ударится в благочестие или сбежит в дальние края, чтобы избавиться от сложившегося мнения.

То, что относится к катастрофам, то относится, конечно, и к явлениям меньших масштабов, вплоть до мельчайших по человеческим стандартам явлений. Но в природе нет абсолютной шкалы размеров, и малое может быть столь же важно или даже важнее, чем великое. Это приводит нас к другому виду неопределенности, связанному с неизбежным незнанием и не зависящему от приведенных выше соображений. Насколько вселенная неограниченна в большом, настолько же она не имеет пределов и с другой стороны, в малом; и важные следствия могут возникнуть в результате событий, происходящих внутри атомов, и, далее, внутри электронов. Трудностей с необходимой для этого энергией не существует. Большие количества энергии могут быть сконцентрированы с помощью больших сил, действующих на малых расстояниях. Еще неизвестно, как устроен электрон. От атома до электрона большой шаг, но это не конец.

Живая материя иногда, а возможно всегда, упускается из вида, когда высказывается хорошо известное положение, что ход событий в физическом мире определяется его состоянием в данный момент и законами развития. Но я не вижу разумных оснований для исключения живой материи. Потому что мы не знаем, где начинается жизнь, если она имеет начало. Может оказаться, и, возможно, так оно и есть, что не существует окончательного различия между живым и мертвым. Но даже и в том случае, если бы было ясное разделение, непрерывное взаимодействие между живым и мертвым сделало

бы действительно необходимым учет живой материи. Поэтому, если определенность вообще существует, она должна быть приложима ко всей вселенной в целом.

Но почему принцип действия и противодействия нужно рассматривать как фундаментальный? Потому что во всех случаях, когда может быть проведено должное исследование, он оказывается верным и ведет к новому знанию. Кроме того, если бы этот принцип оказался неправильным, это на практике привело бы к хаосу. Даже духовный мир, если он существует, должен быть частью самой природы».

Мы теперь знаем многое, чего не знал Хевисайд, когда писал эти строки. Мы можем, читая его соображения, где-то их существенно исправить, во многом дополнить. Но, несмотря на это, единство и целостность его взглядов производят большое впечатление, не говоря уже о пророческих высказываниях, вроде того, где говорится о внутриатомной и внутриядерной энергии.

В самом деле, проследим за ходом мысли Хевисайда в приведенном рассуждении. Он сначала указывает на возможные катастрофические последствия, причиной которых могут явиться процессы космических масштабов. Затем отмечает, что не менее важные следствия могут возникнуть в результате событий, происходящих «внутри атомов и, далее, внутри электронов». Речь идет о событиях, сопровождаемых выделением больших количеств энергии, и Хевисайд утверждает, что трудностей (по крайней мере, принципиальных) здесь нет, поскольку «внутри атомов» сконцентрированы большие количества энергии за счет «больших сил, действующих на малых расстояниях».

Мы знаем, что опасность для человечества, сосредоточенная в недрах атомов и ядер, стала реальной, не менее реальной, чем опасность гибели от явлений космического масштаба. И опасность эта возникла в результате человеческой деятельности («живой материи» по терминологии Хевисайда).

Глава пятнадцатая

Третий том «Электромагнитной теории» вышел из печати в 1912 г. После этого Хевисайд практически прекратил публикацию своих работ. Он продолжал работу над книгой «Электромагнитная теория» — готовил к печати четвертый том, но если раньше он, как правило, еще до выхода очередного тома из печати, публиковал его основное содержание в виде журнальных статей, то на этот раз он ничего в печать не посылал. Он много работал, и целью его на этот раз было объединение гравитации и электромагнетизма в единую теорию.

В 1914 г. Хевисайду была увеличена пенсия «в признание важности его исследований по высокоскоростной телеграфии и по телефонии на большие расстояния». Премьер-министром Англии в то время был Асквит. Александр Рассел в статье памяти Хевисайда написал: «Асквит увеличил ему пенсию»¹⁰⁹. Пенсия возросла на 100 фунтов и составляла теперь 220 фунтов в год. Это было существенное подспорье для Хевисайда. Он уже не писал статей, за которые мог бы получить гонорар, его книга «Электромагнитная теория» продавалась не очень хорошо. В библиотеке Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР имеется первое издание «Электромагнитной теории». Первый том вышел в 1893 г. По крайней мере, этой датой обозначено предисловие. А продана книга не раньше 1916 г., потому что в конце книги помещен каталог книг издательства «Electrician», датированный маем 1916 г. Вот как долго распродавался тираж первого издания. Хевисайд не окупался.

К этому времени относится начало переписки между Хевисайдом и английским математиком Т. Бромвичем. Мы уже писали о том, что операционное исчисление Хевисайда встретило отрицательное отношение со стороны математиков. Почти никто из них не относился серьезно к этому методу решения линейных дифференциальных уравнений. Но Бромвич заинтересовался операционным исчислением и обнаружил, что методы Хевисайда могут быть строго обоснованы с помощью теории функций комплексной переменной. Решение уравнений методом операционного исчисления Бромвич свел к вычислению контурных интегралов в комплексной плоскости. Он написал об этом Хевисайду, и между ними за-

вязалась оживленная переписка. В письме от 25 апреля 1915 г. Бромвич писал: «...Мой метод начинается с комплексных интегралов. Я боюсь, что это звучит устрашающе, но на самом деле это очень просто... Боюсь, что физики никогда не будут пытаться применить мой метод; но надеюсь, что он даст им больше уверенности при использовании Вашего метода, если они будут знать, что существует независимый метод получения тех же формул.

В реальных расчетах комплексный интеграл появляется только на последней стадии; то, с чем приходится иметь дело,— это функция от переменной λ , которая связана с исходными функциями (такими, как $1/Z(\lambda)$ и т. д.). Тогда применение теоремы Коши

$$\int \frac{\Phi(\lambda) d\lambda}{2\pi i} = \text{сумме вычетов } \Phi(\lambda)$$

дает тот же результат, что и Ваша теорема разложения... Установив, что мои решения дают такие же выражения, что и Ваши, я, наконец, заметил, что интеграл Коши

$$\int \frac{e^{\lambda t} d\lambda}{2\pi i \lambda}$$

дал мне связь между двумя методами. Но, как видите, я начал с другого конца»¹¹⁰.

Некоторые места в приведенном письме нуждаются в пояснении. Слова «комплексный интеграл» означают интеграл от функции комплексной переменной, взятый по выбранному пути в комплексной плоскости. Последний интеграл, приведенный в отрывке из письма Бромвича, дает представление единичной функции Хевисайда, если должным образом выбран путь интегрирования.

На обороте этого письма Хевисайд провел некоторые вычисления, но, по-видимому, встретился с трудностями, потому что написал: «Мне здесь не вполне все ясно».

В письме от 21 мая 1916 г. Бромвич послал Хевисайду копию своей статьи (в которой содержалось рассмотрение операторов с помощью контурных интегралов). Статья эта к тому времени была им направлена в печать. В приложенном письме Бромвич писал: «Но я могу честно сказать, что вопрос о том, как уверенно пользоваться Вашими операторами, занимал меня (то более, то менее) с того времени, как ко мне в руки попала купленная мною Ваша книга «Работы по электричеству»; это было уже 19 лет назад. Решение этой задачи я получил только около двух лет назад, но даже и тогда оно было непол-

ным. Но я видел, как можно шаг за шагом согласовать некоторые вещи между собой.

Теперь я хочу предать гласности свою более общую точку зрения. Я написал работу с полным изложением своего способа, которая может появиться в Трудах Лондонского математического общества, хотя я опасаясь, что она будет сочтена слишком длинной. Но я не могу обойтись без предположения о том, что читателю кое-что известно о методах Коши. В действительности они очень просты, но все же они будут, вероятно, отпугивать людей, которые вполне удовлетворительно могли использовать Ваши операторы»¹¹⁰.

Основа рассмотрения Бромвича заключалась в следующем. Функция Хевисайда $\uparrow(t)$ равна нулю при отрицательных значениях t и равна единице при положительных значениях t . Пусть теперь $f(d/dt)$ — некоторая функция от оператора дифференцирования по переменной t . Тогда, по Бромвичу, можно записать соотношение, выражающее результат действия $f(d/dt)$ на $\uparrow(t)$:

$$f\left(\frac{d}{dt}\right)\uparrow(t) = \frac{1}{2\pi i} \int \frac{e^{\lambda t}}{\lambda} f(\lambda) d\lambda,$$

где интегрирование проводится в комплексной плоскости λ от $c - i\infty$ до $c + i\infty$ (c — конечная положительная величина) и все сингулярности подынтегрального выражения находятся слева от пути интегрирования (т. е. с той стороны, где находится точка $\lambda = -\infty$). Если интеграл, стоящий в правой части этого соотношения, может быть вычислен, то мы знаем в явном виде результат действия оператора $f\left(\frac{d}{dt}\right)$ на функцию $\uparrow(t)$. Метод Бромвича очень похож на метод определения функции, если известно ее преобразование Лапласа. По существу, Бромвич обосновал операционное исчисление с помощью преобразования Лапласа.

Таким образом, Бромвич разработал метод, который был строгим с математической точки зрения и давал те же результаты, что и операционное исчисление в том виде, в каком оно было разработано Хевисайдом.

Но, получив обоснование операционных методов Хевисайда, Бромвич за последующие несколько лет пришел к заключению, что на практике более удобно прямо использовать именно методы Хевисайда в их первоначальном виде, а не метод контурных интегралов. В письме от 5 апреля 1919 г. Бромвич писал Хевисайду:

«Вернувшись к этому вопросу после двух с половиной лет военной службы, я увидел, что охотнее работаю с операторами, чем с комплексным интегрированием. Отдавая себе отчет в том, что я, по-видимому, лучше знал эти комплексные интегралы, чем средний читатель журнала «Philosophical Magazine», я вдруг увидел, что мне следует отдать первенство операторному методу. В соответствии с этим комплексные интегралы переместились в подстрочные замечания. Я все еще считаю, что комплексные интегралы полезны для того, чтобы убедить чистейшего из чистых математиков в полной обоснованности операторного метода. Но рабочим инструментом во всех такого рода делах является, я уверен, именно операторный метод.

Дам Вам некоторое представление о том, как далеко я продвинулся по направлению к Вашей точке зрения. День назад мне пришлось вычислять один ряд Фурье (для средней температуры шара, если он охлаждается от некоторого постоянного значения температуры, причем температура поверхности равна нулю). Оказалось, что с помощью операторного метода я могу получить результат в уме. Но я никогда и не мечтал проделать такое с рядом Фурье без карандаша и бумаги (или без книги, где можно посмотреть на результат).

В соответствии со сказанным, я написал об этой частной задаче в своей новой статье в «Philosophical Magazine». Но говорить о получении решения в уме казалось мне хвастовством, хотя в действительности это была похвала не мне, а методу»¹¹⁰.

Хевисайд изучал метод Бромвича и применял его в своих вычислениях. Это видно из сохранившихся записей. Возможно, что он не придавал большого значения тому факту, что метод Бромвича мог рассматриваться как строгое математическое обоснование операционного исчисления. Но, во всяком случае, это был независимый метод, и он был интересен для Хевисайда. Кроме того, он ценил интерес Бромвича к операторному исчислению. Нашелся математик, «чистейший из чистых», и вот он заинтересовался методом Хевисайда, которым все остальные математики пренебрегали, считая его ни на чем не основанным. И он, этот «чистый» математик, нашел строгое обоснование метода Хевисайда. И уже совсем было приятно для Хевисайда, что, разработав свой метод контурных интегралов, Бромвич в конце концов пришел к выводу, что удобнее, быстрее и легче можно получить решение, если пользоваться первоначальным методом Хевисайда.

Бромвич и Хевисайд много переписывались, но ни разу не встретились, хотя Хевисайд хотел этого. Бромвич несколько раз приезжал в Торки на отдых, но ни разу не нанес визита Хевисайду. Просматривая местные газеты, Хевисайд обычно внимательно исследовал список визитеров — лиц, приехавших в Торки, надеясь найти знакомые имена. В 1914 г. он писал Силу: «Ваш друг Бромвич не привел свою жену и сам избегал меня». Через шесть лет, в 1920 г., он снова писал Силу: «Доктор Бромвич не пришел, а поскольку я не знал, где он остановился, я не мог его пригласить. Мне очень жаль, что я с ним не встретился». Он хотел увидеться с Бромвичем и был явно разочарован тем, что это не удалось. Сил пишет: «Говорили, что Оливер не любил гостей. На самом деле он бывал рад гостям и у него бывало их больше, чем думают». Некоторых, однако, отпугивала его слава чудака и ехидного человека. Возможно, что именно из-за репутации Оливера как человека со странностями Бромвич избегал его. Но те, кто побывал в гостях у Хевисайда, неизменно сохраняли о нем ничем не омраченные воспоминания. Доктор Кроутер, ученик и сотрудник доктора Сила, посетил Хевисайда в 1914 г. Он потом говорил: «Даже после этой короткой встречи у меня осталось очень глубокое впечатление от Хевисайда. Я никогда не встречал другого такого человека, который, несмотря на внешнюю эксцентричность, поразил бы меня сознанием того, что я встречаюсь с действительно великим умом. Я очень рад, что я посетил его, но я так и не отважился навестить его снова»²⁷.

Начало первой мировой войны, по-видимому, мало что изменило в образе жизни Хевисайда. Он много работал, занимаясь вопросами теории тяготения и электродинамикой. Благодаря попечению хозяйки дома мисс Уэй, он мог работать без помех. Впрочем, с 1911 г. мисс Уэй уже не была владелицей дома — дом и участок Хоумфилд перешли в собственность Оливера. По некоторым намекам можно сделать предположение, что Оливер «купил» дом следующим образом. Дом был заложен в банке на полную стоимость, и деньги были переданы мисс Уэй, как плата за дом. Оливер стал обладателем дома, участка и большого долга. После этого он выплачивал в банк проценты на взятые займы деньги⁴¹.

Мисс Уэй, как мы уже говорили, во многом облегчала жизнь Хевисайда в Хоумфилде. Однако для нее самой жизнь в одном доме с Хевисайдом была трудной, и чем дальше, тем труднее для нее становилось ладить с Хеви-



Рис. 33. Хоумфилд — дом Хевисайда в городе Торки

сайдом, несмотря на всю присущую ей доброту и чувство юмора. Доктор Сил, чаще других бывавший у Хевисайда, пишет:

«Около 1916 г. мисс Уэй, измученная большим напряжением, которого потребовала жизнь в Хоумфилде, стала впадать в угнетенное состояние духа. Ее племянницы приехали однажды с машиной и забрали ее, в чем была. Вместе с ними она приехала в дом Чарлза Хевисайда, где и жила до своей смерти в марте 1927 г.»⁴¹

Сам Оливер отъезд мисс Уэй воспринял по-своему. Это видно из его писем к Р. А. Беренду. В статье, посвященной памяти Хевисайда (мы уже приводили отрывки из этой статьи), Беренд писал: «Его старая экономка, как он писал автору этих строк, сошла с ума, и ее пришлось увезти»⁴⁵.

По этому поводу Сил замечает: «Оливер был настолько далек от контактов с людьми, что его впечатления часто сильно отличались от впечатлений обычных людей при тех же обстоятельствах. Мы видели мисс Уэй на Торвуд Стрит, 27 несколько раз до весны 1926 г. и, вероятно, на рождество в 1926 г. Она быстро восстановила состояние своего духа, была очень оживленной и не вызвала ни малейших подозрений в душевном расстройстве. Это только один пример ловушек на пути биографа, который не встречался лично с Оливером, и существует несколько ловушек такого рода»⁴¹.

После бегства мисс Уэй жизнь Оливера в Хоумфилде стала значительно труднее. Ему снова пришлось взять

на себя множество бытовых забот, от которых его избавляла ранее мисс Уэй. Времени для научной работы оставалось мало. Вдобавок к этому нужно было отвечать на множество писем, приходивших в Хоумфилд. Хевисайд считал своим долгом отвечать на все вопросы, с которыми обращались к нему авторы писем. Физики из Оксфорда, которые писали ему, иногда называли его дом «неистощимой пещерой». Существует легенда, что однажды он получил письмо с адресом: «господину Оливеру Хевисайду, Неистощимая пещера, г. Торки»¹². Если так и было на самом деле, то можно заключить, что Хевисайда знали не только в Оксфорде, откуда пришло письмо, но и в Торки.

В годы первой мировой войны у Хевисайда много раз бывал доктор Л. Силберстейн в связи с подготовкой к печати четвертого тома «Электромагнитной теории». Силберстейн помогал Хевисайду в работе над рукописью. Из воспоминаний Силберстейна видно, что привычки Хевисайда с возрастом не менялись. По словам Силберстейна, Хевисайд любил работать в комнате, где было «жарче, чем в преисподней». Хевисайд, бывало, закрывал дверь и окна в той комнате, где они работали, зажигал газовые светильники, разжигал нефтяную печь, а затем закуривал свою трубку. Через некоторое время в комнате становилось так жарко и душно, что Силберстейн не выдерживал и должен был ретироваться. По замечанию сэра Джорджа Ли, одного из биографов Хевисайда, любовь к теплу Хевисайд разделял с великим французским математиком Фурье⁶.

В 1918 г. Хевисайд был избран почетным членом Американского института инженеров-электриков. Этому событию предшествовал обмен письмами между Хевисайдом и Б. А. Берендом. Беренд убеждал Хевисайда принять избрание. В ответ Хевисайд писал:

«Я полагаю, что почести стали в большой степени чрезмерны. Они обесценивают курс обращения, и я надеюсь, что США не будут следовать Англии в этом отношении. Что касается научных почестей, я думаю, что если ученый получил одно или два отличия в «признание» его заслуг, то умножение отличий не принесет никакой пользы, а может даже привести к другому результату. И все-таки очень неприятно отказываться от этих почестей.

Поэтому я бы хотел после написания своей фамилии не писать F. R. S. (член Королевского общества), заменив эти буквы для компенсации какой-нибудь хорошей почетной степенью, например, словом «доктор». Потому что

почти на каждой улице имеются доктора (или имелись бы, если бы не война, которая улучшила здоровье населения и сократила смертность), и поэтому люди придают значение этому титулу, в то время как F. R. S. совсем ничего для них не означает...

Если бы мне предложили стать герцогом, я принял бы предложение, имея уже свое владение, должным образом заложенное на полную стоимость; и я думаю, что оказал бы честь герцогскому сословию, присоединившись к нему, не говоря уже о том, что я получил бы большое удовольствие от процедуры провозглашения»⁶.

Действительно, в глазах рядового англичанина звание члена Королевского общества вовсе не было отличием может быть потому, что это звание не было связано ни с какими материальными благами. То же самое, по мнению Хевисайда, относилось и к званию почетного члена Американского института инженеров-электриков.

