

# *Из истории естествознания*

С. ШЕЙФЕР (Великобритания)

## **ТОЧНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ — ЭТО АНГЛИЙСКАЯ НАУКА**

**От редакции**

*Наш журнал продолжает знакомить читателей с новыми идеями и поисками историков науки Запада. Обзорная статья Д. Пестра (Франция) была попыткой выявить исходные методологические принципы «новой истории науки», для которой характерно расширение традиционной тематики, изменение концептуального аппарата, смена представлений о целях и задачах историко-научных исследований (см.: ВИЕТ. 1996. № 3–4). Одним из признанных лидеров этого направления является Саймон Шейфер, профессор Кембриджского университета, член редакционной коллегии журнала «Science in Context». Можно сказать, что название этого журнала символизирует смену исследовательской установки современного историка науки. Его статья посвящена исторической реконструкции некоторых физических из-*



*Доклад С. Шейфера на семинаре в ИИЕТ РАН. Москва, 5 сентября 1995 г. Фото Ч. Форда  
ВИЕТ. 1997. № 2. С. 70–108. © С. Шейфер,  
перевод Ю. Л. Менцина*



*Москва, 5 сентября 1995 г. Обсуждение доклада с коллегами.  
Слева направо: С. Шейфер, Д. Александров, Н. Лебедева. Фото Ч. Форда*

*мерений Дж. Максвелла, осуществленных во второй половине XIX в. Автор стремился подчеркнуть, что нельзя понять научное знание, его смысл и содержание, вне погружения в социальный и культурный контекст соответствующей эпохи.*

*В 1995 г. С. Шейфер был гостем ИИЕТ РАН; он побывал в Санкт-Петербурге и Москве, выступил с докладами, был гостем редакции ВИЕТ и по нашей просьбе предоставил для перевода и публикации в журнале данную статью\*.*

Англичан викторианского периода повсюду сопровождали детальные инструкции, подчеркивавшие, сколь важно быть точным: «Когда вы мчитесь в железнодорожном вагоне, приучайтесь определять скорость, с которой вы едете; подсчитывайте число телеграфных столбов на одну милю. <...> Все эти упражнения способствуют запечатлению полезных фактов в памяти. <...> Подразумевается, что вы неплохо знаете арифметику; по крайней мере, две первые книги Евклида; планиметрию; алгебру вплоть до квадратных уравнений; и фортификацию. [Вам] следует научиться с первого взгляда распознавать обычные разновидности растительного покрова, включая различные виды древесных пород. Для удобства измерения расстояний и т. п. каждому следует знать точную длину своего обычного шага и научиться точно отсчитывать шагами ярды; следует знать точную длину своей ступни, кисти, локтя, сабли, а также руки — расстояние от кончиков пальцев левой кисти до правого уха; следует знать высоту своего колена, талии и линии глаз, а также точное отношение объема своей питьевой кружки к пинте» [1, с. 13—14].

\* Оригинальная публикация: Schaffer, S. Accurate measurement is an English science // The Values of Precision / Ed. by M. Norton Wise. Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1995. P. 135—172.

Эти чудовищные рекомендации, приведенные под заголовком «Что должны помнить все офицеры», были опубликованы в «Солдатской карманной книжке» — компендиуме военных достоинств, составленном в 1869 г. Гарнетом Уолсли (*Garnet Wolseley*) — ветераном большинства британских колониальных войн, который был увековечен У. С. Гилбертом (*W. S. Gilbert*) как «подлинный образец современного генерал-майора». В викторианской Англии точное измерение выставлялось в качестве необходимого атрибута коммерческого и военного успеха — а стало быть, и победоносного шествия Империи вообще. Важность точного измерения наиболее ярко выявила в контексте метрологии — процедуры создания и распространения стандартов английским государством. В последнее время много говорится о важности прецизионных измерений для научного прогресса. При этом ценности, «поставляемые» такими измерениями, получаются как бы оторванными от той системы ценностей, которая дала им (этим ценностям) столь высокий статус. Фактически же они являются ее производными. Точность слишком поспешно отождествляют исключительно с измерением как таковым. Между тем, обратившись, например, к вышеупомянутому Уолсли, можно заметить, что у него она пресуществляется из набора количественных показателей в комплекс качеств: хорошая память, устойчивые привычки, верная рука, испытанная пивная кружка. Точность, таким образом, — это скорее следствие, нежели причина консенсуса среди научных работников. Она представляет собой качество, которое присваивается некоторому утверждению вследствие обсуждения статуса работы, породившей это утверждение. Являясь, вне всякого сомнения, компонентом викторианской системы ценностей, точность остро нуждается в историко-культурном исследовании, которое бы проследило, как складывалась ее историческая «репутация», — вместо того чтобы принимать как некую данность ее методологическую общезначимость.

Среди викторианских физиков и инженеров было весьма модно связывать метрологию с коммерческими ценностями. Так, в 1871 г. Уильям Томсон (*William Thomson*) указывал Джеймсу Клерку Максвеллу (*James Clerk Maxwell*), что новые электрические единицы будут вызваны к жизни возникновением новых рынков: «когда электротипия, электрический свет станут коммерческими [продуктами], мы, быть может, сможем купить микрофараду или мегафараду электричества. <...> Если предполагается ввести какое-то название, то лучше дать его чему-то, что является реальным осозаемым предметом купли-продажи». Максвелл, в свою очередь, соглашался, что метрология способствует укреплению обмена вообще. Хорошей иллюстрацией были кабельная технология и новая единица электрического сопротивления. То, что работало в одном месте, могло быть введено в действие и в другом — поистине ключ к имперскому могуществу. «Уравнения, к которым мы приходим, должны быть такими, чтобы представитель любой нации, подставив в них численные значения величин, измеренных в его национальных единицах,

мог получить верный результат»\*. Одна из рукописей, написанных Maxwellом в 1870-е гг., открывалась мысленным экспериментом, целью которого была передача знания о некоторой величине другому лицу. «Потребность в единице в первую очередь ощущается при купле и продаже. Поэтому наиболее древние единицы — это те, которые были приняты людьми, занимавшимися одним и тем же ремеслом и жившими в одном и том же месте». Универсальными единицами стали именно те, в которых измерялись «товары, перевозимые из нескольких центров на большие расстояния». Поэтому задача «мудрых правительств» состояла в том, чтобы универсализировать свои стандарты, подавить все остальные и тем самым расширить сферу своей коммерции. «Мы не вправе предполагать, что любая физическая теория не может в конце концов оказаться нам необходимой в деле коммерции». Физика должна выставлять свои стандарты как «национальные сокровища». «Деловой человек нуждается в этих стандартах во имя справедливости, человек науки нуждается в них во имя истины, и дело государства — следить за тем, чтобы наши... меры (*measures*) поддерживались неизменно» [5].

Руководители лабораторий викторианской эпохи ощущали тесную связь между нерушимостью физических ценностей, их способностью перемещаться из одного места в другое и ролью коммерческого государства. В 1884 г. конструктор кабеля Fleming Jenkin утверждал: «Бедность — не дитя Коммерции. Она является нежеланным отприском той Физической Необходимости, которую Сэр Уильям Томсон называет Диссипацией Энергии». Поэтому «все, что у нас есть, беспрестанно теряет свою ценность посредством распада» [6, с. 141—142]. Мы могли бы добавить, что викторианские физики полагали возможным частичное восполнение этого распада ценностей благодаря постоянному метрологическому надзору, — причем полагали буквально, поскольку их поиски нерушимых субстанций, которые могли бы дать начало стандартам, были упорными и непрерывными. «Недостаточно обладать стандартом абстрактного рода... огромная трудность состоит в том, чтобы сохранять его неизменным от века к веку», — писал ведущий английский астроном Джон Гершель (*John Herschel*) [7, с. 128]. Необъятный труд, который требовался для установления таких неизменных стандартов, всегда сопровождался сознательным стремлением стереть все следы этого труда. Ведь надо было представить стандарты как свойства природы, а не прихотливые артефакты определенной культуры. Именно поэтому нелегко увидеть социальную основу метрологии. Желая вскрыть социокультурную основу такого стремления к стандартизации и точности, Гарри Коллинз (*H. M. Collins*) привлек внимание к значению процедуры «от цифровки» (*digitization*) при присвоении ценностей материальным объектам. Система, в которой номинальная стоимость монет полагается точно такой же, как и стоимость их металлическо-

\* Цитаты взяты из письма Томсона к Maxwellлу от 24 августа 1872 г. [2], а также работы Maxwellла [3, с. 240—241] (приведенный отрывок вошел и в его работу [4, т. 1, с. 1—2]).