Беренд продолжал уговаривать, и в следующем письме Хевисайд писал: «Я ничуть не меняю своих мнений о разномножении почестей. Но в этом деле Вы, без сомнения, настолько искренни и доброжелательны, что я должен отказаться от всех возражений и оказать себе честь, приняв предложение, сделанное Вами и теми, кто думает так же, как Вы. Ваше письмо — это мое оправдание»⁶.

Хевисайд остался Хевисайдом с его независимым нравом. Это не Американский институт инженеров-электриков оказывал ему честь, избирая своим почетным членом, это он сам себе оказал честь, принимая избрание.

Все почетные отличия никак не облегчали жизнь Хевисайда. Он получает пенсию в 220 фунтов в год. До войны он мог прожить на эти деньги, но после войны цены поднялись, а пенсия не выросла. Хевисайд сначала испытывал материальные затруднения, а потом узнал реальную нужду.

Он любил тепло и расточительно пользовался газом, поэтому у него были испорчены отношения с газовой компанией, а также со сборщиком платы за газ. Хевисайд был полон негодования против «газовых варваров», как он называл газовую компанию, и его негодование распространялось и на сборщика платы за газ. Когда тот приходил, Оливер впускал его в дом, запирали входную дверь, клал ключ в карман, вводил сборщика в свой рабочий кабинет и запирали дверь кабинета тоже. Потом следовали долгие переговоры, после которых сборщик всегда уходил без денег. Однажды полиция описала его мебель, и дело

шло к распродаже, но банк дал ему некоторую ссуду, и распродажа не состоялась⁴¹.

«На рождество 1919 г., — пишет Сил, — я впервые увидел его после четырехлетнего перерыва, вызванного войной. Он явно был несколько возбужден от встречи со мной. Сначала я должен был помочь ему найти утечку газа с помощью горящей свечи. Мы заделали место утечки в гибкой газовой трубе, а затем он приготовил чай. Он высыпал в заварной чайник все содержимое непочатой пачки чая в $\frac{1}{4}$ фунта. Я вынужден был пить этот яд, который он усилил большой дозой сгущенного молока»⁴¹.

В последующие годы Сил и его жена многократно посещали Оливера. Это происходило на рождественские каникулы.

«Обычно мы пили чай на кухне. Он предоставлял миссис Сил хорошую чашку, а мне доставалась полоскательница. Большинство его фарфоровой и фаянсовой посуды ушло по пути, по которому уходит большинство такой посуды. Скатертью служил лист из газеты «Таймс». Чай был подан со сгущенным молоком, и были еще бисквиты и джем двух сортов на выбор, один — сладкий, а другой — кислый, как сказал нам Оливер».

Оливер говорил, что не любит рождества, потому что оно нарушает ритм повседневной жизни, и не понимал, почему люди отмечают этот праздник. Но один раз он заставил Сила и его жену сесть с ним за стол в день рождества. Они обедали в то время, когда должно быть чаепитие, ели холодную курицу, которую сварила ему соседка. Кости Оливер выбросил в сад. Через несколько месяцев он писал, что птицы все еще клюют эти кости. Он очень любил птиц.

«Дом был старый, и хотя узкая старая труба газовой магистрали пропускала достаточно газа для нескольких светильников, его было недостаточно для работы газовой плиты. Тепло было как раз то самое, чего ему не хватало, и он громко протестовал против газовой компании из-за недостаточной подачи газа. Однажды он решил «прочистить трубы». Он разнял трубу возле газового счетчика. Газ пачал выходить из разъема. Он быстро понял, что может произойти взрыв — несколько лет назад у него уже был такой опыт, — и тогда он зажег выходящий газ. Получилось превосходное пламя, но это ему не понравилось. С помощью влажной тряпки он погасил факел и после этого смог восстановить соединение, но обжег руки и лицо. Когда мы первый раз были у него после этого события,

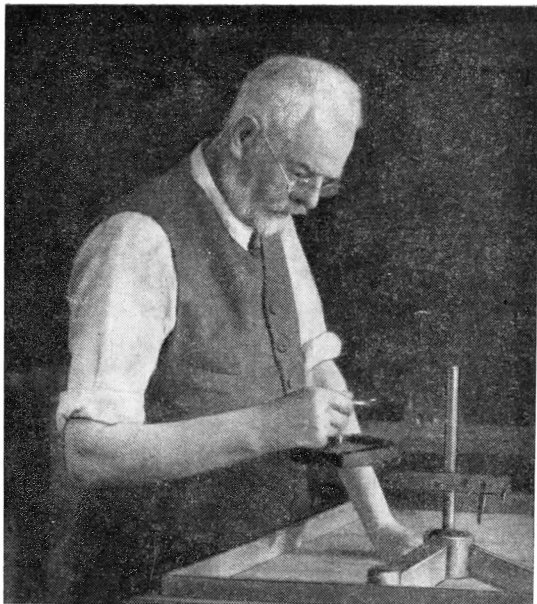


Рис. 34. Доктор Дж. Сил

голова его была покрыта большим одеялом, которое удерживалось веревкой, обмотанной вокруг шеи. Он смотрел на нас одним глазом через щель в этой «драпировке»⁴¹.

В августе 1921 г. газовая компания прекратила подачу газа Хевисайду, так как он не мог заплатить за газ. Любовь Хевисайда к теплу в сочетании с неудовлетворительной системой отопления привела к тому, что расходы на газ возросли до 100 фунтов в год, это составляло почти половину пенсии. С августа 1921 г. по октябрь 1922 г. он не получал газ для освещения и обогрева²⁷.

В начале 1922 г. Хевисайда посетил доктор Эрнст Джулиус Берг из США. Берг преподавал математику. Он решил прочесть курс операционного исчисления (по Хевисайду) и написать учебник по этому предмету для студентов электротехнической специальности. В связи с этим Берг обратился к Хевисайду с просьбой принять его и разъяснить некоторые неясные для него вопросы. Хевисайд охотно согласился. Берг несколько раз приезжал к Хевисайду. Учебник по операционному исчислению Берг издал уже после смерти Хевисайда. Он также записал свои впечатления от знакомства с Хевисайдом¹¹¹.

Приехав в Торки и подойдя к дому Хевисайда, Берг увидел, что входная дверь в доме оклеена разными бумагами, среди которых было приглашение от президента Королевского общества, письма от газовой компании по поводу его долгов, решение не в его пользу, принятое судом графства, реклама краски, заметки о налоге в пользу бедных и т. д. Про Хевисайда Берг пишет:

«Это был удивительно красивый старик, с белоснежными бородой и волосами, твердым, но дружелюбным взглядом и красивыми руками. Он был среднего роста и только с небольшим намеком на сутулость. Хотя слух у него был недостаточный, он был далек от глухоты и вести с ним обмен мнениями не доставляло затруднений. Его зрение было замечательным — он с легкостью разбирал самый мелкий шрифт. Но со здоровьем у него не все было хорошо, и он объяснял это главным образом тем, что в годы мировой войны страдал от недостатка тепла и должного питания. Тем не менее он редко жаловался. Он был оптимист и рассчитывал дожить до очень преклонных лет.

Он был исключительно добрым и щедрым человеком и очень любезным в обращении. Тот, кому посчастливилось узнать его — а автору довелось провести с ним несколько дней, — неизбежно влюблялся в него. Из его дома на вершине холма открывался вид на залив, у берега которого стоял город Торки. Было бы трудно отыскать где-либо более прекрасный вид. Хевисайд восхищался им и часто упоминал об этом в разговоре. У него была душа художника, хотя он никогда всерьез не занимался живописью. У его отца был большой талант, если судить по картине маслом, на которой изображен маленький Оливер, перелезающий через изгородь на пастбище.

Хевисайд жил в одиночестве, и было естественно, что его дом содержался не так хорошо, как могло бы быть. И все же в доме было удивительно чисто. Окна были безупречно чисты. Во время моего второго и последующих визитов я заметил, что ковровые дорожки на лестнице были покрыты газетами. Очевидно, легче было расстелить газеты, чем выметать пыль, которую я мог внести.

Было видно, что он придавал большое значение своему внешнему виду; хотя его костюм и не был новым, на нем не было ни единого пятнышка. Хевисайда можно было принять за образец джентльмена-ученого старых дней.

Хотя главные интересы Хевисайда относились к науке и его можно поставить в один ряд с Ньютоном, Архимедом, Кельвином и Фарадеем, у него было много и дру-

гих интересов. Он был хорошо знаком с художественной литературой и с наслаждением цитировал Шекспира и Шоу. Стены его комнаты были покрыты портретами знаменитых людей во всех областях деятельности, и ему доставляло удовольствие говорить о них.

Мало что известно из его жизни, потому что он с крайней неохотой говорил о себе и, по-видимому, просил своего брата, который также жил в Торки и которого он пережил только на несколько недель, ничего не рассказывать о нем. Однако он обещал автору, что во время визита, намеченного на июнь 1925 г., не только передаст ему фотografiю, но и сообщит некоторые подробности о своей жизни. И он бы сдержал свое слово. В нескольких письмах он упоминает о предстоящем визите.

Он был плодовитый автор писем, так же, как и научных статей. Его манера писать была исключительной, и его письма не только крайне интересны, но и прекрасны как художественные произведения.

Он сам изготовлял себе перо и чернила, потому что «по любому попушному перу чернила стекают неравномерно».

...Он практически прекратил свою научную работу в 1912 г., когда ему было шестьдесят два года».

Последняя фраза из приведенных воспоминаний доктора Берга, по-видимому, неверна. Хевисайд продолжал заниматься наукой, готовил к печати четвертый том своей «Электромагнитной теории», но он, действительно, с 1912 г. прекратил публикацию своих результатов. Почему он так сделал, непонятно.

Заметим еще следующее. Доктор Берг впервые посетил Хевисайда в начале 1922 г. Это было холодное время года — конец зимы или начало весны. Газ в дом Хевисайда не подавался. Хевисайд страдал не только от холода — ему не всегда удавалось приготовить себе горячую еду. Но он ни о чем таком не говорил Бергу. Он радовался гостю, разбирал с ним интересовавшие гостя вопросы, был рад случаю поговорить о том, что его занимало, а занимали его не только чисто научные темы. И Берг уехал, так и не узнав, в каком положении был тогда семидесятидвухлетний старик. Уже позднее, летом 1922 г., Хевисайд написал Бергу о том, как он провел зиму:

«Прошлая зима была ужасно плохой — почти все время в постели, не было газа, холодный дом, холодная еда, конечно, люмбаго, но хуже всего была ревматическая подагра. Совсем не мог носить ботинки... Погребен под всеми одеялами, какие у меня были»⁶.

В эту зиму его соседка мисс Селлерс однажды увидела его в саду, замерзшего и больного. Участливая мисс Селлерс сказала ему: «Мистер Хевисайд, Вы больны. Вернитесь в дом и посидите у огня». «Мадам, у меня в доме нет огня, — ответил он с улыбкой, — меня греет мой гений» ⁶.

А вот еще одно свидетельство о том, какой жизнью жил тогда Хевисайд. И свидетельство это принадлежит самому Хевисайду. В письме Хайфилду, президенту Института инженеров-электриков, датированном октябрём 1922 г., Хевисайд писал: «Мистер Три принес мне прекрасную жирную камбалу, которую я поджарил в субботу, собрав тонкие дощечки от ящиков фирмы „Липтон“ и разведя огонь. Чтобы еда не остыла, я ел ее прямо со сковороды, стоящей у огня, и, восстановив свой вкус, нашел еду восхитительной» ⁷.

Мистер Три был управляющим делами Института инженеров-электриков. В последние годы жизни Хевисайда он более или менее регулярно приезжал в Торки по поручению администрации Института и по своей собственной инициативе с целью облегчить жизнь Хевисайда.

Фирма «Липтон» — это, по-видимому, чайная фирма. В тот раз, скорее всего, Хевисайд должен был съесть всю камбалу сразу, пока она была горячеей. Чтобы подогреть еду снова, надо было бы опять собирать дощечки от ящиков, а на это не всегда были силы.

В 1922 г. вышло из печати второе издание «Электромагнитной теории». Трехтомник был напечатан в издательстве братьев Бенн. Второе издание ничем не отличалось от первого. Расходилось оно не очень хорошо и финансовых дел Хевисайда не поправило.

В трудные послевоенные годы в городе Торки нашлось «официальное лицо», которое оказывало повседневную помощь Хевисайду. Полисмен Генри Брок с доброго согласия своего начальства часто бывал у Оливера и помогал ему во многих повседневных бытовых делах. Он заказывал для Оливера бакалейные и другие товары, а его дочка Бесси приносила их в Хоумфилд, нередко пролезая через узкую щель в полуоткрытой двери, потому что Хевисайд, если не ждал гостей, запирает дверь на цепочку. Брок менял Хевисайду калильные сетки в газовых светильниках, а когда у него не было времени, это делала Кэт — другая дочь Генри Брока. Когда газ был отключен, Брок приносил свечи для Оливера — небольшие свечи ценою по два пенса за шесть штук.

Приходя, Брок стучал в дверь, Хевисайд не всегда слышал этот стук. Если Хевисайд не отзывался, Брок брал свой полицейский свисток, подносил к отверстию для писем и свистел. Хевисайд был глуховат с юности, к старости глухота усилилась, но высокие тона он слышал лучше. Он выходил на свист и отворял Броку дверь.

Брок знал, что здоровье у Хевисайда плохое, и бывало, что он приходил к дому Хевисайда для того, чтобы, не входя и не беспокоя старика, узнать, все ли в порядке, нет ли признаков тревоги. Иногда он посылал Бесси к дому Хевисайда послушать, как обстоят дела.

Доктор Сил, который больше других встречался с Хевисайдом, знал Генри Брока. Сил допускает, что Брок располагал некоторым денежным фондом для помощи Хевисайду. Эти деньги были переданы Броку неведомыми благотворителями ⁴¹.

Оливер написал Броку много писем, в которых речь шла о разных разностях. Он вкладывал в письма фотографии из газет со своими комическими комментариями. Он и сам рисовал разные наброски. Письма этих лет он подписывал буквами W. O. R. M. Слово «worm» переводится с английского как «червяк», но способ, которым Хевисайд писал это слово — заглавными буквами, с точкой после каждой буквы — о многом говорил. Дело в том, что у англичан (да и не только у них) человек, подписывая официальное письмо, после своей подписи нередко перечисляет свои чины и звания, причем англичанин использует для этого сокращения, например: M. P. (Member of Parliament) — член парламента, D. M. (Doctor of Medicine) — доктор медицины, F. R. S. (Fellow of The Royal Society) — член Королевского общества, K. C. B. (Knight Commander of The Bath) — кавалер ордена Бани 2-й степени и т. д. Хевисайду этот обычай не нравился. При желании он и сам мог подписываться так: O. Хевисайд, F. R. S., Hon. M. I. E. E. (что означало: член Королевского общества, почетный член Института инженеров-электриков). Но он считал это смешным. Вот он и выбрал слово «worm», выписывая его после подписи заглавными буквами и ставя точку после каждой буквы. Возможно, что сокращенная запись W. O. R. M. имела расшифровку. Я не настолько хорошо знаю английский язык, чтобы судить об этом.

Говоря между собой о Хевисайде, Брок и все члены его семьи обычно так и называли его — worm. Письма Хевисайда к Броку не сохранились ⁴¹.

Глава шестнадцатая

В 1921 г. Институт инженеров-электриков основал медаль Фарадея в память и в честь этого великого ученого. Первая медаль Фарадея был присуждена Хевисайду. Ему было послано приветствие, в котором говорилось:

«...Во время собрания они [участники заседания.— *Б. Б.*] снова напомнили о классических работах, выполненных мистером Оливером Хевисайдом, опубликованных им в его статьях и произведениях начиная с 1887 г., и признали их великую важность, в особенности его открытия, что индуктивность играет важную роль в линиях для передачи без искажений телеграфных и телефонных сигналов, а также признали его основоположником методов, которые теперь повсеместно применяются для этой цели; столь же высоко они оценили его исследования и открытия по распространению электромагнитных волн в пространстве, результаты которых теперь используются в беспроводной телеграфии и телефонии.

Они убеждены, что как теперь, так и в будущем имя Хевисайда будет стоять в одном ряду с именами великих основателей науки прикладного электричества»⁶.

Хайфилд — бывший президент Института инженеров-электриков писал:

«С Оливером Хевисайдом я впервые познакомился в 1921 г. ... совет Института инженеров-электриков желал особо отметить 50-летие со дня основания Института. В числе прочих мероприятий была учреждена Фарадеевская медаль Института инженеров-электриков, и Хевисайд был первый, кому она была присуждена. Учреждение этой медали отчасти имело цель отметить его работу, и не могло бы быть более достойной цели. Легко забыть незабываемые заслуги, если они принадлежат тому, кто выбрал жизнь, совершенно удаленную от своих собратьев, кто с олимпийских высот величайшего разума развенчивает авторитеты своим язвительным пером, кто презирает почести, которых большинство людей желает, а некоторые домогаются.

Как президент, я был обязан вручить медаль, и это была интересная и трогательная обязанность. Хевисайд жил совсем одиноко в прелестном домике в Торки, в домике, который разрушался от долгого пренебрежения. В первый мой визит я пришел в назначенное время и увидел его

на заросшей сорняками дорожке в старом халате с метлой в руках. Он не очень успешно пытался смести опавшие листья. Он был рад видеть меня, и эту радость выражал странно и застенчиво. Через заставленный мебелью холл, где все было покрыто пылью, он провел меня в свою комнату. Стены его комнаты были обклеены фотографиями и репродукциями из многих изданий, и он показывал мне портреты давних президентов Института инженеров-электриков, и недавних, и подробно расспрашивал о них. Стены служили наглядным отчетом о том, что его интересовало. Он был полностью на высоте во всех отношениях и еще сохранял свою силу язвительного критицизма. Он часто и очень занимательно делал остроумные и язвительные замечания. Его очень заинтересовал мой отчет о юбилейном праздновании, и он был по-настоящему доволен, что его на этом заседании почтили как одного из знаменитых людей. Его образ жизни составлял разительный и трогательный контраст с его силой мысли, но я уверен, что сам он не считал свой образ жизни трогательным. Он свободно говорил о последних статьях и достижениях, но его разговор прерывался рядом мелких личных жалоб чисто домашнего свойства. Я видел его несколько раз и пытался улучшить его домашнее хозяйство, в особенности снабжение продовольствием, которое было недостаточным, но мой успех был невелик. Он был привержен к жизни отшельника старых времен.

Я увидел его снова в августе 1922 г. и затем еще раз, когда я официально вручал медаль Фарадея в начале сентября. Он выглядел значительно поздоровевшим, и нет сомнения, что интерес, проявленный к нему и продемонстрированный его коллегами по Институту, доставлял ему радость. Он, действительно, выглядел вполне счастливым. Интересно прошло вручение медали. Он резко критиковал дорогую обтянутую кожей папку и диплом на веленовой бумаге, критиковал именно за то, что это потребовало больших расходов, но был утешен тем, что медаль оказалась из бронзы, а не из золота. Он прочел каждое слово в документе и на медали и был особенно обрадован, увидев имя Александра Сименса, который подписал диплом как старейший из предыдущих президентов. Он много говорил о телефонии и беспроводной связи, перемежая свою речь ворчанием по поводу многих недостатков своих соседей. По-видимому, он знал все, что творилось в городе. Невозможно дать полное представление о нем, так презиравшем то, к чему стремится большинство людей,

но когда я покидал его, я чувствовал, что он был доволен, что он с уважением относится к Институту и что Институт порадовал и сделал счастливым одного из своих знаменитых членов»⁶.