го содержания, оказывается весьма нестабильной из-за износа и подделки. Напротив, система, которая максимизирует разницу между номинальной стоимостью и стоимостью материала (как в случае бумажных денег), оказывается устойчивой. И причина — как раз в том, что эта система прошла отцифровку. Банкнотам могут быть присвоены лишь некие установленные ценности, и такая ограничительная процедура обеспечивает легкость оценки. Таким образом, устойчивые и надежные системы вполне могут допускать неточность; они допускают широкие различия в своем материальном представлении (*representation*). Отцифровка системы — это социальная конвенция, аспект данной формы жизни [8, с. 22—26]. Процедуру отцифровки можно увидеть и в быстром развитии измерительных устройств в таких областях, как электромагнетизм и астрономия. Заинтересованность викторианцев в своих собственных единицах демонстрирует культурную укорененность той ценности, которую они придавали точности.

Эта статья посвящена одному из наиболее прославленных предприятий в истории физики поздневикторианского периода — эпизоду, в котором учреждение точного стандарта происходило во взаимодействии с развитием физических теорий. Речь идет об истории определения отношения между электростатической и электромагнитной единицами (которое нередко обозначается условным символом  $v$ ). Осенью 1861 г., в процессе работы над третьей частью своей статьи «О физических силовых линиях», Максвелл к своему вящему удовлетворению установил, что совпадение между этим отношением (эквивалентным распространению магнитного действия в его механическом эфире) и скоростью света позволяет продемонстрировать, что сам свет вызывается поперечными волнами в электромагнитном эфире. Под указанным «совпадением» подразумевалась незначительность различия (немногим более 1%) между  $v$ , измеренным в конце 1859-х гг. в Геттингене, и скоростью света, определенной в Париже десятилетием раньше. В начале 1862 г. Максвелл опубликовал свое заключение на страницах журнала *«Philosophical Magazine»* [9, т. 1, с. 499—500]. Вывод Максвела и предполагаемое тождество  $v$  и скорости света вызвали многочисленные, в ряде случаев — скептические, комментарии. Кое-кому совпадение показалось уж слишком хорошим. Обращалось внимание на сомнительные аппроксимации, возникающие при моделировании электромагнитного эфира как массива ячеек идеально сферической формы; на ошибки Максвела, использовавшего коэффициент жесткости (*rigidity coefficient*), а не модуль сдвига (*shear modulus*) при выводе скорости поперечных волн из свойств этого модельного эфира; и, наконец, на его старательные корректировки модели эфира — с тем, чтобы скорость этих волн оказалась в точности такой же, как отношение между электростатической и электромагнитной единицами (см. [10, с. 62; 11, с. 227; 12, с. 134—137; 13, с. 287; 14, с. 136—143]). Кроме того, в течение трех десятилетий после 1862 г. развивающаяся Максвеллом и его последователями электромагнитная теория света подвергалась бескомпромиссной критике со стороны ведущего физика Великобритании — Уильяма Томсона. Враждебность Томсона обуславлива-