В марте 1922 г. Хевисайд написал Хайфилду письмо, в котором благодарил за приветственное послание от имени Института. Хевисайд писал: «Приветственное послание очень благожелательно, и я признателен за это, но в нем есть преувеличения».

Он также исправляет утверждение, содержащееся в приветствии относительно важности работ, выполненных им после 1887 г.:

«Я хочу сказать, что практически вся моя основная работа была выполнена до 1887 г. и содержится в моей книге «Работы по электричеству». Книга «Электромагнитная теория» — это просто развитие предыдущего, необходимое прежде всего для того, чтобы пробить дубовые головы математиков из Королевского общества»⁶.

Отголоски спора с математиками из Королевского общества видны в этих словах. Сравним это высказывание с другим, которое Хевисайд сделал двадцатью годами ранее. Речь шла о введенном Хевисайдом векторном исчислении. Он писал о себе, что вначале был слишком мал для того, чтобы на него обращали внимание. Но со временем положение изменилось, векторное исчисление было признано, «вопреки пренебрежению Эдинбургской школы насмешников (один из которых сказал, что некоторые из моих работ представляют собой «позор для Королевского общества», к моему большому удовольствию)...»¹¹².

Сравнивая эти два высказывания, мы приходим к выводу, что за двадцать лет Хевисайд не смягчился. Скорее, наоборот.

Хайфилд однажды приплыл в Торки на яхте. К Хевисайду был послан шкипер, но как он ни стучал в дверь, Хевисайд не услышал. Шкипер оставил послание Хайфилда и ушел. После этого случая Хевисайд прислал Хайфилду открытку, где было сказано: «Если бы Ваш капитан свистел через почтовый ящик, как это делает бобби, я бы смог услышать его». Слово «бобби» обозначало констебля Генри Брока⁷.

Присуждение Хевисайду медали Фарадея имело одно побочное следствие. Администрация Института инженеров-электриков получила информацию о бедственном положении Оливера. Благотворительный фонд Института после этого стал оказывать Хевисайду помощь. Кроме то-

го, ряд людей — и ученых, и принадлежавших к другим кругам общества — знали, что у Хевисайда постоянные денежные трудности, и некоторые время от времени посылали ему помощь. Часть этой помощи передавалась Хевисайду через доктора Сила, так как было известно, что они встречаются и дружат. Сил вспоминал, что ему присылали деньги для передачи Хевисайду профессор П. Зеeman из Голландии, профессор Б. О. Пирс из Гарвардского университета (США), французский электротехник Бетено (о его переписке с Хевисайдом мы уже говорили) и многие люди в Англии, питавшие симпатию к Хевисайду. Как правило, Хевисайд очень неохотно принимал помощь, если считал, что она хоть в малой степени походит на благотворительность. Сил пишет, что иногда и ему доставалась некоторая доза того, что он должен был считать гневом Хевисайда. Но если Оливер не знал, откуда пришли деньги на его текущий счет, то он не мог отправить их обратно ⁴¹.

В декабре 1920 г. к доктору Силу обратились с просьбой узнать, не согласится ли Оливер принять финансовую помощь. Хевисайд отверг предложение. Он продиктовал Силу очень резкий ответ. Уступая просьбе Сила, он позволил убрать самые грубые места из продиктованного им ответа, но даже и в смягченном виде ответ, посланный через Сила, был очень обескураживающий. Оливер был очень разгневан и после этого случая не хотел видеть Сила до рождества 1922 г., целых два года. Затем отношения между Хевисайдом и Силом полностью восстановились. Однако с рождества 1922 г. до рождества 1924 г. они не виделись, а только переписывались.

31 декабря 1924 г. Сил и его жена приехали в Торки. Незадолго до этого они получили живое и полное юмора письмо от Хевисайда, где тот описывал, как он недавно упал с лестницы. Письмо показывало, что он был все тот же старый, странный и готовый на шутки Оливер. Через неделю Хевисайд прислал еще одно письмо, где писал, что он ждет их, будет рад видеть, но чувствует себя плохо: «Желтуха, так что не ждите многого». 1 января 1925 г. они встретились. Оливер был желтый, быстро утомился, и Силы вскоре ушли. На прощанье он просил купить ему несколько носовых платков. На следующий день Силы приехали в Хоумфилд и привезли с собой заказанные Хевисайдом платки. Но они не смогли войти. На стук никто не отзывался. Через день вечером они узнали, что в то утро Хевисайд был найден без сознания в своем доме.

Его обнаружил верный друг полисмен Генри Брок. Родственники вызвали двух докторов. Хевисайд скоро пришел в сознание (возможно, что его падение с лестницы, происшедшее за несколько недель до этого, также было вызвано потерей сознания). Придя в себя, Хевисайд захотел немедленно увидеть Сила. Сил приехал, поговорил с Оливером, а затем принял участие в совете родственников. Обеспечить уход за ним в Хоумфилде было невозможно. Родные решили поместить его в лечебницу. В тот же вечер он был отвезен на машине скорой помощи в платную больницу Маунт Стюарт. Сил поехал проводить его. Это была первая в жизни Оливера поездка на автомобиле, и он проявлял к ней живой интерес. Приехав в больницу и прощаясь с командой санитарной машины, он поблагодарил всех и сказал, что поездка была комфортабельной.

Через несколько дней Хевисайду стало лучше, ему разрешили ходить, с этого времени и до конца каникул (то есть до 19 января) Силы почти каждый день навещали его. Хевисайд быстро освоился с больничной обстановкой и наслаждался хорошим питанием и внимательным отношением медицинских сестер. Он неизменно был в хорошем настроении, шутил, разговаривая с палатной сестрой и с другими сотрудниками больницы, и те относились к нему с любовью. Кроме Силов, к Хевисайду приходил также мистер Три, управляющий делами Института инженеров-электриков. Гости встречались во время чаепития.

Незадолго до больницы Хевисайд выкрасил свои седые волосы в черный цвет. В больнице няньки вымыли ему голову, и белоснежная седина делала его очень красивым.

Первоначальное улучшение не удержалось. Возникли различные осложнения, и 3 февраля 1925 г. Хевисайд скончался.

Последняя болезнь Оливера не была единственной, он и до этого много болел. Но до того, как он попал в больницу, он, по-видимому, ни разу не обращался к врачу. И все же он дожил до 75 лет и до конца сохранил ясность мысли и способность шутить.

На его похоронах присутствовали только родственники, доктор Сил и представитель от Института инженеров-электриков.

Оливер умер, не оставив завещания. На следующий день после похорон доктор Сил вместе с управляющим банком отправились в Хоумфилд, дом Хевисайда (который около месяца простоял необитаемым), чтобы взять медаль Фарадея и другие реликвии и ценности.

О смерти Хевисайда было сообщено по радио. В некоторых научных и технических журналах появились краткие сообщения и памятные статьи, посвященные Хевисайду. Мало кто лично знал Хевисайда, да и те, кто его знал, по большей части мало что могли сказать о его жизни. Не знали даже его возраста. Вот, например, что говорилось в журнале «Electrical World»: «Из Англии пришло сообщение о смерти в возрасте 77 лет в результате падения с лестницы Оливера Хевисайда»¹¹³.

В выпуске того же журнала от 21 февраля были помещены две большие статьи о Хевисайде. Одну из них написал Оливер Лодж, другую — Б. А. Беренд. К статье Оливера Лоджа дано примечание от редакции: «Оливер Хевисайд умер в Девоншире, Англия, 3 февраля 1925 г. Его точный возраст, по-видимому, неизвестен. По сообщениям печати, ему было семьдесят лет. Сэр Оливер Лодж в записке, сопровождающей присланную статью, пишет, что ему было 74 года. Б. А. Беренд в статье, помещенной после статьи Лоджа, пишет, что Хевисайду было 77 лет».

Мы приводили выше выдержки из статьи Б. А. Беренда о Хевисайде, здесь же кратко изложим содержание статьи Лоджа. Легко теперь, спустя почти шестьдесят лет со дня смерти Хевисайда, оценить все то, что он сделал. Точнее говоря, это сегодня легче сделать, чем шестьдесят лет назад. Но статья Лоджа дает оценку деятельности Хевисайда, как она представлялась современнику — не всякому современнику, а именно Оливеру Лоджу. И поразительно, что оценка Лоджа совпадает с той, какую теперь мы можем высказать, зная то, чего Лодж тогда не знал — ход развития науки за последующие полвека.

«Бывает так, — пишет Лодж, — что время от времени, мы не знаем, как и откуда, появляется гений. Есть опасность, что его должным образом не поймут и не оценят при жизни, отчасти потому, что он не прошел через обычную систему образования и поэтому не привлек внимания современников, как это могло бы быть и бывает на этой стадии, а отчасти потому, что его подход необычен и исключителен, а высказывания носят оригинальный характер и непривычны по стилю. Он также может в большей или меньшей степени опережать свое время, так что блеск и важность его достижений раскрываются лишь впоследствии. Таким человеком был Уотерстон, разработавший кинетическую теорию газов за годы до того, как научный мир мог ее принять, так что его сообщения, направленные

в Королевское общество, были отклонены рецензентами...

Еще одним таким человеком был Оливер Хевисайд, математический гений исключительной силы, который заполнял колонки журнала «Electrician» замечательными, но малопонятными работами, значение которых, однако, было осознано незадолго до его смерти (частично лордом Кельвином, частично Фицджеральдом, доктором Силом и другими), но практическая важность которых отрицалась телеграфными авторитетами того времени. В частности, столь выдающаяся личность, как сэр Уильям Генри Прис, гениальный оратор и в течение многих лет главный инженер телеграфного департамента в Британском почтовом ведомстве, рассматривал эти работы как чепуху... Без сомнения, Оливер Хевисайд очень сильно ощущал эти обиды и пренебрежение, и это отражалось в его шуточных и саркастических замечаниях по разным поводам.

...Нет сомнения, что часть трудностей с признанием достижений Хевисайда объясняется особенностями его личности. Он был застенчивый человек, склонный к уединению. Он жил один, по-видимому, в значительной бедности, сам готовил себе еду, сам обслуживал себя, у него было плохое здоровье... Вскоре после того, как он начал получать признание, он перебрался в Девоншир и больше, насколько я знаю, не появлялся ни в Королевском обществе, ни в Институте инженеров-электриков... ни на торжествах в его честь, ведя до конца дней жизнь отшельника.

Он, однако, вел активную переписку. И Фицджеральд, и я получили бесчисленное множество написанных им писем. Доктор Сил также, по-видимому, получал много писем от него и, вероятно, продолжал личные контакты с ним дольше, чем кто-либо другой.

...То, что он не смог получить каких-либо материальных выгод (по крайней мере, насколько я знаю), заслуживает сожаления; но при существующей системе научного признания или непризнания это было, вероятно, неизбежно. Оказать помощь лично Хевисайду было непростым делом. Я полагаю, что Фицджеральд и, возможно, другие, пытались это сделать, но гордость Хевисайда отбивала охоту делать такие попытки. Его уговорили в конце концов принять правительственную пенсию, обставив это как признание его научных заслуг, чтобы у него и мысли не возникло о благотворительности.

Я не думаю, что этот человек был несчастлив, хотя одно время он и испытывал горечь непонимания и враждебности тех, кто обладал административной властью, — положение, по поводу которого добродушный человек, подобный сэру Уильяму Прису, первый бы сожалел, если бы был лучше информирован. Хевисайд жил независимой замкнутой жизнью, и нет сомнения в том, что постижение тайн природы (независимо от признания современников) должно было приносить ему моменты истинного удовлетворения. Теперь мы можем, по крайней мере, отдать должное его гению и пожелать, чтобы он скорее был признан всеми и получил широкую известность»²⁹.

Из статьи Лоджа видно, что он знал условия жизни Хевисайда только в самых общих чертах. Но личные особенности Хевисайда были ему хорошо известны. И работы Хевисайда Лодж знал и осознавал их значение. Пожелание Лоджа, чтобы гений Хевисайда был признан как можно скорее, осталось актуальным и в наши дни.

Александр Рассел, видный специалист по электротехнике, поместил статью памяти Хевисайда в журнале «Nature». Он писал о трудностях, с которыми приходилось сталкиваться Хевисайду при опубликовании своих работ:

«В то время немногие рецензенты могли понять его. Как правило, они предлагали сократить статью. В результате многие необходимые для понимания математические подробности опускались и для специалиста было нелегкой задачей следить за ходом его мыслей. К счастью, несколько известных ученых, в частности сэр Оливер Лодж, профессор Перри и доктор Дж. Сил, отметили появление математического физика высочайших способностей и помогали ему публиковать свои работы. Ему, однако, пришлось пройти сквозь строй сильной и неразумной критики, и ни одно из его открытий не получило того немедленного признания, которое бы отвечало его ценности»¹⁰⁹.

В бюллетене Французского общества электриков была помещена статья Жозефа Бетено¹⁴, посвященная памяти Хевисайда. Статье была предпослана краткая заметка от редакции: «Было бы невозможно пройти мимо кончины такого ученого, как Хевисайд, и не почтить его память. Наш вице-президент г. Бетено, который состоял с Хевисайдом в длительной переписке, охотно согласился это сделать. За это мы выражаем нашу живейшую благодарность ему, а также г. Помэй, директору Высшей школы почты и телеграфа, который любезно предоставил помещаемую ниже фотографию Хевисайда».

Это было единственное издание, где поместили фотографию Хевисайда. Как эта фотография попала к Помюю, остается только гадать.

В своей мемориальной статье Ж. Бетено приводит ряд интересных подробностей из жизни Хевисайда. Эти подробности Хевисайд сам сообщил о себе в переписке с Бетено. Часть этих сведений мы уже использовали выше. Бетено также говорит о научных достижениях Хевисайда, которые оценивает очень высоко. Он пишет, в частности: «Можно утверждать, что все, относящееся к распространению электромагнитных волн по проводам и в свободном пространстве,— все это уже сказано в книгах «Работы по электричеству» и «Электромагнитная теория»».

Говоря о созданном Хевисайдом операционном исчислении, Бетено пишет: «В настоящее время методы Хевисайда распространяются все более и более, и даже благодаря усилиям профессоров-преподавателей, например доктора Эрнста Джулиуса Берга из Скенектеди, эти методы начинают вводиться в обучение. Нет сомнения в том, что в недалеком будущем эти методы станут знакомы многочисленным электрикам и физикам».

Бетено напоминает, что для многих инженеров-электриков имя Хевисайда совершенно неизвестно, хотя не только теретические основы электротехники, но и в значительной мере ее язык, терминология, были созданы Хевисайдом. Инженеры каждый день пользуются словами «импеданс», «индуктивность», «проницаемость» и т. д. «и не знают, что эти слова были введены уже сорок лет назад столь оригинальной мыслью Оливера Хевисайда».

Говоря о жизни Хевисайда, Бетено пишет, что это «достойный восхищения пример жизни, целиком посвященной науке, пример столь редкий в истории человечества».

Бетено далее пишет:

«Стиль Хевисайда был столь же неповторим, как и его гений, его своеобразная манера изложения развлекала читателей, даже таких, которые не имели необходимых знаний для того, чтобы хорошо его понять... Он любил переписку (если не визиты). Я всегда с крайним восхищением и живым изумлением перечитываю полученные от него письма, написанные мелким убористым почерком, иногда очень четким, иногда с явными искажениями, из-за болезни».

...Все было известно ему, он мастерски рассказывал анекдоты, его общая культура была, без сомнений, исключительной».

Свою мемориальную статью Бетено кончает так: «К счастью, перед тем как умереть, он обрел уверенность в том, что его важные работы были признаны по заслугам, и в течение последних трех или четырех лет своей жизни он мог быть уверен в том, что его имя будет бессмертно».

Бетено писал это от всего сердца, он очень любил Хевисайда, восхищался им как специалист по высокочастотной электротехнике (а Бетено был известным ученым), он несколько раз анонимно посылал деньги Хевисайду. Нет сомнения, что Жозеф Бетено, когда писал эти слова, действительно думал, что Хевисайд в конце жизни получил признание и мог быть уверен в бессмертии своих достижений. Но вряд ли сам Хевисайд думал об этом.

Статья памяти Хевисайда появилась также в журнале фирмы «Белл Систем»¹¹⁴. Автор статьи Ф. Гилл рассматривает главным образом вклад Хевисайда в развитие теории связи:

«...Обратимся к его работам: что сделал Хевисайд и на чем основана его слава? Дать полный ответ на этот вопрос — слишком сложная задача для инженера-связиста, но о том, что касается техники связи, кое-что может быть сказано. Его большим достижением было открытие законов, определяющих распространение энергии вдоль линии. Он указал на связь между частотой и искажением, он пояснил это на численных примерах и указал, что нужно сделать для того, чтобы получить «линию без искажений». Далее, он исследовал влияние «затухания» и действие «индуктивности» (эти слова он сам и ввел в обращение) в улучшении телефонной связи. Он также объяснил, как можно увеличить индуктивность линии. Он предложил использовать распределенную нагрузку или же сосредоточенную индуктивность в виде катушек... Он исследовал влияние земли, моря и верхней атмосферы на распространение радиоволн и объяснил, каким образом энергия распространяется между двумя удаленными точками, огибая кривизну земной поверхности...».

Об отношении ученых и инженеров к работам Хевисайда Гилл писал: «Некоторые считали, что Хевисайд не был признан в той мере, в какой он этого заслуживал. Возможно, что это так и было, но не в последние годы. То же самое можно сказать о многих великих людях, которые намного обогнали свое время, потому что у англичан есть национальная черта — не очень суетиться вокруг своих великих людей. Поэтому, если Хевисайд и испытывал трудности, то он эти трудности разделял с

другими первопроходцами, которые также заслуживали более полного признания».

Далее Гилл приводит высказывание Хевисайда о Фицджеральде из третьего тома «Электромагнитной теории», которое мы уже приводили выше.

Гилл переписывался с Хевисайдом. В статье памяти Хевисайда помещены отрывки из писем Хевисайда, эти отрывки — свидетельство его самобытного и независимого характера. Но основное место в статье Ф. Гилла занимают выдержки из работ Хевисайда. Это вполне оправданно: никто не мог рассказать о работах Хевисайда или о нем самом лучше, чем сам Хевисайд.

Ф. Гилл перечисляет знаки научного признания Хевисайда. В 1891 г. он был избран членом Королевского общества. В 1899 г. стал почетным членом Американской академии искусств и наук. В 1908 г. — почетным членом Института инженеров-электриков, в 1917 г. (а по другим сведениям, в 1918 г.) — почетным членом Американского института инженеров-электриков. Он также был избран почетным членом литературного и философского общества в Манчестере и почетным доктором философии Геттингенского университета. В 1921 г. Институт инженеров-электриков присудил ему свою высшую награду — медаль Фарадея.

«Время от времени появлялись сообщения о том, что он живет в большой нужде, и предпринимались попытки помочь ему. Эти сообщения были преувеличены, но у него и вправду было мало денег и еще меньше удобств. Но он был человеком, который с трудом принимал помощь».

В конце своей статьи Ф. Гилл высказал предположение, что, кроме опубликованных работ, после Хевисайда осталось большое количество рукописей, «...но я не знаю, находятся ли они в таком состоянии, что кто-либо другой может их завершить». Вопрос о том, какими научными проблемами занимался Хевисайд после 1912 г., когда он прекратил публикацию своих работ, интересовал многих. В частности, было известно, что в последние годы жизни Хевисайд подготовил к изданию рукопись четвертого тома «Электромагнитной теории».

Статья памяти Хевисайда не случайно появилась в журнале фирмы «Белл Систем» — сугубо технической фирмы, занимавшейся строительством и эксплуатацией телеграфных и телефонных линий. Дело в том, что эта фирма в полной мере признавала важность теоретических иссле-

дований для решения практических вопросов. Пока в Англии шли споры вокруг предложений Хевисайда, пока администрация почтового ведомства упиралась и отрицала ценность этих предложений, фирма «Белл Систем» сразу же оценила работы Хевисайда и их значение для развития связи. При этом ее сотрудники не только применяли на практике результаты, полученные Хевисайдом, но и занимались дальнейшим развитием и обоснованием его методов. В частности, большую роль в развитии операционного исчисления сыграл Джон Карсон, который считал себя «апостолом» Хевисайда, точно так же, как Хевисайд считал себя продолжателем дела Максвелла. Широко известна книга Карсона по теории электрических цепей и операционному исчислению, в которой он формулирует операционные методы Хевисайда на основе интегральных преобразований. Об этой книге мы еще будем говорить.

В настоящее время научно-исследовательские лаборатории фирмы «Белл Систем» стоят в ряду наиболее известных исследовательских центров мира.

Статьи Лоджа, Беренда, Бетено, Рассела и Гилла, посвященные памяти Хевисайда, кроме анализа научной деятельности Хевисайда, содержали еще некоторые сведения о нем, о его симпатиях и антипатиях, об особенностях его характера, об условиях его жизни. Это были скудные сведения, но долгое время указанные статьи были единственными источниками сведений о Хевисайде.

Глава семнадцатая

Перейдем теперь к вопросу о судьбе четвертого тома «Электромагнитной теории». Есть много указаний¹¹⁰ на то, что этот том был написан, но после смерти Хевисайда рукопись тома не удалось найти. Возможно, что она была украдена. В первые дни после смерти Хевисайда его дом был ограблен. В числе прочих украденных вещей грабители могли унести и рукопись четвертого тома. Это, впрочем, маловероятно.

Хевисайд намеревался включить в четвертый том «Электромагнитной теории» целый ряд своих неопубликованных результатов. Этот том он рассматривал как завершение всей работы. Первоначально предполагалось,

что книгу напечатают в издательстве «Тэйлор и Френсис». В работе над рукописью помощь Хевисайду оказывал его друг доктор Силберстейн. Как Силберстейн, так и издатели «Тэйлор и Френсис» хотели, чтобы четвертый том «Электромагнитной теории» был опубликован в Англии. Издатели даже предложили Хевисайду предварительно опубликовать содержание тома в виде серии статей в журнале «Philosophical Magazine». Это явилось бы продолжением традиции — именно таким путем (с предварительной публикацией) были выпущены предыдущие книги Хевисайда. Кроме того, издатели хотели, делая это предложение, пойти навстречу Хевисайду (он жаловался, что «другие авторы публикуют результаты, которые я получил в четвертом томе «Электромагнитной теории»»). Хевисайд, однако, по непонятным причинам не принял этого предложения.

По мнению доктора Силберстейна, рукопись четвертого тома «Электромагнитной теории» была закончена и готова к публикации в 1916 г. Но, по-видимому, Хевисайд не считал рукопись законченной и продолжал работать над ней. В начале 1917 г. Силберстейн написал Хевисайду письмо, в котором брался следить за прохождением четвертого тома через типографию или выполнять любую математическую работу, которая могла бы ускорить публикацию. Хевисайд в ответном письме поблагодарил Силберстейна за предложенную помощь и сообщил, что рукопись еще не готова к публикации. А что касается математической работы, он подчеркнул слова: «...никто не может сделать эту работу, кроме меня».

В переписке с доктором Б. А. Берендом Хевисайд также обсуждал вопрос о публикации четвертого тома «Электромагнитной теории». Он был согласен на издание книги в Америке, но ставил одно условие: ему должен быть выплачен аванс в размере 1000 фунтов. Из разорванных листков старых писем, которые теперь являются собственностью Института инженеров-электриков, следует, что Беренд пытался найти такого издателя, который был бы готов согласиться на требование Хевисайда. Возможно, что Хевисайд посылал копию рукописи Беренду.

В переговорах относительно издания четвертого тома в Америке принимал участие и доктор Дж. А. Кемпбелл из фирмы «Белл Систем». Сохранилось его письмо, написанное в 1921 г., где он сообщает, что узнавал у мистера Спирса, вице-президента издательской компании «Д. Ван Ностранд», во сколько приблизительно обойдется

публикация четвертого тома. Спирс ответил, что книги Хевисайда не окупаются и он не намерен браться за публикацию.

В 1927 г. Институт инженеров-электриков приобрел собрание книг и рукописей Хевисайда. Рукописи четвертого тома в этом собрании не было. Но были найдены математические заметки, рассеянные по записным книжкам. Внимательное изучение этих неопубликованных заметок открыло много новых и важных результатов, которые Хевисайд мог бы развить и включить в рукопись четвертого тома. По-видимому, в состав четвертого тома планировалось включить главы как математического, так и физического содержания. Именно так составлялись и предыдущие тома. Отметим здесь, что изучение неопубликованных заметок Хевисайда было проведено Генри Джозефом. Доктор Джозеф, автор книги «Теория электрических цепей по Хевисайду», потратил много времени на разбор и изучение бумаг, оставшихся после Хевисайда. Ему же принадлежат те сведения по истории четвертого тома, которые мы здесь излагаем¹¹⁰.

В 1933 г. в Массачусеттском технологическом институте были выставлены книги и бумаги Хевисайда, собранные доктором Берендом. Эта выставка включала письма и другие памятные материалы, но в коллекции не было рукописи четвертого тома. Позднее, в 1934 г., Беренд подарил эту коллекцию Институту инженеров-электриков.

Доктор У. Дж. Редли предложил на тот случай, если тщательные поиски не помогут найти рукопись четвертого тома, попытаться восстановить часть его содержания по неопубликованным заметкам. То, что удалось бы восстановить, можно было бы затем опубликовать как четвертый том «Электромагнитной теории».

Изучение рукописей Хевисайда было прервано с наступлением второй мировой войны. Только в 1945 г. доктор Джозеф возобновил их изучение.

Весной 1949 г. (за год до столетия со дня рождения Хевисайда) возобновились поиски рукописи. В частности, ее искали в архивах Массачусеттского технологического института. Найти ее не удалось. Кроме того, ректор института доктор Стрэттон не смог найти доказательств, что эта рукопись вообще была в институте. Результаты поисков оставляют мало надежд на то, что рукопись четвертого тома будет найдена.

В 1949 г. были, однако, обнаружены черновики части рукописи. По-видимому, об этих же черновиках говорит

и доктор Дервент Мерсер в своей статье «Признание, которое пришло слишком поздно»:

«...Ко времени своей смерти Хевисайд работал над четвертым томом «Электродинамической теории». Но его дом был ограблен, и рукопись так и не нашли. Однако многие его разрозненные заметки были изучены Генри Джозефсом, старейшиной в деле изучения наследия Хевисайда; он смог восстановить основное содержание тома — объединение теории тяготения и электромагнетизма — задача, которую не завершил даже Эйнштейн. Но предстояло узнать еще больше — в недавние годы под настилами полов в тех домах, где жил Хевисайд, были найдены кипы бумаг, грязных и местами неразборчивых. Некоторые из них совершенно замечательны в том отношении, что они предвосхищают пути развития физической теории после его смерти»¹³.

Эти находки до конца не разобраны. Но часть из них была изучена доктором Джозефсом. Видимо, результаты изучения пока не оправдывают тех ожиданий, которые могут возникнуть у читателя после чтения приведенного отрывка из статьи Дервента Мерсера (эта статья была написана для радио и дважды передавалась для широкой аудитории — 22 февраля и 2 марта 1976 г.).

Джозефс изучил большое количество разрозненных заметок, набросанных на отдельных листках. Некоторые записи были сделаны на обрывках плохой бумаги и были настолько грязны и растрепаны, что трудно было разобрать написанное. Было очевидно, что Хевисайд использовал эти черновые наброски для памяти при подготовке четвертого тома «Электродинамической теории».

Значительная часть найденных заметок содержала материал скорее математический, чем физический. Как всегда у Хевисайда, новые математические результаты должны были облегчить и упростить решение конкретных физических вопросов. Из заметок видно, что Хевисайд продолжал развивать свои операторные методы, но использовал также в расчетах и интегральные преобразования, о которых писал ему Бромвич. Хевисайд получил ряд новых операторных и интегральных равенств. Некоторые из них приведены в статье Джозефса, посвященной неопубликованным работам Хевисайда¹¹⁰.

Что касается физики, то главной целью Хевисайда было построение объединенной теории поля, в которой согласованным образом рассматривались электромагнетизм, механическая масса (инерция) и тяготение. При

этом Хевисайд брал за основу теорию электромагнитного поля. Мы очень схематично изложим физическую идею, определяющую подход Хевисайда к этой проблеме. Но предварительно нужно еще раз оговориться, что единого изложения взглядов Хевисайда по этому вопросу нет, остались разрозненные листки, поэтому все, что можно сказать, носит характер более или менее правдоподобной догадки.

Хевисайд рассматривал пространство, заполненное короткими импульсами излучения. Эти импульсы когда-то

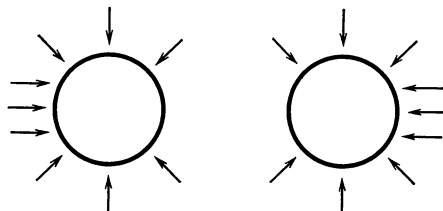


Рис. 35

были излучены движущимися зарядами, а теперь распространяются в космосе во всех направлениях. Хевисайд принял, что импульсы излучения распределены случайным образом по направлениям и по плотности в пространстве. Если теперь в такой газ из импульсов излучения поместить тело, то оно будет испытывать световое давление со стороны падающих на него импульсов излучения. Поскольку излучение падает на него со всех сторон, силы светового давления взаимно уравниваются. Возьмем теперь два тела и поместим их на некотором расстоянии друг от друга. Тогда эти два тела будут закрывать друг от друга поток импульсов, направленный по линии, соединяющей центры тел. Световое давление тогда будет действовать на тела, толкая их друг к другу. Сказанное поясняется рис. 35.

Стрелки изображают силы светового давления от импульсов излучения. Видно, что световое давление действует на тела, толкая их друг к другу.

Хевисайд рассмотрел статистически потоки энергии, связанные со случайно распределенными в пространстве и во времени импульсами излучения. Он собирался, по-видимому, применить эти результаты к описанию гравитационного взаимодействия. Таким способом он хотел описать гравитационные эффекты как следствие электромагнитных.

Если правильно это представление о подходе Хевисай-

да, то сравнение его теории тяготения с общей теорией относительности несомненно приводит к выводу о преимуществах общей теории относительности и о недостаточности во многих отношениях теории Хевисайда.

Рассматривая поглощение и излучение света, Хевисайд получил такое же соотношение между массой тела и его энергией, как и выведенное Эйнштейном. Ход вывода у Хевисайда также напоминает рассмотрение Эйнштейна.

Оценивая эти работы, следует иметь в виду, что Хевисайд последние годы работал в отрыве от научной жизни, в стороне от путей развития теории тяготения. Он даже, по всей вероятности, не имел возможности сравнивать свои результаты с выводами общей теории относительности, поскольку не интересовался развитием новой теории. Конечно, записки Хевисайда изучены еще не полностью, большой труд Джозефса по их расшифровке — это только начало. Но если судить по результатам Джозефса, основные идеи Хевисайда о связи гравитации и электромагнетизма не ведут к изменению принятых ныне взглядов на природу тяготения. Наука пошла другим путем.

В 1919 г., еще при жизни Хевисайда, один из выводов общей теории относительности, а именно отклонение светового луча, проходящего вблизи от массивного тела, был подтвержден прямыми измерениями. Этот результат вызвал взрыв энтузиазма во всем мире — не только в кругу узких специалистов, но в широких кругах общества, никак не связанных с наукой и не проявлявших до этого никакого интереса к научным вопросам. Трудно себе представить, что результат экспедиции Дайсона и Эддингтона и возникший вслед за этим повсеместный интерес к теории относительности прошли мимо Хевисайда. В связи с этим можно высказать предположение, что, ознакомившись с общей теорией относительности, Хевисайд убедился в том, что она описывает более широкий круг явлений, чем его собственная теория тяготения, и отказался от мысли о публикации четвертого тома «Электромагнитной теории». Это всего лишь предположение, не имеющее прямых подтверждений, но и не противоречащее тому, что мы знаем из опубликованных материалов.

Но, как бы ни обстояло дело в действительности, все-таки утрата рукописи четвертого тома — это большая потеря. В этом томе наверняка было много ценного материала и математического и физического. И, кроме того, книги Хевисайда — это нечто большее, чем научные трактата,

ты. Это еще и литературные произведения, доставляющие читателю истинное наслаждение. И, наконец, это важный источник сведений о самом Хевисайде, тем более важный, что других источников очень мало.

Можно надеяться, что дальнейшее исследование бумаг, оставленных Хевисайдом, даст дополнительные сведения о содержании утраченной рукописи и о ее авторе.

Можно надеяться и на то, что рукопись четвертого тома «Электромагнитной теории» рано или поздно будет обнаружена. Хотя практических соображений для такой надежды нет. Но зато есть два сильнейших высказывания, принадлежащих двум русским писателям, — М. А. Булгакову и Ф. М. Достоевскому. В романе Булгакова «Мастер и Маргарита» есть эпизод, когда Воланд при встрече с Мастером просит показать рукопись романа:

«— . . . Дайте-ка посмотреть, — Воланд протянул руку ладонью вверх.

— Я, к сожалению, не могу этого сделать, — ответил Мастер, — потому что я сжег его в печке.

— Простите, не поверю, — ответил Воланд, — этого быть не может. Рукописи не горят. — Он повернулся к Бегемоту и сказал: — Ну-ка, Бегемот, дай сюда роман.

Кот моментально вскочил со стула, и все увидели, что он сидит на толстой пачке рукописей. Верхний экземпляр он с поклоном подал Воланду. Маргарита задрожала и закричала, волнуясь вновь до слез:

— Вот она, рукопись! Вот она!»¹¹⁵.

Рукописи не горят. Это вселяет надежду.

Очень близкая мысль высказана Ф. М. Достоевским в «Дневнике писателя» за декабрь 1876 г. Он пишет:

«Что такое высшее слово и высшая мысль? Это слово, эту мысль (без которых не может жить человечество) весьма часто произносят в первый раз люди бедные, незаметные, не имеющие никакого значения и даже весьма часто гонимые, умирающие в гонении и неизвестности. Но мысль, но произнесенное ими слово не умирают и никогда не исчезают бесследно, никогда не могут исчезнуть, лишь бы только раз были произнесены — и это даже паразитично в человечестве. В следующее же поколение или через два-три десятка лет мысль гения охватывает все и всех, увлекает все и всех — и выходит, что торжествуют не миллионы людей и не материальные силы, по-видимому, столь страшные и незыблемые, не деньги, не меч, не могущество, а незаметная вначале мысль, и часто какого-нибудь, по-видимому, ничтожнейшего из людей»¹¹⁶.

Эти два свидетельства несомненных авторитетов — М. А. Булгакова и Ф. М. Достоевского — укрепляют нашу надежду на то, что пропавшая рукопись когда-нибудь найдется.

Возвращаясь к словам Достоевского, заметим, что не следует противопоставлять мысль человеческую и материальные силы. Идея — это великая материальная сила, поэтому она и пробивает себе дорогу. Работы Хевисайда служат убедительным доказательством этого.

Глава восемнадцатая

18 мая 1950 г. исполнилось сто лет со дня рождения Хевисайда. Институт инженеров-электриков в честь этой даты организовал торжественное собрание. На нем выступили видные ученые и инженеры, физики и математики. С воспоминаниями о Хевисайде выступил доктор Дж. Сил, по-видимому, последний оставшийся в живых человек, близко знавший Хевисайда. Сэр Джордж Ли, бывший президент Института инженеров-электриков, рассказал о жизненном пути Хевисайда. Доктор Генри Джозефс сообщил о результатах изучения неопубликованных заметок Хевисайда. В числе выступавших на этом памятном собрании были также:

сэр Эдуард Эплтон, ректор Эдинбургского университета. Он в 1924 г. экспериментально доказал существование слоя Хевисайда — Кеннелли. Отметим, что в 1947 г. Эплтону за исследование ионосферы, и в первую очередь за открытие так называемого «слоя Эплтона», была присуждена Нобелевская премия;

доктор М. Понте, президент Французского общества электриков;

доктор Бакли, президент фирмы «Белл Телефон». Его речь была зачитана, так как сам он не смог попасть на заседание, прилетел с опозданием;

профессор Гарольд Джеффрис, математик, Кембриджский университет. Его речь была прочитана президентом Института инженеров-электриков;

сэр Эдмунд Уиттекер, почетный профессор математики Эдинбургского университета, один из крупнейших математиков своего времени;

профессор У. Джексон, член совета Института инженеров-электриков;

профессор Балтазар Ван-дер-Поль, крупнейший специалист-радиофизик и математик, член международной консультативной комиссии по радиосвязи;

У. Дж. Редли, член совета Института инженеров-электриков.

Тексты выступлений на этом собрании выпущены отдельным изданием «К столетию Хевисайда». Материалы, помещенные в этом сборнике, дают много важных сведений о жизни и деятельности Хевисайда и о судьбе его открытий. Мы широко использовали сведения, содержащиеся в некоторых докладах, в частности в воспоминаниях доктора Сила о Хевисайде — самых полных из известных воспоминаний. Но в выступлениях на этом памятном собрании сохранились не только факты минувших времен. Все выступавшие оценивали труды Хевисайда с точки зрения своего времени.

Интересно посмотреть, как оценивали математики в 1950 г. значение работ Хевисайда для развития математики. Ведь при жизни Хевисайда подавляющее большинство математиков отвергало его методы как нестрогие, необоснованные или же просто как ошибочные.