лась рядом родственных обстоятельств, в том числе — статусом его теории подводной телеграфной сигнализации и его философской и прагматической приверженностью к истинно упругому однородному эфиру, способному поддерживать продольные волны. Наиболее известным проявлением критики Томсона стали его Балтиморские лекции 1874 г., во время которых аудитория, включавшая Генри Роуланда (*Henry Rowland*), лорда Рэлея (*Rayleigh*) и Абрахама Майкельсона (*Abraham Michelson*), услышала, что «так называемая Электромагнитная теория света» представляет собой, «пожалуй, шаг назад от абсолютно определенного механического движения». В конце 1880-х гг. был короткий период, когда Томсон, казалось, признал-таки правдоподобность максвелловского электромагнетизма\*. Тем не менее, самой характерной темой в его критике, к которой он возвращался снова и снова, оставалась оценка значения пресловутого совпадения между  $v$  и скоростью света. В 1871 г., выступая перед Британской Ассоциацией (*British Association*), он заявил, что, с его точки зрения, было бы «преждевременно заниматься спекуляциями» по поводу этого совпадения [18, т. 2, с. 160—161]. В 1876 г. на конференции по точному измерению, сопровождавшей Саут-Кенсингтонскую выставку инструментов, он повторил эту мысль, подчеркнув, что «мы должны все так же воздерживаться от высказывания мнения, прежде чем сможем сказать», что  $v$  равно скорости света: «прежде чем допущение может быть принято, результаты [измерения этих двух величин] должны оказаться намного ближе\*\* тех, что дали уже проведенные эксперименты» [18, т. 1, с. 443]. Таким образом, в представлении Томсона значение  $v$  всегда было тем, чем он назвал его в 1883 г., — «удивительной величиной» [18, т. 1, с. 83, 119]. Остается интригующая проблема: сколь близки должны были быть (с точки зрения этого прославленного борца за признание важности точных измерений для прогресса физики) «удивительная величина» и скорость света, чтобы такой физик, как Томсон, уверовал в их одинаковость? Каким требованиям должны были отвечать дисциплинарные культуры астрономии, телеграфии и физики, производившие эти величины?

Эта долгая полемика о критериях идентичности двух величин со всей очевидностью была метрологическим спором. Летом 1861 г., когда Максвелл работал над заключительными разделами своей статьи о физических силовых линиях, Британская Ассоциация приняла решение о создании комитета (включающего Томсона и Дженкина) для определения точного стандарта электрического сопротивления. Такой стандарт был необходимым условием для успешного развития телеграфии и предпосылкой наиболее надежных методов оценки  $v$ .

Летом 1863 г. Томсон представил Ассоциации отчет, в котором сооб-

\* См. [15, с. 12], а также биографию Томсона [16, гл. 13] и книгу [17], в которой (на с. 162—168) обсуждаются его возражения против максвелловской теории в 1884—1888 гг. и временное примирение с ее сторонниками.

\*\* Выдслено мною. — С.Ш.

щал, что комитет намерен включить определение  $v$  в резюме своей деятельности; в приложении к этому отчету, составленном Джэнкиным и Максвеллом (который активно и с воодушевлением участвовал в работе комитета), были приведены недавние оценки  $v$  германскими учёными и обсуждались пять различных способов измерения этой величины\*. С начала 1860-х гг. статус экспериментальных определений  $v$  зависел от прогресса этого проекта стандартизации, включавшего привлечение беспрецедентного числа специалистов в области электротехники и все более громоздкого и тщательно сконструированного инструментария. Упорному скептицизму Томсона относительно надежности определения величины  $v$  противостояло накопление практических и культурных ресурсов. Использование этих ресурсов должно было создать ореол надежности вокруг определения  $v$ . Последующие разделы настоящей статьи посвящены различным аспектам этого предприятия. Первый из них касается реакции американского физика Генри Роуланда на конкурирующие английские и германские оценки  $v$ , демонстрируя на этом примере, какие ресурсы для производства точных измерений были необходимы электромагнитным лабораториям 1860-х и 1870-х гг. В следующем обсуждаются энергичные попытки Максвелла мобилизовать эти ресурсы — сначала в Лондоне, а затем (после 1871 г.) в Кембридже. Он столкнулся с огромными трудностями, создавая слаженный ансамбль из опытных техников, надежного оборудования и заслуживающих доверие экспериментов в потенциально враждебной среде общеобразовательного (*liberal*) университета\*\*. В последнем разделе показано, как результат этих злоключений 1870-х — начала 1880-х гг. оказывается в зависимости от гораздо более широкомасштабных попыток придать локальным стандартам сопротивления, созданным в Кембридже, значимость в других местах. Сама по себе точность не является ни необходимым, ни достаточным условием для получения признания. В 1861—1862 гг. Максвелл полагал, что идентичность значений  $v$  и скорости света является решающим аргументом в пользу его теории; десятилетие спустя в своем «Трактате об электричестве и магнетизме» он ограничился лишь заявлением, что сравнения двух величин не дали никаких аргументов против нее [4, т. 2, с. 336]. Многие учёные, подобно Роуланду, одобрили электромагнитную теорию света, не будучи вполне убежденными в том, что идентичность  $v$  и скорости света удалось надежно установить в лабораторных условиях (см. [24, с. 282—284]). Другие, подобно Томсону, в конечном счете признали идентичность двух величин, при этом, однако, не соглашаясь с максвелловской моделью\*\*\*. Кроме того, для установления этой идентичности с до-