Из выступлений математиков на памятном собрании видно, что через 25 лет после смерти Хевисайда единодушное осуждение его работ уступило место частичному или полному признанию. Единогласия среди математиков в оценке работ Хевисайда не было. Профессор математики Кембриджского университета Г. Джеффрис посвятил свое выступление оценке операционного исчисления¹¹⁸. Вспомним в связи с этим, что Хевисайд при жизни страдал от резко отрицательного отношения кембриджских математиков к своим работам. Джеффрис уже не отвергает целиком методы Хевисайда. Он пишет: «Большинство опубликованных мнений о чистой математике Хевисайда можно разбить на два класса. Одни утверждают, что это был в высшей степени самобытный гений, внесший большой вклад в чистую математику, и что он был всегда прав. Другие говорят, что ничего стоящего он не сделал, его работы всегда были нестрогими, а часто и бессмысленными. Истина находится где-то посередине. Он был блестящим и оригинальным, но он не имел представления о большей части той работы, которая была сделана до него»¹¹⁷.

Джеффрис указывает на возможный источник ошибок в методе Хевисайда. Если обозначить, следуя Хевисайду,

буквой p операцию дифференцирования по некоторой переменной t , тогда обратная операция будет p^{-1} . За p^{-1} мы можем принять следующую операцию:

$$p^{-1}f(t) = \int_0^t f(t) dt.$$

Хевисайд обращался с операторами p и p^{-1} как с обычными числами. Но для любого числа a имеем $aa^{-1} = a^{-1}a = 1$. Величины же p и p^{-1} неперестановочны, т. е. в общем случае $pp^{-1} \neq p^{-1}p$. Действительно,

$$pp^{-1}f(t) = f(t),$$

но

$$p^{-1}pf(t) = \int_0^t \frac{df}{dt} dt = f(t) - f(0),$$

и если $f(0) \neq 0$, то результаты отличаются.

«Удивительно, — пишет Джеффрис, — что никто из современных Хевисайду чистых математиков не обратил внимания на это обстоятельство или на другие случаи в его работах, когда изменение порядка этих операций приводит к неправильному ответу. Он на самом деле получил много неправильных результатов, но с удивительной изобретательностью и трудолюбием в вычислениях сумел сам отыскать эти ошибки. Но тот факт, что ему это удавалось, не дает гарантии, что любой сможет это сделать»¹¹⁷.

Примеров, которые показывали бы ошибки Хевисайда, Джеффрис не приводит.

Из доклада Джеффриса видно, что он разделяет в общем точку зрения о нестрогости и ненадежности математических методов, которые разработал Хевисайд. В свое время представители кембриджской школы начисто отвергли методы Хевисайда. Джеффрис эти методы признает, но с оговорками. Следуя Джеффрису, несколько упрощая его точку зрения, можно сказать, что Хевисайд часто ошибался, но всегда потом находил свои ошибки, потому что был трудолюбив и изобретателен. Но такая точка зрения несправедлива по отношению к Хевисайду и не дает объективной оценки его вклада в развитие математических методов.

Можно еще добавить, что Хевисайд почти всегда рассматривал задачи с нулевыми начальными условиями. В этом случае возражение Джеффриса несправедливо.

Джеффрис также пишет, что строгое обоснование операционного исчисления дает интеграл Бромвича. Мы уже приводили письма Бромвича к Хевисайду. Из этих писем видно, что Бромвич действительно считал свой метод обоснованием операционного исчисления. Но к методу Хевисайда он относился вполне положительно.

О математических методах Хевисайда говорилось также в выступлении сэра Эдмунда Уиттекера, одного из создателей современных методов математического анализа. Уиттекер высоко оценивал математические работы Хевисайда еще в 1928 г. В статье, опубликованной в бюллетене Калькуттского математического общества ¹¹⁹, он тогда писал о споре Хевисайда с чистыми математиками:

«Оглядываясь на это противоречие по прошествии тридцати лет, мы теперь должны поставить операционное исчисление в один ряд с открытием автоморфных функций Пуанкаре и открытием тензорного исчисления Риччи. Это — три наиболее важных математических продвижения последней четверти XIX в. Приложение, развитие и обоснование операционного исчисления составляют значительную часть математической активности сегодняшнего дня».

Уиттекер не изменил своей точки зрения и в 1950 г. Его выступление на памятном собрании в честь Хевисайда прозвучало как полное признание созданных Хевисайдом методов. Выступление Уиттекера затрагивает не только вопрос о ценности операционного исчисления, но и другие вопросы, не относящиеся непосредственно к чистой математике, но очень важные: об отношении общества к ученым, об отношениях между физиками-теоретиками и чистыми математиками и некоторые другие. Приведем некоторые выдержки из этого выступления ¹²⁰:

«Когда Оливер Хевисайд был выбран первым лауреатом Фарадеевской медали Института, президент Института лично поехал в Девоншир, чтобы вручить ее. Этот почет и эта вежливость были большим утешением на общем фоне пренебрежения и нищеты, характерном для жизни Хевисайда. Незадолго до этого в его доме был отключен газ больше чем на год за неуплату по счету. Сэр Джордж Ли уже зачитал письмо, которое описывает жалкое положение Хевисайда в то время.

Если подумать о том, какие большие деньги тратятся на развитие образования и исследовательские работы, то может показаться удивительным, что ученый первого ранга должен был существовать в таких ужасных усло-

виях... Гениальные люди часто не вписываются в общественное устройство. Утверждение, что отцы убивают пророков, а дети ставят памятники на их могилах, так же справедливо сегодня, как и 1900 лет назад.

Как математик, я должен признать и оплакать тот факт, что некоторые из огорчений в жизни Хевисайда были вызваны математиками. Я имею в виду некоторых именитых математиков, которые должны были определить, могут ли работы Хевисайда быть приняты к публикации, и которые отвергли их. Принятое ими решение было основано на том, что его доказательства не удовлетворяли стандартам строгости, которые тогда были в моде среди математиков. Хевисайд, подобно Ньютону или Лапласу или подобно Рамануджану в наши дни, имел дар открывать математические теоремы высокого порядка трудности и сложности при помощи особого рода интуиции, которая обходится без обычного процесса доказательства. Я думаю, именно сознание того, что он владеет таким даром, вызывало у него еще с молодых лет пренебрежение к формальной логике.

В последнее десятилетие XIX в. его конфликт с профессиональными математиками обострился. Для решения дифференциальных уравнений в теории электропроводности и теплопроводности он избрал метод, который теперь называется операционным исчислением. Решения, которые он получил, являются правильными практически во всех случаях, и позднейшие исследователи показали, почему эти решения правильны, обосновав там самым операционное исчисление. Но сам Хевисайд не тревожился по поводу обоснований и обращался к ученым обществам с просьбами о публикации таких работ, в которых, например, он извлекал квадратный корень из операции частного дифференцирования. Когда эти работы отвергались, он остро переживал отказ.

Далее Уиттекер излагает точку зрения Хевисайда на соотношение интуиции и логики в математическом творчестве:

«Существует распространенное мнение, что в математике вы ничего не докажете, если не идете по регулярному пути, и что по мере продвижения вперед вы должны все полностью понимать и строго доказывать. Эта доктрина становится наиболее вредной, когда прилагается к недостаточно исследованным областям. Сначала продвигайтесь вперед по любому возможному пути, а логику оставьте для последующей работы».

Уиттекер замечает по этому поводу, что близкой точки зрения придерживается Эйнштейн.

Далее Уиттекер сказал:

«Со времен Хевисайда тенденция чистых математиков заключалась в стремлении ко все большей и большей математической строгости, но в результате разрыв между ними и физиками-теоретиками сделался настолько большим, что эти две группы не имеют между собой ничего общего и поборники логики больше не пробуют навязывать свои стандарты естествоиспытателям. Можно было бы сказать о том, как влияет такое положение дел на образование физиков и инженеров, но мое время подошло к концу, и я закончу выражением моей благодарности совету Института за честь, которую они мне оказали, пригласив меня принять участие в этом торжестве».

Уиттекер только упомянул о том, что разрыв между чистыми математиками, с одной стороны, и физиками и инженерами, с другой стороны, влияет на образование физиков и инженеров. Эта проблема и сегодня не решена до конца. Ясно, что чистая математика во всей ее строгости не нужна будущим физикам и инженерам. Физику нужна, говоря словами Хевисайда, «физическая математика», а инженеру, если распространить на этот случай идеи Хевисайда, нужна «инженерная математика». Это разные математики, и чем скорее будет уяснено различие между ними, тем больше выиграет дело высшего образования.

Отметим здесь, кстати, что научные интересы Уиттекера не ограничивались только математикой. Он интересовался вопросами зарождения специальной теории относительности и написал большое историческое исследование на эту тему, в котором, по справедливому мнению многих физиков, недооценил роль Эйнштейна в создании специальной теории относительности. Но, как видно из его выступления на собрании по случаю столетия со дня рождения Хевисайда, значение работ Хевисайда он оценил в полной мере.

Операционному исчислению Хевисайда был посвящен еще один доклад. Его сделал профессор Б. Ван-дер-Поль. Ван-дер-Поль во многих своих расчетах использовал методы операционного исчисления. Ему принадлежит также развитие метода — введение (совместно с Бреммером) двустороннего преобразования Лапласа. Роль Хевисайда в создании и применении операционных методов Ван-дер-Поль оценивал очень высоко. В 1938 г. Ван-дер-Поль

прочитал лекцию о Хевисайде в Дельфтском университете. По тексту лекции ¹²¹ видно, что на Ван-дер-Поля большое впечатление произвел сам Хевисайд, его личность, взгляды, образ жизни, высказывания по различным поводам. Об этом Ван-дар-Поль говорил в своей лекции больше, чем о содержании научных трудов Хевисайда. На собрании в честь 100-летия Хевисайда Ван-дер-Поль говорил только об операционном исчислении ¹²².

Он отметил прежде всего, что нигде в своих многочисленных работах Хевисайд не дал единого и последовательного введения в созданную им область, если не говорить о кратком математическом изложении основ. Более или менее полное понимание теоретической и практической ценности применявшегося Хевисайдом математического метода можно получить только обратившись к множеству практических приложений метода, рассеянных в его работах.

Оценки, высказанные относительно этой части работ Хевисайда, меняются в широких пределах — от полнейшего признания до полного отрицания. Например, профессор Е. Уиттекер полностью признает и высоко оценивает математические методы Хевисайда (высказывания Уиттекера приведены выше). Совершенно противоположного мнения, граничащего с презрением, придерживается Г. Дётч. В своей книге «Теория и применения преобразования Лапласа» он пишет: «Формула, соответствующая разложению в виде суммы дробей... известна в символическом методе под именем «теоремы разложения Хевисайда». Обычно эта формула окружается таинственным туманом. Хевисайд, английский инженер-электрик, был самоучкой... Сама эта формула, конечно, уже давно была известна в чистой математике» ¹²³. В другом месте книги: «За работами Хевисайда последовало невероятно большое количество работ самых различных авторов. Все они, однако, с математической точки зрения полностью необоснованны».

Ван-дер-Поль приводит высказывания Е. Т. Белла из его книги «Развитие математики». Это высказывание подводит итог спору между Хевисайдом и чистыми математиками:

«Следуя трем стадиям развития, трагикомедия Хевисайда выродилась в фарс на протяжении трех актов: метод Хевисайда — это полная ерунда; метод правильный, и его можно обосновать; и, наконец, все знали все об этом методе задолго до того, как Хевисайд его использовал.

и этот метод, по существу, был тривиальным общим местом в классическом анализе»¹²⁵.

По поводу приведенной выше оценки Дётча, Белл пишет: «Ловкие и вдобавок высокомерные акробаты были слишком заняты балансированием в третьем акте, чтобы не уронить свое достоинство после первого акта, и потому не заметили, о чем говорит их гимнастика».

Причины тех противоречий, которые имели место между Хевисайдом и чистыми математиками, Ван-дар-Поль видит в следующем:

1. У Хевисайда не было систематического изложения вопроса. Он сам писал: «Те, кто предпочитает более формальное и логически последовательное изложение, могут искать его где угодно, и если смогут, то найдут. Или же они могут пойти и сделать это сами».

2. Отсутствие математической строгости в работах Хевисайда. По этому поводу Ван-дер-Поль пишет:

«Что касается отсутствия математической строгости у Хевисайда при использовании операционного исчисления, это затрагивает весьма фундаментальный вопрос, который вряд ли будет полностью решен в ближайшем будущем, — вопрос о том, какова необходимая математическая строгость, которая, как правило, должна соблюдаться в публикациях математических физиков. С одной стороны, математические работы не могут быть слишком строгими или слишком точными, как бы они ни были строги и точны; с другой стороны, «физическая» математика может оказаться вполне приемлемой, если ей недостает той строгости, которая требуется (с полным основанием) от работы чистого математика. Не следует забывать, что вплоть до Пуанкаре астрономы, рассматривая орбитальное движение, использовали ряды, которые, строго говоря, были определено расходящимися, и только этот великий французский математик доказал асимптотический характер этих рядов и получил большую часть соответствующих математических обоснований. В астрономии есть еще один знаменитый пример — Дж. У. Хилл, который очень успешно исследовал движение лунного перигелия и который ввел и вычислил детерминант бесконечного порядка. Сходимость этого детерминанта была доказана лишь через несколько лет.

Поэтому инженеру-электрику при вычислении компоненты Фурье для периодического тока нет нужды проверять, удовлетворяет ли этот ток как функция времени условию абсолютной интегрируемости по Лебегу, не нужно

ему и проверять, имеет ли эта функция конечное число разрывов, и все это по той простой физической причине, что ни этот, ни какой-либо другой ток не является полностью периодическим в строгом математическом смысле).

Ван-дер-Поль далее говорит о строгом математическом обосновании операционного исчисления. Он особо останавливается на книге Дж. Карсона «Теория электрических цепей и операционное исчисление»¹²⁶. Эта книга вышла в 1926 г., через год после смерти Хевисайда. В ней Карсон предпринял попытку дать операционному исчислению строгое математическое обоснование. Он с ясностью указал, что операционные методы Хевисайда могут быть полностью обоснованы с помощью преобразования Лапласа, которое функции $h(t)$ ставит в соответствие функцию $f(p)$ с помощью интегрального соотношения

$$p \int_0^{\infty} e^{-pt} h(t) dt = f(p).$$

Теперь мы называем функцию $h(t)$ оригиналом, а функцию $f(p)$ изображением. Множитель перед интегралом p в этой записи не является существенным и может быть опущен. Если писать p перед интегралом, получается полное соответствие с формулами Хевисайда.

Нет сомнения в том, что книга Карсона сильно повлияла на дальнейшее развитие операционного исчисления. В частности, Карсон ввел в операционное исчисление теорему свертки, которой не было у Хевисайда.

После того как Карсон обратил внимание исследователей в этой области на преобразование Лапласа как на основу операционного исчисления, Хевисайд был обвинен некоторыми в незнании того, что его результаты по операционному исчислению могли быть выведены из преобразования Лапласа. Однако сам Хевисайд знал преобразование Лапласа и использовал его для вычисления некоторых изображений. Тот факт, что он не пользовался этим методом, точнее говоря, почти не пользовался, объясняется тем, что для него, и не только для него, его метод был значительно проще (см. его переписку с Бромвичем).

Из выступления Ван-дер-Поля видно, что в споре чистых математиков с Хевисайдом он был на стороне Хевисайда.

Интересно отметить, что в выступлениях, посвященных вкладу Хевисайда в математику, не было и речи о созданном им векторном исчислении. Оно уже настолько

прочно вошло в обиход, что и спорить об этом не имело смысла. А ведь в свое время и это детище Хевисайда вызывало у многих сомнение или осуждение.

Ничего также не говорилось о том, что Хевисайд первым стал широко использовать в практических расчетах понятие оператора. Он разработал операторную алгебру — правила действий над операторами. Операторные методы, разработанные Хевисайдом, имеют не меньшее значение, чем созданное им операционное исчисление.

Собрание в честь столетия Хевисайда показало, что работы Хевисайда в полной мере сохранили свою ценность, его физические идеи и математические методы живут и развиваются.

«Время также показало, — сказал доктор Бакли, президент «Белл Телефон Лабораториз», — что многие часы терпеливого изучения его трудов последующими поколениями наших инженеров полностью себя оправдали»,⁷⁵.

Собрание почтило и человеческие качества Хевисайда. Об этом говорили многие из выступающих.

«Можно было бы отметить еще много достижений в необычайной карьере Хевисайда, но его жизнь, целиком посвященная науке, его исключительная культура, его добрые человеческие чувства и его великая воля, перевозмогавшая плохое здоровье, — это черты человека, которого мы будем чтить всегда»¹²⁷.

Эти слова взяты из выступления президента Французского общества электриков М. Понте.

К столетию со дня рождения Хевисайда вышло третье издание его «Электромагнитной теории». Это была фотографическая копия с первого издания. Три увесистые тома первого издания уместились в один том несколько большего формата. Книге предпослано введение, написанное Эрнстом Вебером, где рассматривается вклад Хевисайда в науку об электричестве и магнетизме.

Можно было бы подумать, что торжественное собрание по случаю столетия со дня рождения Хевисайда подвело итог его деятельности. Но это оказалось не так. Творчество Хевисайда поистине неисчерпаемо. Прошло еще 24 года после столетия Хевисайда, и сравнительно недавно Хевисайд снова напомнил о себе. Это произошло в 1974 г. Но чтобы рассказать об этом, надо вернуться назад, к 1934 г.

Глава девятнадцатая

Место действия — Физический институт имени Лебедева Академии наук СССР. Директор института академик Сергей Иванович Вавилов поручил своему аспиранту Павлу Алексеевичу Черенкову исследовать люминесценцию солей урана под действием гамма-излучения радия. Черенков приступил к измерениям. Опыт ставился следующим образом. Возле кюветы, в которую был налит раствор урановой соли, помещался источник гамма-излучения — небольшое количество радия (доли грамма). Под действием гамма-излучения раствор начинал слабо светиться, настолько слабо, что это свечение можно было видеть только после длительного пребывания в темноте.

Чтобы точнее определить яркость свечения солей урана, было решено посмотреть, как светятся растворители. Оказалось, что растворители тоже светились под действием гамма-лучей. В то время считалось, что свечение растворителей обусловлено примесями, т. е. чистые растворители не должны были светиться. Вавилов предложил очистить растворитель так, чтобы он не светился под действием гамма-лучей. Тогда бы все свечение раствора было обусловлено только солями урана. Черенков перегнал воду и проверил, светится ли она после перегонки. Вода светилась под действием гамма-лучей. Черенков провел повторную дистилляцию. Дважды перегнанная вода светилась под действием гамма-лучей почти так же, как и до перегонки. Черенков провел третью дистилляцию. Свечение воды практически не уменьшилось. Стало ясно, что примеси никакого отношения к этому свечению не имеют. Черенков стал проверять другие чистые жидкости, и выяснилось, что все они светятся под действием гамма-лучей радия.