\* См. [19, с. 124; 20, с. 149, 153—154]. Связь между деятельностью комитета и максвелловской электромагнитной теорией обсуждается в работе [21], в которой утверждается, что и основной отчет 1863 г. был составлен не Томсоном, а Максвеллом (противоположная точка зрения высказывается в [22, т. 1, с. 419]).

\*\* Вопрос об отношении между ценностями, характерными для кембриджской университетской среды, и возникновением Кавендишской лаборатории обсуждается в моей работе [23].

\*\*\* О скептическом отношении к максвелловской теории, вновь охватившем Томсона после 1894 г., рассказывается в [16, с. 488—491; 25, с. 168—169; 26, с. 171—176].

статочной точностью потребовался сложный и хрупкий комплекс ресурсов, а это наводит на мысль, что история точного измерения должна быть написана как история координации многочисленных и обособленных сторон научного труда. Наряду с «точностью» (*precision*) — словом, которое (как подсказывает его этимология) намекает на процедуру ограничения, мы должны быть равно внимательны к «строгости» (*exactitude*) — понятию, напоминающему о требованиях, предъявляемых к практической научной работе, и «аккуратности» (*accuracy*) — термину, намекающему на внимательность, которой требует научная практика. Эти требования и внимательность устанавливаются как часть целостной формы жизни внутри и между лабораториями, мастерскими и собственно областью наблюдений (*field*).

### «Грубые методы ранних пионеров»

Будучи в Геттингене, я имел удовольствие увидеть прибор, которым пользовались Гаусс (*Gauss*) и Вебер (*Weber*), а также тот, которым позже пользовался Кольрауш (*Kohlrausch*) при определении абсолютного значения единицы Сименса. <...> Как мне представляется на сегодняшний день, точное измерение сопротивления — будь то абсолютное или относительное — это английская наука, почти неизвестная в Германии.

*Генри Роуланд — Джеймсу Клерку Максвеллу, март 1876 г.\**

Когда молодой американский физик Генри Роуланд писал эти строки из Граца в марте 1876 г., ему было чем порадовать своего кембриджского патрона: как он выяснил, германская точность не заслуживала доверия. В середине 1870-х гг. Максвелл и его коллеги по Кавендишской лаборатории взялись проверить и повторить предшествующую работу по созданию единицы электрического сопротивления. Эта работа, предпринятая в Лондонском Кингс-колледже (*King's College*) в 1862—1864 гг. самим Максвеллом, Бэлфором Стюартом (*Balfour Stewart*), а также инженерами-электриками Флемингом Дженкином и Чарльзом Хокином (*Charles Hockin*), имела своим результатом создание хорошо известного стандарта Британской Ассоциации (*British Association resistance standard*), воплощенного в виде «резисторных ящиков», которые были впервые выпущены лондонской фирмой «*Elliott Brothers*», сконструированные таким образом, чтобы максимально приближаться к абсолютному значению 10 млн. метров (т. е. четверть окружности Земли) в секунду\*\*. В ходе этой работы Максвелл применил технологию, разработанную его приятелем из Глазго — Уильямом Томсоном.

\* Указанное письмо приводится в [27, с. 269]. Также см. [28, с. 885].

\*\* См. отчет о лондонских экспериментах [19], а также работы Дженкина по вопросу о единицах сопротивления [29, с. 345; 30]. Работа Британской Ассоциации в этой области обсуждается в [31].