По указанию С. И. Вавилова П. А. Черенков провел ряд стандартных измерений, разработанных в лаборатории С. И. Вавилова для изучения люминесценции¹²⁸. По результатам этих измерений С. И. Вавилов заключил, что свечение, обнаруженное П. А. Черенковым, не есть люминесценция¹²⁹. Он предположил, что гамма-лучи выбивают электроны из атомов жидкости. Выбитые электроны, двигаясь в жидкости, и дают излучение, которое наблюдал Черенков. Вавилов считал, что излучение объясняется тем, что электроны тормозятся при движении через

жидкость из-за соударений с атомами. При этом возникает излучение (оно всегда имеет место при неравномерном движении заряда, в том числе и при торможении). Это излучение, так называемое тормозное излучение, к тому времени было хорошо изучено. Вавилов, следовательно, предположил, что излучение, которое наблюдал Черенков, — это тормозное излучение электронов, выбитых гамма-лучами из атомов жидкости ¹²⁹.

В дальнейшем оказалось, что свечение, которое обнаружил П. А. Черенков, не является тормозным излучением и эта часть предположения С. И. Вавилова неверна. Но предположение, что источником излучения являются электроны, оказалось совершенно правильным. Вместо источника гамма-лучей Черенков взял радиоактивный источник быстрых электронов. Оказалось, что быстрые электроны тоже вызывали свечение чистой жидкости. Ряд дополнительных экспериментов подтвердил, что свечение давали быстрые электроны, проходящие через жидкость. Однако попытка объяснить наблюдаемое свечение тормозным излучением не дала согласия с наблюдениями.

Наблюдения П. А. Черенкова показали, что новое излучение имело ярко выраженную направленность. Излучение было направлено вперед под острым углом к направлению движения электронов. Излучение также было поляризованным, причем вектор поляризации (вектор электрического поля в излучаемой волне) лежал в плоскости, проходящей через линию движения заряда и точку наблюдения.

Теория нового свечения была создана через три года после его открытия, в 1937 г. Теоретическое объяснение принадлежало советским физикам Игорю Евгеньевичу Тамму и Илье Михайловичу Франку. Оказалось, что излучение возникает при равномерном (а не ускоренном) движении электрона в жидкости, если скорость электрона превышает скорость света в жидкости. Тамм и Франк дали полную теорию явления, вычислили поле сверхсветового электрона в среде, спектр излучения, распределение по углам, определили полные потери энергии на излучение ¹³⁰.

Есть воспоминания, написанные И. М. Франком и посвященные истории открытия. Из этих воспоминаний, в частности, видно, в какой благотворной научной атмосфере шла работа. «В молодости, — пишет И. М. Франк, — мне посчастливилось в том отношении, что уже в студенческие годы я попал в среду, в которой истинное научное

влияние воспринималось особенно интенсивно и разносторонне. Я имею в виду научную школу Л. И. Мандельштама, к которой принадлежали мои непосредственные учителя и выдающиеся физики С. И. Вавилов, Г. С. Ландсберг и И. Е. Тамм — ученые, столь различные по своей индивидуальности. Была, однако, особенность, характерная для всей этой школы, — это непрерывное научное общение. Вопросы теории и результаты экспериментов неизменно и постоянно обсуждались, и эти разговоры (они происходили и вне научных семинаров), частые и длительные, никто не считал потерей времени. Первое время мне казалось удивительным, что столь выдающиеся люди часы своего драгоценного времени, в которые могли бы сделать нечто замечательное, тратят на разговоры, в которых немалое внимание уделяется тому, что не получилось или оказалось ерундой. В то время я не понимал и того, что в этих беседах часто излагались новые идеи задолго до их публикации и, разумеется, без опасения, что их опубликует кто-то другой. Притом никто не жалел усилий, чтобы помочь формированию нового в понимании, совершенно не думая о соавторстве. В той моральной атмосфере, которая была свойственна школе Л. И. Мандельштама, это было более чем естественно.

Непрерывное обсуждение новых работ и соображений, связанных с ними, в беседах с коллегами и учениками было характерно для С. И. Вавилова до конца его жизни. Вполне естественно, что я знал о работе П. А. Черенкова с самого ее начала и во всех подробностях. Вскоре С. И. Вавилов познакомил меня с Черенковым, а после моего перехода в ФИАН началось и наше тесное научное общение. После переезда в 1934 г. Академии наук в Москву С. И. Вавилов не раз говорил об этих работах с И. Е. Таммом, постоянно общался с ним и я. Без этих многократных совместных обсуждений не родилась бы работа, которой посвящена эта статья»¹³¹.

И. М. Франк далее пишет, что С. И. Вавилов увлек его своим интересом к работе П. А. Черенкова. П. А. Черенкову в его измерениях нового свечения было трудно обойтись без помощников, «и случалось, хотя и не очень часто, что таким помощником был я. В результате у меня были самые непосредственные представления о работе. Вполне естественно поэтому, что в обсуждениях полученных результатов и планируемой постановки опытов обычно принимал участие не только С. И. Вавилов, но и я». К этому можно добавить, что С. И. Вавилов принимал

участие не только в обсуждениях, но и в измерениях. Это тесное сотрудничество способствовало и успешному проведению измерений, и выработке понимания.

Теория Тамма и Франка¹³⁰ была основана на максвелловской электродинамике. Они решили уравнения Максвелла для случая, когда источником поля является равномерно движущаяся в среде точечная заряженная частица, скорость которой превосходит скорость света в этой

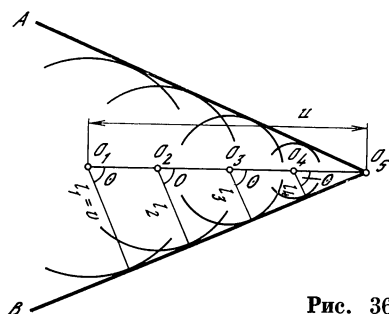


Рис. 36

среде. Мы не будем здесь приводить формул, полученных Таммом и Франком, расскажем только о простом соображении, которое объясняет направленность излучения. Чтобы понять это соображение, не нужно знать уравнения Максвелла, достаточно знать принцип Гюйгенса.

На рис. 36 отрезок прямой линии $O_1O_2O_3O_4O_5$ обозначает путь электрона в среде. Пусть за единицу времени электрон прошел путь O_1O_5 , тогда путь численно равен скорости движения u :

$$u = O_1O_2O_3O_4O_5.$$

От каждой точки пути электрона расходятся сферические электромагнитные волны, подобно тому, как от камня, брошенного в воду, расходятся по воде круговые волны.

Рассмотрим момент времени, когда электрон находится в точке O_5 . Тогда, как видно из рисунка, волна, расходящаяся из точки O_1 , ушла от точки O_1 на расстояние, численно равное скорости света в среде v . Это следует из того, что путь от точки O_1 до точки O_5 частица прошла за одну секунду. За это время световая волна разошлась из точки O_1 во все стороны на расстояние v . Легко определить расстояние l_2 , на которое разошлась волна из точки O_2 . От O_2 до O_5 электрон прошел за время O_2O_5/u . За это время световая волна из точки O_2 разошлась на расстояние $l_2 = O_2O_5v/u$. Нетрудно таким путем определить,

на какое расстояние разошлись волны, излученные при движении электрона, из любой точки пути O_1O_5 . Все эти сферические волны имеют общую огибающую поверхность — конус с вершиной в точке O_5 . На рисунке изображены две образующие этого конуса, AO_5 и BO_5 . Согласно принципу Гюйгенса, огибающая всех волн, излученных в каждой точке, через которую прошел заряд, дает результирующую волну излучения. Из рисунка видно, что получается коническая волна, расходящаяся от линии движения заряда. Скорость волны равна скорости света в среде, а направление распространения составляет со скоростью заряда (с линией O_1O_5) угол θ , который определяется из равенства

$$\cos \theta = v/u.$$

Это соотношение объясняет направленность излучения Вавилова—Черенкова. Из формул видно, в частности, что скорость заряда u должна превышать скорость света в среде v , потому что $\cos \theta$ меньше единицы. Если скорость заряда u будет меньше, чем скорость света в среде v , то заряд не сможет обогнать и оставить позади излученные им волны, и тогда картина будет совсем другая, а не та, что изображена на рис. 36. У системы волн, излученных в каждой точке пути, не будет общей огибающей.

И. Е. Тамм и И. М. Франк, повторяю, нашли все свойства излучения, а не только угол, под которым оно распространяется. Соображение, связанное с принципом Гюйгенса, играло роль наводящей идеи. Измерения, проведенные П. А. Черенковым, подтвердили теорию Тамма и Франка.

Так был открыт новый вид свечения заряженных частиц, проходящих через среду. Новое свечение назвали свечением Вавилова—Черенкова, по имени открывших его ученых.

Несмотря на опытное подтверждение, теория Тамма и Франка была первоначально встречена с недоверием. Один из авторов объяснения, И. М. Франк, вспоминает:

«Уже после того, как в исследование явления была внесена полная ясность, С. И. Вавилов в 1937 г. направил небольшую статью П. А. Черенкова, суммировавшую полученные результаты и их сравнение с теорией, в «Nature» [английский журнал по естественным наукам. — Б. Б.]. Не помню уже, под каким благовидным предлогом, но статья была отклонена. Истинная же причина не вызывала сомнений — столь солидный журнал, как «Na-

ture», не считал возможным опубликовать результаты, представлявшие по крайней мере сомнительными. В этом смысле менее разборчивым оказался «Physical Review» [американский физический журнал. — *Б. Б.*], куда и была направлена та же статья после неудачи с «Nature».

Вскоре появились экспериментальные подтверждения других авторов, недоверие к опытам и к теории пропало. В 1946 г. С. И. Вавилов, П. А. Черенков, И. Е. Тамм и И. М. Франк были удостоены Государственной премии СССР за открытие и объяснение свечения Вавилова—Черенкова. В 1958 г. И. Е. Тамму, И. М. Франку и П. А. Черенкову была присуждена Нобелевская премия (С. И. Вавилов умер в 1951 г.).

К моменту присуждения Нобелевской премии излучение Вавилова—Черенкова нашло важное применение в ядерной физике, физике космических лучей и в некоторых других областях.

Прошло полтора десятка лет после присуждения Нобелевской премии по физике за открытие и объяснение излучения Вавилова—Черенкова. И вот в середине семидесятых годов появились статьи в физических журналах у нас в стране и за рубежом, в которых говорилось, что первые указания на возможность излучения сверхсветового заряда были сделаны Хевисайдом в конце прошлого века. В Советском Союзе на это обратил внимание А. А. Тяпкин¹³². Он разыскал работу Хевисайда, опубликованную в апреле 1889 г. в журнале «Philosophical Magazine». Отметим здесь, что заметка А. А. Тяпкина появилась в журнале «Успехи физических наук» в апреле 1974 г., т. е. ровно через 85 лет после выхода в свет работы Хевисайда. По-видимому, А. А. Тяпкин интересовался этой работой в связи с тем, что изучал историческое развитие идей, которые позднее привели к появлению теории относительности.

В указанной работе Хевисайда рассматривается равномерное движение точечного заряда q со скоростью u в среде, в которой скорость света равна v . А. А. Тяпкин приводит выдержку из этой работы:

«Теперь само собой встает вопрос: какая ситуация возникает, если $u > v$? Ясно, прежде всего, что здесь совсем не может быть возмущения впереди движущегося заряда (точечного для простоты). Затем, учитывая, что сферические волны, излучаемые зарядом при его движении вдоль оси z , распространяются со скоростью v , найдем, что геометрическое место точек их фронтов есть ко-

ническая поверхность, вершина которой есть сам заряд, ее ось — ось z , и половина угла раствора, которую мы обозначим через α , дается соотношением

$$\sin \alpha = v/u.$$

Если сравнить эти соображения с тем качественным рассмотрением, которое мы привели выше и которое изображено на рис. 36, становится ясно, что ход мыслей Хевисайда во многом соответствует тем наводящим соображениям, которые были для Тамма и Франка исходными. Следует только иметь в виду, что угол α в приведенном отрывке из работы Хевисайда и угол θ в рассмотрении Тамма и Франка — это разные углы, составляющие в сумме 90° . На рис. 18 обозначены оба этих угла.

Заметка А. А. Тяпкина пробудила интерес в Советском Союзе к изучению работ Хевисайда. Потом, год или два спустя, мне стало известно, что в журнале «Nature» в феврале 1974 г., т. е. за два месяца до появления заметки А. А. Тяпкина, появилась столь же краткая, или даже еще более краткая заметка Т. Р. Кейзера из Шеффилдского университета. В этой заметке¹³⁴ Кейзер обращал внимание на еще более раннюю работу Хевисайда, опубликованную в журнале «Electrician» 23 ноября 1888 г.³⁹ В этой работе Хевисайд с полной определенностью говорит, что в случае сверхсветового движения заряд испытывает тормозящую силу со стороны собственного поля. Приводится рисунок, изображающий область, в которой поле отличается от нуля. Это — конус, в вершине которого находится заряд. Вне конуса поле равно нулю. Текст этого более раннего сообщения (по-видимому, это первое упоминание об излучении при сверхсветовом движении) приведен выше, на с. 60—61.

Свою заметку Т. Р. Кейзер заканчивает словами:

«Имея в виду приведенный отрывок, могу ли я предложить, чтобы имя этого британского ученого, Оливера Хевисайда, было связано с этим явлением?»

Выше мы по ходу изложения неоднократно упоминали об исследованиях Хевисайда, связанных с определением поля сверхсветового источника в среде.

Результаты этих исследований были опубликованы при жизни Хевисайда в виде журнальных статей, а затем вошли в его книгу «Электромагнитная теория», которая вышла двумя изданиями еще при жизни Хевисайда, а затем третьим изданием через 25 лет после его смерти. И тем не менее эти работы почти всеми были оставлены без

внимания и были забыты уже при жизни Хевисайда. Почему же работы Хевисайда были надолго забыты и о них вспомнили лишь через 40 лет после открытия эффекта Вавилова—Черенкова?

Чтобы ответить на этот вопрос, следует, по нашему мнению, учесть несколько обстоятельств.

Хевисайд, рассматривая поле, созданное в среде точечной заряженной частицей, намного опередил свое время. Первые его работы относятся к 1888 г. В то время идея атомистического строения вещества признавалась лишь немногими. Первая из заряженных частиц — электрон — была открыта только через девять лет, в 1897 г. Что же касается возможности получить электроны, движущиеся со скоростью, превышающей скорость света в среде, то такая возможность появилась лишь в первом десятилетии XX в. после открытия радиоактивности. Иными словами, когда Хевисайд начал исследовать излучение сверхсветовой заряженной частицы, еще не было известно ни одной заряженной частицы. А когда первая такая частица была открыта, она оказалась недостаточно быстрой, не сверхсветовой.

Хевисайда читали лишь немногие физики. Но и те по уже приведенным причинам сочли его постановку задачи нереальной.

В первые годы XX в. стало возможно получать достаточно быстрые электроны — такие, что их скорость превышала скорость света в веществе. Но еще одно обстоятельство помешало признанию Хевисайда. Согласно теории относительности, которая была создана в 1905 г., никакое материальное тело не могло иметь скорость, превышающую скорость света в пустоте. Поэтому постановка задачи у Хевисайда по-прежнему считалась нереальной. Никто не задумался над тем, что сверхсветовая скорость в среде, в отличие от сверхсветовой скорости в пустоте, вполне возможна.

Странным образом получилось так, что забвению работ Хевисайда способствовали и те немногие теоретики, которые серьезно к ним относились и даже сами вслед за Хевисайдом исследовали сверхсветовое движение. В 1900 г. геттингенский теоретик Теофил де Кудр опубликовал хорошо написанную, ясную и достаточно подробную работу¹⁴⁰, в которой рассматривал поле равномерно движущегося точечного заряда, скорость которого превышала скорость света. Никаких новых результатов по сравнению с Хевисайдом он не получил. Но де Кудр и не

ставил перед собой такую цель. Он хотел проверить результаты, полученные Хевисайдом. Дело в том, что Хевисайд в своих работах определял поле сверхсветового заряда с помощью операционного исчисления, которое для многих тогда было непонятно и сомнительно. Поэтому его результаты вызывали недоверие. Де Кудр определил поле сверхсветового заряда с помощью общепринятого метода запаздывающих потенциалов, разработанного Лоренцом. Он получил полное согласие с результатами Хевисайда. Но, желая, по-видимому, рассмотреть более общую задачу, де Кудр исследовал сверхсветовое движение заряда не в сплошной среде, а в пустоте. Казалось бы, что это все равно, так как главное — это то, что скорость заряда превосходит скорость света. Но на самом деле с появлением теории относительности выяснилось, что постановка задачи у де Кудра была нереальной (заряд не может обогнать световую волну в пустоте), в то время как у Хевисайда она была вполне реальной (заряд может обогнать световую волну в сплошной среде).

Через несколько лет после де Кудра этот же вопрос рассмотрел известный немецкий физик-теоретик Арнольд Зоммерфельд. Он, как и де Кудр, для простоты и общности рассмотрел сверхсветовое движение заряда в пустоте. При этом качественно картина поля оказывается примерно такой же, как и при сверхсветовом движении в среде, т. е. возникает конус излучаемых волн, излучение является направленным и т. д. Но движение частицы со скоростью, превышающей скорость света в пустоте, оказалось невозможным. Поэтому после появления теории относительности работа Т. де Кудра, как и работа А. Зоммерфельда¹³⁷, была забыта. А тот факт, что и де Кудр¹⁴⁰ и Зоммерфельд¹³⁸ ссылались на Хевисайда как на своего предшественника, по-видимому, бросил тень и на работы Хевисайда, хотя постановка задачи у него была другая, физически оправданная.

Когда работа И. Е. Тамма и И. М. Франка была уже в основном закончена, А. Ф. Иоффе указал им на работы А. Зоммерфельда¹³⁷. Впервые за много лет после опубликования эти работы были процитированы Таммом и Франком в их статье 1937 г. Оттиск своей статьи И. М. Франк и И. Е. Тамм послали Арнольду Зоммерфельду в Мюнхен. В ответном письме к И. Е. Тамму Зоммерфельд поблагодарил за оттиск, высказал некоторые соображения относительно постановки задачи в своей работе и в работе Тамма—Франка и прислал несколько оттисков своих

работ, имевших отношение к излучению сверхсветового заряда. О работах Хевисайда Зоммерфельд в своем письме ничего не написал, и в присланных им работах ¹³⁷ ссылок на Хевисайда не было, если не считать того места в одной из работ, где говорится, что используется система единиц Хевисайда. Однако А. Зоммерфельд знал о работах Хевисайда по излучению сверхсветовых источников.

В работе А. Зоммерфельда ¹³⁸, опубликованной в 1904 г. в докладах Амстердамской академии (доложена Х. А. Лоренцом) есть упоминания о работах Хевисайда и де Кудра.