Катушка, вращавшаяся вокруг своей вертикальной оси в магнитном поле Земли, приводилась в движение передачей Гюйгенса (*Niugens gear*) и новым регулятором (*governor*) Дженкина и должна была производить постоянное отклонение стрелки гальванометра в своем центре. Угол отклонения зависел от диаметра катушки, скорости ее вращения и сопротивления. Следовательно, сопротивление можно было установить, измерив другие три параметра. Таким образом, группа в принципе могла изготовить катушку с довольно точным значением сопротивления. Это устройство предъявляло высокие требования к аккуратности инженерной работы и искусству экспериментирования. «Температура катушки возрастает из-за индукционных токов, возникающих при вращении», — сообщал Максвелл Томсону летом 1863 г. Регулятор Дженкина, контролировавший скорость вращений, основывался на тормозной ленте (*brake band*) остроумной конструкции. Максвелл не упустил случая обсудить этот механизм обратной связи в крупной теоретической работе, представленной Королевскому обществу. Директор обсерватории Кью (*Kew Observatory*) Бэлфор Стюарт, специалист по точным измерениям, сконструировал звуковой отметчик времени. Магнит подвешивался на шелковой нити длиной 9 футов. Требовательность к оборудованию оборачивалась неудобством в виде его сверхчувствительности: так, утверждалось, что регулятор Дженкина был настолько хорош, что пароходы, курсировавшие по Темзе неподалеку от Колледжа, оказывали более сильное воздействие на стрелку гальванометра, чем изменения скорости вращения катушки. Забота о точности приводила к чудесам кустарной изобретательности: к примеру, для того чтобы измерить очень длинную медную проволоку, ее «осторожно разматывали и укладывали в паз между двумя планками на полу... по 50 футов за один прием, и таким образом измеряли — выпрямленную, но не растянутую». Участники работы вспоминали, что, «когда ее [проводку] наматывали на катушку, величину  $\pi$  брали до седьмого знака после запятой, чтобы определить средний радиус как можно точнее»\*.

Хорошо известно, однако, что единица Британской Ассоциации не имела бесспорного успеха, особенно на территории Германии. Выдающийся германский инженер Вернер Сименс (*Werner Siemens*) — главный конкурент британской телеграфной индустрии — имел собственную «кандидатуру» на роль базисной единицы сопротивления, которая представляла собой сопротивление столба ртути длиной один метр и сечением один квадратный миллиметр и к тому времени уже широко использовалась в его быстро развивающейся телеграфной сети. Сименс попросту не признал лондонские опыты точными. Указав, что результаты, полученные в Кингс-

\* Работа группы Максвелла обсуждается в [32, с. 266—268]. Обсуждение Максвеллом регулятора Дженкина см. в [33, с. 112], а также в его письме к Томсону (1863 г.) в [34]. Техника измерения длины проволоки и значение с приведены в письме Максвелла к Томсону от 31 июля 1863 г. в [35], а также Томсоном в [19, с. 120] и Уильямом Гарнеттом (*William Garnett*) в [36]. Данные экспериментов 1863—1864 гг. содержатся в [37].

колледже, обнаружили между собой расхождение вплоть до 1,4%, он заключил: «[Я] совершенно не могу представить, каким образом Комитет [Британской Ассоциации] считает себя вправе — ввиду таких различий даже между средними значениями своих отдельных результатов — утверждать, что ошибка составляет лишь 0,1%» [38]\*. Можно было с успехом утверждать и то, что весьма условная стандартность «резисторных ящиков» Британской Ассоциации, сопротивления которых заметно отличались как друг от друга, так и от любого номинального абсолюта, свидетельствовала о провале лабораторных стандартов лондонской группы Максвелла. Ее участникам следовало разработать способы, посредством которых их единицы сопротивления стали бы пользоваться доверием. Но худшее было впереди. В историческом центре электротехнической науки — магнитной обсерватории Вебера в Геттингене — Кольрауш и Ниппольдт (*W. A. Nippoldt*) посвятили 1869 г. определению абсолютной величины единиц сопротивления, доставленных Сименсом специально для этой работы. Осенью 1870 г. они сообщили, что единицы Британской Ассоциации страдают по-грешностью в 2%, так что, «по-видимому, требуется величайшая осторожность» в использовании работы Комитета. Кольрауш заявлял, что «мы можем лишь порадоваться соперничеству между единицами Сименса и Британской Ассоциации, ибо оно представляет наилучший способ проверить неизменность обеих [единиц], каковая единственno и должна приниматься во внимание при [их] научном приложении» [41, с. 295]. Геттингенская группа поддержала ртутный стандарт Сименса как наилучший способ проверки сопротивления. Единица Британской Ассоциации, сконструированная «с умыслом» максимального приближения к абсолютному значению 10 млн. метров в секунду, оказалась нисколько не ближе к нему, чем сконструированная «без умысла» единица Сименса. «Таким образом самоочевидно, что предпочтение будет отдано ртути, [и] представляется, что нет никаких причин, препятствующих выбору столба ртути простых и удобных пропорций» [41, с. 301]. Кольрауш вскоре стал признанным авторитетом в области точных измерений, выпустив в 1870 г. свой труд *«Leitfaden der Praktischen Physik»* в качестве учебного руководства по физике. Сименс вспоминал, что «подавляющее большинство вычислений с электрическими сопротивлениями принадлежали к сфере геометрии, а не динамики, и воспроизводимая единица с геометрическим основанием, предложенная мною, могла быть с тем же успехом названа абсолютной, что и [та], которая была предложена в качестве стандарта английской стороной» [39, с. 167]\*\*.

Итак, среди европейских участников программы создания надежных единиц сопротивления возникло расхождение, что и придало особую важ-

\* Для сравнения также см. [39, с. 133, 165—166] и [40]. Вопрос о максвелловской трактовке ошибки обсуждается в [32, с. 269].

\*\* О работе Кольрауша и Вебера в Геттингене см. [42, т. 2, с. 72—74]. Упомянутая книга Кольрауша обсуждается в [43, с. 48—50] и [44, с. 409—412].

ность вмешательству американца Роуланда. К началу 1870-х гг., работая в плохо оборудованном сарае в Ренссилеровском политехническом институте (*Rensselaer Polytechnic*), он уже выполнил важную серию тестов, посвященных проверке магнитного аналога закона Ома, и, вдохновленный заявлениями своего героя Майкла Фарадея, придумал способ проверки магнитного эффекта движущегося заряда (посредством вращения заряженного перфорированного диска). Летом 1873 г. он связался с Максвеллом с целью организовать публикацию своей работы по закону Ома в журнале Уильяма Френсиса (*William Francis*) «*Philosophical Magazine*». Максвелл сообщил своему американскому корреспонденту, что этот журнал будет «самым лучшим печатным органом для любых исследований по точным наукам. Есть еще несколько научных журналов, однако большинство из них распространяется среди такого класса читателей, что их редакторы склонны с подозрением относиться к любой статье, включающей точные методы». Весьма озабоченный обременительной работой своей собственной группы по проверке закона Ома в стенах вновь созданной Кавендишской лаборатории, Максвелл выразил сожаление по поводу того, что в статье Роуланда недостаточно подробно описывались его экспериментальные методы. Он был обрадован известием о том, что Роуланд намеревается посетить Европу\*.

В июне 1875 г. Роуланду была предложена должность в недавно созданном университете Джонса Гопкинса (*Johns Hopkins University*), президент-основатель которого Дэниел Гилмэн (*Daniel Gilman*) сопровождал его в поездке по Европе. Роуланд отправился в эту поездку, полагая, что она позволит ему усовершенствоваться в немецком языке, установить контакты с ведущими физиками мира, а главное — приобрести прецизионные инструменты для оборудования лаборатории, которую он надеялся создать в Балтиморе. Имея в своем бюджете свыше 6000 долларов, он объездил физические лаборатории и мастерские. В марте 1875 г. он оказался в Геттингене. «Инструментов у них немного, но то, что у них есть, используется по делу. Видел заземленный индуктор (*earth inductor*), который применял в своих экспериментах Кольрауш, и вполне могу понять причину такого расхождения между его результатами и теми, что были получены [Британской] А[ссоциацией]. Катушка очень велика, точнее сказать — широка, и сделана из толстой проволоки. Добейся он того, чтобы предел [погрешности] составлял 1%, это было бы для него удачей». Летом того же года Роуланд посетил свою святыню — обитель Фарадея на Албемарл-стрит, участвовал в собрании Британской Ассоциации, ознакомился с катушками, сделанными для лаборатории Кэри Фостера (*Carey Foster*) в Лондоне, и провел некоторое время в загородной резиденции Максвелла в Гленлейре (см. [28, с. 879—882; 46, с. 57—58]). Не менее важным событием этого лета стало то, что в августовском выпуске «*Philosophical Magazine*» он предпринял атаку

\* См. [45, с. 6—9], а также письма Максвелла к Роуланду от 9 июля 1873 г. и 9 июля 1874 г. в [27, с. 265, 267].