Уже после создания теории Тамма и Франка вышел из печати учебник А. Зоммерфельда «Оптика» ¹³⁹, где рассматривается излучение Вавилова—Черенкова, излагается теория Тамма—Франка и упоминается о более ранних работах Хевисайда, де Кудра и самого Зоммерфельда. Но на эти ссылки в учебнике никто не обратил внимания.

В 1912 г. в Кембридже вышла из печати книга Дж. Шотта «Electromagnetic radiation» ¹⁴². В этой полезной книге было рассмотрено много задач, относящихся к излучению движущихся заряженных частиц при различных законах движения. На Хевисайда в этой книге имеется всего одна или две ссылки, причем далеко не на самые существенные работы. А ведь как раз в том же году был напечатан третий том «Электромагнитной теории» Хевисайда, где почти половина тома была тоже посвящена определению поля движущихся зарядов. Почти все работы, вошедшие в книгу, были опубликованы задолго до этого. Но Шотт их в своей книге не упоминает. Справедливости ради следует сказать, что Хевисайд на Зоммерфельда и Шотта совсем не ссылается.

Нужно еще добавить, что Хевисайд в своем рассмотрении руководствовался физической фантазией, интуицией, чутьем теоретика. Напротив, Тамм и Франк ставили перед собой задачу объяснить реальное экспериментальное явление, обнаруженное Вавиловым и Черенковым. Хевисайд не учитывал дисперсии среды, т. е. того обстоятельства, что скорость электромагнитной волны в среде зависит от ее частоты. Он считал, что волны всех частот в среде имеют одинаковую скорость. Но отказ от учета дисперсии делает невозможным сравнение теории с опытом.

Если в среде без дисперсии точечный заряд имеет сверхсветовую скорость, то он излучает на всех частотах и полная энергия излучения оказывается бесконечно большой. В реальной же среде потеря энергии на излуече-

ние Вавилова—Черенкова всегда конечна, потому что сверхсветовой заряд не может обогнать волны всех частот — волны одних частот он обгоняет, а волны других частот имеют большую скорость, и заряд их не может обогнать. Излучаются только те волны, скорость которых меньше, чем скорость заряда. А эти «отстающие» от заряда волны лежат в ограниченном частотном интервале, и поэтому полные потери энергии на излучение оказываются конечными. Тамм и Франк учитывали дисперсию реальной среды и поэтому получили формулы, которые можно было сравнивать с экспериментом. Это относится и к выражению для угла излучения (волны разных частот излучаются под разными углами), и к спектру излучения (энергия излучения на различных частотах различна, спектральная область излучения ограничена), и к полной энергии, потраченной зарядом на излучение Вавилова—Черенкова. Это относится и к величине поля в разных областях пространства. Если пренебречь дисперсией, то поле на образующих конуса излучения становится бесконечно большим. В реальной среде вследствие дисперсии конус излучения «размывается» и поле излучения везде конечно.

Второе важное отличие теории Тамма и Франка от теории Хевисайда выражается не в формулах, а в том понимании, которое вкладывается в эти формулы. Хевисайд считал, что скорость заряда, проходящего через среду, может быть как угодно велика. Он не признавал ограничений, которые налагает теория относительности на скорость материальных тел. Скорость заряженной частицы, проходящей через среду, не может превышать скорость света в пустоте. Хевисайд в первой своей работе по сверхсветовому движению выражал сомнение в том, что материальное тело может двигаться со скоростью, превышающей скорость света. Это было за семнадцать лет до появления специальной теории относительности, и это можно было рассматривать как гениальное предчувствие. Но впоследствии Хевисайд встал на ту точку зрения, что скорость тела никак не ограничена сверху. Это было в 1898 г. Речь тогда шла о том, может ли заряд двигаться с любой скоростью. Вопрос этот рассматривался рядом исследователей (Дж. Сил, Дж. Фицджеральд), и все они пришли к выводу, что заряженное тело не может двигаться со скоростью, превышающей скорость света в пустоте. Вопрос тогда решался в рамках электродинамики. Вычислялась энергия электромагнитного поля, связанного с равномерно и прямолинейно движущимся зарядом.

Когда скорость заряда приближалась к скорости света, энергия поля стремилась к бесконечности, это означало, что на ускорение заряда до скорости света надо затратить бесконечную энергию. Хевисайд показал, что это соображение неверно ¹³⁶. При изменении скорости заряда его поле не сразу принимает значение, отвечающее равномерному движению с измененной скоростью. Для установления поля необходимо время. Поэтому с точки зрения только законов электродинамики сверхсветовую скорость в пустоте нельзя было запретить. В этом отношении Хевисайд был прав. Ограничение на скорость материальных тел пришло с появлением теории относительности, но Хевисайд этого ограничения так и не признал.

Несмотря на эти и некоторые другие оговорки, можно только поражаться тому, насколько глубоко понимал Хевисайд целый ряд характерных для рассматриваемого явления особенностей.

В 1984 г. исполнилось 50 лет со дня открытия С. И. Вавилова и П. А. Черенкова. К этому событию была приурочена статья И. М. Франка «Развитие представлений о природе излучения Вавилова—Черенкова», опубликованная в журнале «Успехи физических наук» ¹⁴⁵. В этой статье много места уделено сопоставлению работ Хевисайда и теории Тамма—Франка. И. М. Франк отмечает, что в ряде отношений теория Хевисайда была неполной, но в то же время пишет о работах Хевисайда как о «совершенно поразительном предвидении современной теории».

Автору этих строк И. М. Франк сказал о Хевисайде: «Почетно иметь такого предшественника».

Возможно, есть и другие, не упомянутые нами причины, по которым работы Хевисайда были надолго забыты. Но уместно задать вопрос: почему же все-таки вспомнили об этих работах? Одна из причин, как ни странно, заключается в том, что открытие Вавилова—Черенкова и теория Тамма—Франка получили широкое и повсеместное признание. Это в большой степени облегчило чтение и понимание соответствующих работ Хевисайда.

Какие еще работы Хевисайда выплывут из забвения? Кто знает?

В неопубликованных бумагах Хевисайда был найден листок, на котором записаны размышления о бессмертии души. Хевисайд пишет, что еще в далекой древности люди создали легенду о бессмертии души. Эта легенда

оказалась живучей, вошла как составная часть в религиозные учения и выдерживает все попытки разделаться с нею. Развитие науки, как это часто бывает, не опровергло эту легенду о бессмертии души, а придало ей новый смысл. Дальше Хевисайд пишет:

«Теперь есть более благородный смысл в доктрине о бессмертии души. В этом смысле бессмертие души не вопрос веры, а факт. Каждый живущий приготавливает мир для тех, кто придет позднее. Каждый оказывает влияние на мир, хорошее или плохое, и затем умирает. Сделанное при жизни добро или зло остается; и следы этого сохраняются на все времена. Не только жизнь окружающих нас людей, но и жизнь последующих поколений изменяется вследствие наших действий. Приверженец бессмертия, не удовлетворенный старыми общепринятыми представлениями, может воскликнуть «Весь я не умру!» Часть нас самих живет после нас, растворенная более или менее во всем человечестве и во всей природе. Это и есть бессмертие души. Существуют большие души и маленькие души. Бессмертная душа сайнтикулиста настолько мала, что ее не видно. Ее существование даже сомнительно. Душа Шекспира или Ньютона изумительно велика. Такие люди живут самую лучшую часть своей жизни после того, как они умирают. Максвелл — один из таких людей. Его душа будет жить и расти в веках и будет сотни лет сиять как одна из ярких звезд прошлого, свет от которой распространяется целую эпоху, чтобы дойти до нас»¹².

Прекрасные примеры бессмертия приведены в этом глубоком рассуждении. Бессмертен Шекспир. Бессмертен Ньютон. Бессмертен Максвелл.

А Оливер Хевисайд? Разве не бессмертен и этот великий сын Англии?

Послесловие

Знакомство с жизнью и трудами Хевисайда наводит на многие размышления. Заслуживают величайшего уважения его сила воли, неукротимый дух познания. Вызывает удивление богатство полученных им результатов. Большую симпатию вызывают неповторимые черты его личности, а его тяжелая жизнь наполняет нас сочувствием.

Но возникает и множество таких вопросов, которые и сейчас являются злободневными. Жизнь Хевисайда дает повод для того, чтобы еще раз подумать над этими вопросами.

Чем определяется научное признание? Всегда ли возможно по справедливости оценить научные достижения и воздать должное их автору еще при жизни? Или, наоборот, необходимо время для того, чтобы дать объективную оценку сделанному? Что надо делать, чтобы устранить помехи с пути таланта? А может быть, талант и не нуждается в помощи, он сам добьется признания вопреки всем трудностям? На последний вопрос хорошо ответил известный советский кинорежиссер Михаил Ромм. Он сказал: «Таланту надо помогать, а бездарность пробьется сама».

Но как помогать таланту? Как его разглядеть? Как облегчить ему жизнь?

Эти вопросы первостепенной важности с новой силой встают перед нами после знакомства с жизнью Оливера Хевисайда. И от того, как мы решаем эти вопросы, зависит наше будущее.

В работе над книгой мне помогали советами и обсуждениями многие люди. Ю. П. Мухортов привлек мое внимание к статьям Хевисайда, в которых рассматривалось изучение движущихся зарядов. Он много сделал для того, чтобы разыскать и изучить эти статьи. Преждевременная смерть помешала ему довести свой труд до завершения. Разговоры с ним были для меня первым толчком к изучению творчества Хевисайда и в конечном счете к написанию этой книги.

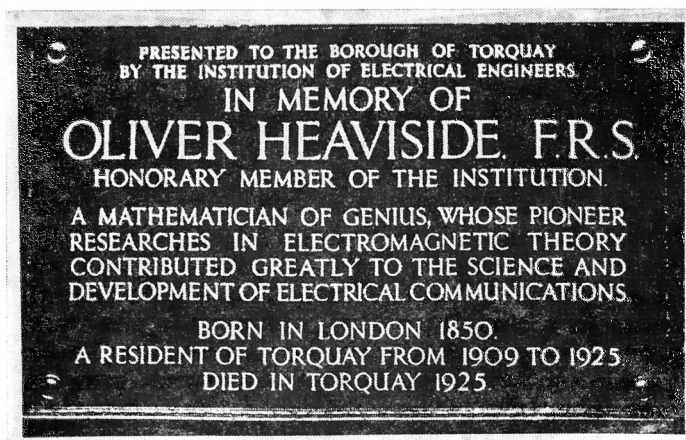


Рис. 37. Мемориальная доска, установленная в честь Оливера Хевисайда в здании муниципалитета Торки, с надписью: «Передано городу Торки Институтом инженеров-электриков в память Оливера Хевисайда, члена Королевского общества, почетного члена Института, гениального математика, чьи пионерские исследования в электромагнитной теории внесли великий вклад в науку и в развитие электрической связи. Родился в Лондоне, 1850. Жил в Торки с 1909 по 1925. Умер в Торки, 1925» (фото из газеты «Torquay Times» от 2 декабря 1966 г.)

И. М. Франк во время одной из наших бесед о Хевисайде посоветовал мне написать о нем книгу. Он также прочел рукопись и высказал ряд замечаний. Ряд вопросов я обсуждал с Н. В. Вдовиченко, М. И. Кагановым, В. И. Ритусом, С. М. Столяровым, В. Я. Френкелем и Б. Е. Явеловым. Всем им я благодарен за помощь и критику.

Некоторые материалы были мне присланы из Англии. Королевское общество любезно отозвалось на мою просьбу прислать портрет доктора Дж. Сила, члена Королевского общества и ближайшего друга Хевисайда. Портрет был прислан мне библиографом Королевского общества Н. Робинсоном. Из города Торки, где Хевисайд прожил последние 17 лет своей жизни, я получил информацию, которая существенно дополнила то, что мне было известно о его жизни в этот период. В получении этой информации мне оказали содействие мэр округа Торбэй (в этот округ входит город Торки) советник К. Дж. Селли, секретарь мэрии Р. А. Фентон и окружной библиограф П. Дж. Боттрилл. Из

материалов, присланных мистером Боттриллом, видно, что в Торки помнят о Хевисайде. О нем рассказывают различные истории, которые, как написал мистер Боттрилл, «стали почти легендами». Некоторые из этих историй мистер Боттрилл привел в своем письме. Они подчеркивают своеобразие личности Хевисайда. Присланные вырезки из местных газет свидетельствуют о том, что Хевисайда в этих местах помнят и чтят как великого ученого. В городе Торки установлены две мемориальные доски в честь Хевисайда, одна — в здании городской управы, другая — у дома, где жил Оливер Хевисайд. Я благодарен всем названным лицам и надеюсь на получение новых сведений.

Все замечания по книге будут приняты с благодарностью.

Даты жизни и научной деятельности Оливера Хевисайда

- 1850 — 18 мая родился в Лондоне
- 1866 — Заключивает обучение в школе и после этого в течение двух лет занимается дома, изучая естественные науки и иностранные языки
- 1868—1874 — Работает телеграфным оператором сначала в Фредерике (Дания), а затем в Ньюкасл-он-Тайн (Англия)
- 1873 — Знакомится с только что вышедшей из печати книгой Максвелла «Трактат об электричестве и магнетизме»
- 1874 — Уходит с работы в телеграфной компании и больше до конца жизни нигде не служит; в доме своих родителей в Лондоне он оборудует лабораторию, где проводит опыты по проводной связи и электрические измерения; изучает высшую математику и электродинамику Максвелла
- 1873—1876 — Публикует серию статей, обосновавших практическую возможность дуплексной телеграфии
- 1877—1885 — В серии статей обсуждает и систематически излагает теорию Максвелла, развивая ее; развивает математические методы, облегчающие запись и решение уравнений Максвелла; применяет теорию Максвелла к большому числу практически важных случаев (в частности, к задачам телеграфии)
- 1887 — Записывает телеграфное уравнение и формулирует условие телефонной связи без искажений
- 1888 — Определяет поле заряженной частицы, равномерно движущейся в диэлектрике с досветовой скоростью; предсказывает, что заряд, движущийся со сверхсветовой скоростью, будет излучать направленные электромагнитные волны
- 1889 — Получает выражение для силы, действующей на заряженную частицу в магнитном поле («сила Лоренца»)
- 1889 — Переезжает с родителями из Лондона в Пэйнтон
- 1891 — Избран членом Королевского общества
- 1892 — Выход из печати книги «Работы по электричеству», в которой собраны результаты, полученные Хевисайдом за 20 лет
- 1893 — Выход из печати первого тома «Электромагнитной теории», содержащего работы 1890—1893 гг.
- 1896 — Установлена королевская пенсия
- 1897 — Переезжает в Ньютон Эббот
- 1899 — Выход из печати второго тома «Электромагнитной теории», содержащего работы 1894—1898 гг.
- 1899 — Хевисайд избран почетным членом Американской академии искусств и наук
- 1900—1902 — Подробно исследует поле движущихся зарядов при досветовой и сверхсветовой скоростях
- 1902 — Предсказывает существование в верхней атмосфере слоя,

- отражающего радиоволны («слой Хевисайда — Кеннелли»)
- 1905 — Избран почетным доктором философии Геттингенского университета
- 1908 — Переезжает в Торки
- 1908 — Избран почетным членом Института инженеров-электриков
- 1912 — Выход из печати третьего тома «Электромагнитной теории», содержащего работы 1900—1912 гг.
- 1914—1925(?) — Работает над четвертым томом «Электромагнитной теории», рассматривая объединение гравитации и электромагнетизма
- 1919 — Избран почетным членом Американского института инженеров-электриков
- 1921 — Присуждена медаль Фарадея, учрежденная Институтом инженеров-электриков в этом же году
- 1925 — 3 февраля скончался в больнице, куда был доставлен за месяц до кончины

Основные научные труды Оливера Хевисайда

- Heaviside O.* Electrical papers. L.; N. Y.: Macmillan, 1892. Vol. I. XX. 560 p.; Vol. II. XVI. 587 p.
- Heaviside O.* Electromagnetic theory. L.: The Electrician Co. Vol. I. 1893. 466 p.; Vol. II, 1899. 547 p.; Vol. III. 1912. 519 p.— Idem. 2nd ed. L.: Benn, 1922. Vol. I. 466 p.; Vol. II. 547 p.; Vol. III. 519 p.— Idem. 3rd. ed. L.: Spon, 1951. 416 p.

Примечания

- 1 Heaviside O. Electrical papers. L.; N. Y.: Macmillan, 1892, vol. I. XX. 560 p. (Далее: El. Pa, I).
- 2 Heaviside O. Electrical papers. L.; N. Y.: Macmillan, 1892. Vol. II. XVI. 587 p. (Далее: El. Pa, II).
- 3 Heaviside O. Electromagnetic theory. L.: The Electrician Co. Vol. I. 1893. 466 p. (Далее: EMT, I).
- 4 Heaviside O. Electromagnetic theory. L.: The Electrician Co. Vol. II. 1899. 547 p. (Далее: EMT, II).
- 5 Heaviside O. Electromagnetic theory. L.: The Electrician, Co. Vol. III. 1912. 519 p. (Далее: EMT, III).
- 6 Lee, Sir George. Oliver Heaviside — the man.— In: The Heaviside centenary volume. L.: IEE, 1950, p. 10.
- 7 Lee, Sir George. Oliver Heaviside and the mathematical theory of electrical communications. L.: Longman, Green and Co, 1947.
- 8 EMT, III, p. 513.
- 9 EMT, III, p. 514.
- 10 EMT, III, p. 515.
- 11 EMT, I, p. 148.
- 12 Appleyard R. Oliver Heaviside.— In: Pioneers of electrical communication. L.: Macmillan and Co, 1930, p. 211—260.
- 13 Mercer R. Rewards that came too late. Текст выступления по английскому радио 22 января и 2 марта 1976 г.
- 14 Bethenod J.— Bull. Soc. franç. electriciens, 1925, vol. 5, p. 232.
- 15 EMT, I, p. 135.
- 16 EMT, I, p. 136—137.
- 17 Рэлей. Теория звука/Пер. под ред. Рытова С. М. М.: Гостехтеориздат, 1955, т. I, с. 21.
- 18 EMT, II, p. 5.
- 19 EMT, II, p. 6.
- 20 EMT, II, p. 9.
- 21 EMT, II, p. 10.
- 22 EMT, II, p. 4.
- 23 EMT, I, p. 3.
- 24 EMT, I, p. 3.
- 25 El. Pa, II, p. 505.
- 26 Jackson W. An appreciation of Heaviside's contribution to electromagnetic theory.— In: The Heaviside centenary volume. L.: IEE, 1950, p. 53.
- 27 Searle J. F. C. Address at the Heaviside centenary meeting.— In: The Heaviside centenary volume. L.: IEE, 1950, p. 8.
- 28 El. Pa, I, Preface.
- 29 Lodge O.— Elec. World., 1925, vol. 85, p. 403.
- 30 El. Pa, II, p. 160.
- 31 EMT, II, p. IV.
- 32 EMT, I, p. V.
- 33 EMT, II, p. V.
- 34 J. IEE, 1889, vol. 18, p. 10.
- 35 EMT, I, p. 1.
- 36 Philos. Mag., 1881, vol. 11, p. 229.
- 37 El. Pa, II, p. 504.
- 38 El. Pa, II, p. 494.
- 39 El. Pa, II, p. 492.
- 40 EMT, II, p. 534.
- 41 Searle G.F.C. Oliver Heaviside: a personal sketch.— In: The Heaviside centenary volume. L.: IEE, 1950, p. 93.
- 42 El. Pa, II, p. 516.
- 43 EMT, I, p. 435.
- 44 El. Pa, I, p. 77.
- 45 Behrend B. A. — Elec. World, 1925, vol. 85, N 8, p. 405.
- 46 EMT, II, p. 433.
- 47 El. Pa, I, p. 101.
- 48 El. Pa, I, p. 277.
- 49 El. Pa, I, p. 331.
- 50 FitzGerald G. F.— Electrician, 1893, vol. 31, p. 389; The scientific writings of the late George Francis FitzGerald. Dublin: Hodges, Figgis and Co; London: Longmans,

- Green and Co, 1902, p. 292.
- ⁶¹ EMT, I, p. 15.
- ⁶² El. Pa, II, p. 489.
- ⁶³ EMT, I, p. 6.
- ⁶⁴ EMT, I, p. 60.
- ⁶⁵ EMT, I, p. 62.
- ⁶⁶ Гинзбург В. Л., Франк И. М. Излучение равномерно движущегося электрона, возникающее при его переходе из одной среды в другую.— ЖЭТФ, 1946, т. 16, вып. 1, с. 15.
- ⁶⁷ EMT, III, p. 136.
- ⁶⁸ EMT, III, p. 138.
- ⁶⁹ Льюис Кэррол. Алиса в стране чудес. Сквозь зеркало и что там увидела Алиса/Пер. Демуровой Н. София: Изд. лит. на иностр. яз., 1967, с. 178.
- ⁷⁰ EMT, I, p. 309.
- ⁷¹ Blakesley Th. H. Alternating currents of electricity, published at the office of Electrician, 1885.
- ⁷² El. Pa, I, p. 429—560; El. Pa, II, p. 39—151.
- ⁷³ Норберг Винер. Кибернетика. М.: Наука, 1983, с. 93.
- ⁷⁴ EMT, II, p. 10.
- ⁷⁵ EMT, III, p. 175.
- ⁷⁶ EMT, II, 10.
- ⁷⁷ Thomson W.— Trans. Roy. Soc. Edinburgh, 1862.
- ⁷⁸ Behrend V. A.— Elec. J., Pittsburgh (Pa.), 1928, Jan. and Febr.
- ⁷⁹ EMT, II, p. 12.
- ⁸⁰ EMT, II, p. 168.
- ⁸¹ EMT, II, p. 170.
- ⁸² EMT, II, p. 269.
- ⁸³ Howard J. N. Lord William Stratt, Third Baron Rayleigh.— Appl. Opt., 1964, vol. 3, N 10, p. 1091.
- ⁸⁴ EMT, I, p. 445.
- ⁸⁵ Buckley O. E. Adress at the Heavyside centenary meeting.— In: The Heavyside centenary volume. L.: IEE, 1950, p. 6.
- ⁸⁶ Pupin M. I.— Trans. AIEE, 1900, vol. XVII, p. 450.
- ⁸⁷ Radley W. G. Fifty years, development in telephone and telegraph transmission in relation to the work of Heavyside.— In: The Heavyside centenary volume. L.: IEE, 1950, p. 76.
- ⁸⁸ Devaux-Charbonnel N. La Contribution des ingénieurs français — a la téléphonie à grand distance par cables souterrains. Vashy et Barbara.— Ann. postes, télégraphes et téléphones, 1917, a. VI, N 2.
- ⁸⁹ EMT, II, p. V.
- ⁹⁰ Gill A. Adress at the Heavyside centenary meeting.— In: The Heavyside centenary volume. L.: IEE, 1950, p. 5.
- ⁹¹ Lord Kelvin. Nineteenth century clouds over dynamical theory of heat and light.— Philos. Mag., 1901, July.
- ⁹² EMT, III, p. 13.
- ⁹³ Франк И. М. Эффект Доплера в преломляющей среде.— Изв. АН СССР. Сер. физ., 1942, т. 6, с. 3.
- ⁹⁴ Гинзбург В. Л. Об эффекте Вавилова—Черенкова и аномальном эффекте Доплера в среде, в которой фазовая скорость волн больше скорости света в вакууме.— ЖЭТФ, 1972, т. 62, вып. 1, с. 634. См. также: Гинзбург В. Л. Теоретическая физика и астрофизика. 2-е изд. М.: Наука, 1981, гл. 9.
- ⁹⁵ Болотовский Б. М., Гинзбург В. Л. Эффект Вавилова—Черенкова и эффект Доплера при движении источников со скоростью больше скорости света в вакууме.— УФН, 1972, т. 106, вып. 4, с. 557.
- ⁹⁶ Эйрман В. Я. О сверхсветовом синхротронном излучении.— Изв. вузов. Радиофизика, 1972, т. 15, № 4, с. 634.
- ⁹⁷ Афанасьев С. В. Излучение сверхсветовых источников в волноводе.— В кн.: Учен. записки КГУ. Калинин: КГУ, 1973, с. 138; Эффект Доплера в волноводе.— Изв.

- вузов. Радиофизика, 1975, т. 18, вып. 10, с. 1520; Излучение сверхсветового ондулятора.— Изв. вузов. Радиофизика, 1974, т. 17, вып. 7, с. 1069; Синхротронное излучение сверхсветового источника.— Изв. вузов. Радиофизика, 1976, т. 19, вып. 10, с. 1523; Афанасьев С. В., Болотовский Б. М. Об излучении сверхсветовых источников в волноводе.— Краткие сообщения по физике. М.: ФИАН, 1972, № 10 с. 29.
- ⁸⁸ Манева Г. М. Об одной модели сверхсветового источника.— Вестн. МГУ. Физика, астрономия, 1975, вып. 2, с. 230; Эффект Вавилова—Черенкова при движении источника со скоростью, превышающей скорость света в вакууме.— Там же, 1977, вып. 3, с. 9. Синхронное излучение сверхсветового источника.— Изв. вузов. Радиофизика, 1976, т. 19, вып. 7, с. 1086.
- ⁸⁹ Болотовский Б. М. Об излучении заряженной нити, наклонно падающей на идеально проводящую плоскость (источник излучения Вавилова—Черенкова в вакууме).— В кн.: Краткие сообщения по физике. М.: ФИАН, 1972, № 7, с. 34.
- ⁹⁰ ЕМТ, III, р. 25.
- ⁹¹ ЕМТ, III, р. 27.
- ⁹² ЕМТ, III, р. 33.
- ⁹³ ЕМТ, III, р. 42, 485.
- ⁹⁴ ЕМТ, III, р. 86.
- ⁹⁵ ЕМТ, III, р. 102.
- ⁹⁶ ЕМТ, III, р. 127.
- ⁹⁷ ЕМТ, III, р. 129.
- ⁹⁸ Lodge O.— In: The scientific writings of the late George Francis FitzGerald. Dublin: Hodges, Figgis and Co; London: Longmans, Green and Co, 1902, p. XIX.
- ⁹⁹ Ibid., p. XXVI.
- ¹⁰⁰ ЕМТ, III, р. 89.
- ¹⁰¹ Генрик Антон Лоренц. Старые и новые проблемы физики. М.: Наука, 1970, с. 18.
- ¹⁰² ЕМТ, III, р. 52.
- ¹⁰³ Лоренц Г. А. Теория электронов. М.: Гостехтеориздат, 1953.
- ¹⁰⁴ Иоффе А. Ф. Основные представления современной физики. М.; Л.: Гостехиздат, 1949, с. 327.
- ¹⁰⁵ Lorentz H. A. Collected papers. The Hague: Martinus Nijhoff, 1936, vol. III, p. 331; см. также: Proc. Nat. Acad. Sci. US, 1922, vol. 8, p. 333.
- ¹⁰⁶ ЕМТ, III, р. 331.
- ¹⁰⁷ Appleton E. Address at the Heaviside centenary meeting.— In: The Heaviside centenary volume. L.: IEE, 1950, p. 3.
- ¹⁰⁸ Appleton E. V., Barnett M. A. F.— Nature, 1925, vol. 115, N 2888, p. 333; Proc. Roy. Soc. London A, 1925, vol. 109, p. 621.
- ¹⁰⁹ Russel A.— Nature, 1925, vol. 112, N 2885, p. 237.
- ¹¹⁰ Josephs H. J. Some unpublished notes of Oliver Heaviside.— In: The Heaviside centenary volume. L.: IEE, 1950, p. 18.
- ¹¹¹ Berg E. J. Heaviside's operational calculus. 2nd ed. N. Y.; L: McGraw-Hill, 1936.
- ¹¹² ЕМТ, III, р. 137.
- ¹¹³ Elec. World, 1925, vol. 85, p. 364.
- ¹¹⁴ Gill F.— Bell syst. techn. J., 1925, July, p. 349.
- ¹¹⁵ Булгаков М. А. Избранное. М.: Худож. лит., 1983, с. 279.
- ¹¹⁶ Достоевский Ф. М. Полн. собр. соч.: В 30-ти т. Л.: Наука, 1982. Т. 24, с. 47.
- ¹¹⁷ Jeffreys H. Address at the Heaviside centenary meeting.— In: The Heaviside centenary volume. L.: IEE, 1950, p. 6.
- ¹¹⁸ Jeffreys H. Heaviside's pure mathematics.— In: The Heaviside centenary volume. L.: IEE, 1950, p. 90.
- ¹¹⁹ Whittaker E. T.— Bull. Calcutta Math. Soc., 1928/1929, vol. 20, p. 216.

- ¹²⁰ Whittaker E. T. Address at the Heaviside centenary meeting.— In: Heaviside centenary volume. L.: IEE, 1950, p. 7.
- ¹²¹ Van der Pol B. Lecture on Oliver Heaviside.— In: Van der Pol B. Selected scientific papers. Amsterdam: North-Holland, 1960, vol. II, p. 1051.
- ¹²² Van der Pol B. Heaviside's operational calculus.— In: The Heaviside centenary volume. L.: IEE, 1950, p. 70.
- ¹²³ Doetsch G. Theorie und Anwendung der Laplace-transformation. B.: Springer, 1937, p. 337.
- ¹²⁴ Ibid., p. 421.
- ¹²⁵ Bell E. T. The development of mathematics. N. Y.; L.: McGraw-Hill, 1925, p. 415.
- ¹²⁶ Carson G. R. Electric circuit theory and the operational calculus. N. Y.; L.: McGraw-Hill, 1926 *.
- ¹²⁷ Ponte M. J. H. Address at the Heaviside centenary meeting.— In: The Heaviside centenary volume. L.: IEE, 1950, p. 4.
- ¹²⁸ Черенков П. А.—ДАН СССР, 1934, т. 2, 451.
- ¹²⁹ Вавилов С. И.—ДАН СССР, 1934, т. 2, 457.
- ¹³⁰ Тамм И. Е., Франк И. М.—ДАН СССР, 1937, т. 14, 107.
- ¹³¹ Франк И. М. О когерентном излучении быстрого электрона в среде.— В кн.: Проблемы теоретической физики. Памяти Игоря Евгеньевича Тамма. М.: Наука, 1972, с. 350.
- ¹³² Тяпкин А. А. О первом теоретическом предсказании излучения, открытого Вавиловым и Черенковым.— УФН, 1974, т. 112, вып. 4, стр. 735.
- ¹³³ El. Pa, II, p. 504.
- ¹³⁴ Kaiser T. R. Heaviside radiation.— Nature, 1974, vol. 247, N 5440, p. 400.
- ¹³⁵ Фейнберг Е. Л. Кибернетика, логика, искусство. М.: Радио и связь, 1981. 144 с.
- ¹³⁶ ЕМТ, II, p. 533.
- ¹³⁷ Sommerfeld A.— Götting. Nachricht, 1904, S. 99, 363; 1905, S. 201.
- ¹³⁸ Sommerfeld A. Verrenvoudigde afleiding van het veld van, en de krachten werkende op een electron bij willekeurige beweging.— Knl. Akad. wetensch. Amsterdam. Versl. afd. naturk., 1904, d. 13, p. 431.
- ¹³⁹ Зоммерфельд А. Оптика. М.: Изд-во иностр. лит., 1953.
- ¹⁴⁰ Des Coudres T. Archives Néerlandaises des sciences exactes et naturelles, serie II, Tome V (Recueil de Travaux offerts par les auteurs à H. A. Lorentz, professeur de Physique à l'Université de Leiden à l'occasion du 25-me anniversaire de son doctorate). La Haye: Martinus Nijhoff, 1900, p. 652.
- ¹⁴¹ Стрэттон Дж. А. Теория электромагнетизма. М.; Л.: Гостехтеориздат, 1948.
- ¹⁴² Schott G. Electromagnetic radiation. Cambridge, 1912.
- ¹⁴³ Lorentz H. A. Problems of modern physics. Lectures at the Inst. of Technology at Pasadena. Boston: Bateman and Co, 1927.
- ¹⁴⁴ Mehra J., Rechenberg H. The historical development of quantum theory. N. Y. etc.: Springer, 1982, vol. 4, p. 11.
- ¹⁴⁵ Франк И. М. Развитие представлений о природе излучения Вавилова—Черенкова.— УФН, 1984, т. 143, вып. 1, с. 111.

* Имеется перевод на немецкий язык, переработанный и дополненный Оллендорфом и Польгаузенем. Есть также перевод на русский язык немецкого издания: Карсон Д. Р. Электрические нестационарные явления и операционное исчисление. Харьков; Киев: ДНТВУ, 1934.

Содержание

От редактора	5	Глава тринадцатая	164
Глава первая	8	Глава четырнадцатая	179
Глава вторая	12	Глава пятнадцатая	192
Глава третья	19	Глава шестнадцатая	206
Глава четвертая	41	Глава семнадцатая	217
Глава пятая	55	Глава восемнадцатая	224
Глава шестая	68	Глава девятнадцатая	234
Глава седьмая	85	Послесловие	247
Глава восьмая	100	Даты жизни и научной деятельности Оливера Хе- висайда	250
Глава девятая	114	Основные научные труды Оливера Хевисайда	251
Глава десятая	132	Примечания	252
Глава одиннадцатая	143		
Глава двенадцатая	158		

Борис Михайлович Болотовский
Оливер Хевисайд
1850—1925

Утверждено к печати Редакцией серии
«Научно-биографическая литература» Академии наук СССР

Редактор издательства Н. М. Дудолодов
Художественный редактор Л. В. Кабатова
Технические редакторы М. Ю. Соловьева, М. Н. Комарова
Корректоры Е. Н. Белоусова, В. А. Бобров

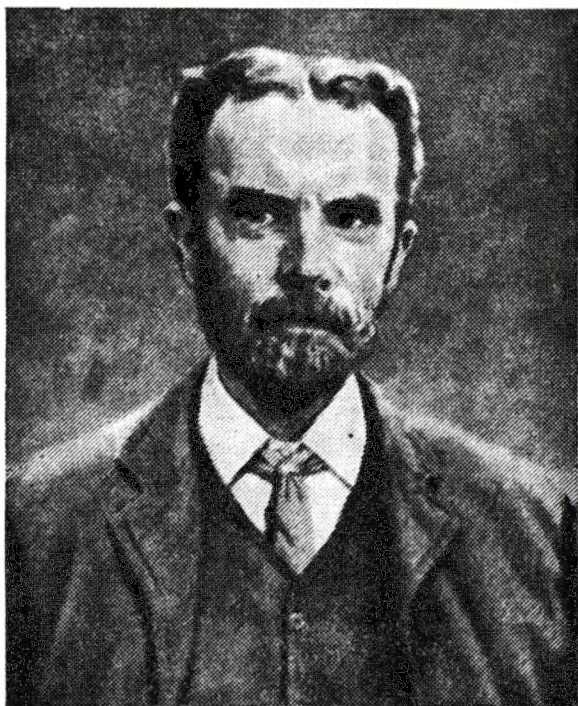
ИБ № 29196

Сдано в набор 14.01.85. Подписано к печати 16.04.85. Т-00986. Формат 84×108¹/₃₂.
Бумага книжно-журнальная. Импортная. Гарнитура обыкновенная.
Печать высокая. Усл. печ. л. 8. Усл. кр. отт. 13,65. Уч.-изд. л. 14,6.
Тираж 6800 экз. Тип. зак. 993. Цена 95 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Наука».
117864 ГСП-7, Москва, В-485, Профсоюзная ул., 90

2-я типография издательства «Наука»,
121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 6

Б. М. Болотовский **Оливер ХЕВИСАЙД**



Б. М. Болотовский

**Оливер
ХЕВИСАЙД**



ВЫШЛА ИЗ ПЕЧАТИ

Ю. С. Владимиров, Н. В. Мицкевич, Я. Хорский
ПРОСТРАНСТВО, ВРЕМЯ, ГРАВИТАЦИЯ

В книге обсуждены современные представления о природе пространства и времени. Книга состоит из трех частей. В первой («Вчера») рассмотрена история развития науки о пространстве и времени. Во второй части («Сегодня») изложены твердо установленные общей теорией относительности закономерности: объяснение загадки Меркурия, отклонение Солнцем лучей света, явление гравитационной линзы, расширение Вселенной и др. В третьей части («Завтра») рассматриваются перспективы дальнейшего развития науки о пространстве и тяготении (проблемы обнаружения гравитационных волн, обобщения эйнштейновской теории гравитации и др.). Книга рассчитана на читателей, интересующихся современными вопросами астрофизики, космологии и гравитации.

Заказы просим направлять по одному из перечисленных адресов магазинов «Книга — почтой» «Академкнига»:
480091 **Алма-Ата**, 91, ул. Фурманова, 91/97; 370005 **Баку**, 5, ул. Джапаридзе, 13; 320093 **Днепропетровск**, проспект Ю. Гагарина, 24; 734001 **Душанбе**, проспект Ленина, 95; 252030 **Киев**, ул. Пирогова, 4; 277012 **Кишинев**, проспект Ленина, 148; 443002 **Куйбышев**, проспект Ленина, 2; 197345 **Ленинград**, Петрозаводская ул., 7; 220012 **Минск**, Ленинский проспект, 72; 117192 **Москва**, В-192, Мичуринский проспект, 12; 630090 **Новосибирск**, Академгородок, Морской проспект, 22; 620151 **Свердловск**, ул. Мамина-Сибиряка, 137; 700187 **Ташкент**, ул. Дружбы народов, 6; 450059 **Уфа**, 59, ул. Р. Зорге, 10; 720001 **Фрунзе**, бульвар Дзержинского, 42; 310078 **Харьков**, ул. Чернышевского, 87.