на повторное определение Кольраушем сопротивления единицы Сименса.

«Эксперименты Кольрауша были проделаны с такой скрупулезностью и столь опытным человеком, что лишь после надлежащего размышления и внимательного разбора я взял на себя смелость высказать несколько критических замечаний». По заключению Роуланда, расхождение в 2% между лондонскими и геттингенскими результатами могло объясняться тем, что Кольрауш пренебрег самоиндукцией между элементами цепи в его экспериментальной установке [47, с. 161].

Эта точка зрения подтвердилась в ходе визита Роуланда в Германию и Австрию в октябре 1875 — апреле 1876 гг. В Берлине ему была предоставлена возможность воспользоваться оборудованием лаборатории Гельмгольца для проведения своих опытов с врачающимся диском, которые объясняли его результаты по магнитному эффекту движущихся зарядов в свете теоретических выкладок, почерпнутых им непосредственно от Максвелла. В ноябре он сообщал Гилману, что «у нас в Америке имеются приборы для демонстрации; в Англии и Франции имеются приборы и для демонстрации, и для эксперимента; в Германии же есть лишь приборы для экспериментальных исследований». Он встречался с Кольраушем, который летом 1875 г. занял кафедру физики в Вюрцбурге, где глазам Роуланда предстал «очень бедный набор инструментов, причем среди них нет ни одного, которого бы я не видел раньше». Он также посетил новый физический институт в Граце, директор которого Август Топлер (*August Toepler*) в период 1873—1876 гг. получал от австрийского правительства громадные средства на приобретение оборудования. Там Роуланд увидел «отличную новую физическую лабораторию и в целом был весьма удовлетворен ею». Его отзывы в письмах Максвеллу стали иными, чем прежние сообщения из лаборатории Гельмгольца: «Я предпочел бы увидеть больше инструментов для [экспериментальной] работы и меньше — для демонстрации: меня удивляет, что набор используемых здесь исследовательских инструментов зачастую весьма беден»\*.

Разграничение между демонстрацией (*illustration*) и исследованием (*research*) было почерпнуто Роуландом у Максвелла, который публично представил его в своей инаугурационной лекции в Кембридже в октябре 1871 г. Говоря о функции демонстрационного обучения, Максвелл отмечал, что оно «стремится спасти наши научные идеи из того неопределенного состояния, в котором мы их слишком часто оставляем погребенными среди других плодов ленивой доверчивости» [33, с. 242—244]\*\*. Он отличал эту работу от исследовательской, которая требовала точного измерения. «История науки показывает, что даже в течение той фазы своего развития, в которой она посвящает себя уточнению численных измерений давно знакомых ве-

\* О берлинских экспериментах Роуланда см. [45, с. 10—15], [28, с. 884] и [48, с. 75—77]. О встрече Кольрауша и Роуланда в Вюрцбурге см. [49, с. 177]. О встрече Топлера и Роуланда в Граце см. [42, т. 2, с. 66], [46, с. 75—76, 87—88].

\*\* Цит. по: [50, с. 22-23]. — Прим. перев.

личин, она подготавляет материалы для подчинения новых областей, которые бы остались неизвестными, если бы наука довольствовалась грубыми методами своих ранних пионеров» [33, с. 242—244]\*. Роуланда восхищало в Британии, по-видимому, именно это «колонизаторское» (*expansionist*) сочетание двух стратегий прецизионности. Учебные методы, целью которых было сделать явления менее неопределенными, сочетались с лабораторными — их цель состояла в установлении их параметров (*magnitude*). Особенno показательным в этой связи представляется использование Maxwellлом «имперской» риторики в его кратком очерке истории лабораторных измерений. Метрология и точность (*precision*) занимали важное место в системе ценностей поздневикторианского государства. В этом контексте выглядит уместным, что кульминацией успеха работ Британской Ассоциации и кембриджской группы по созданию электрических стандартов стало упоминание о них в протоколах, опубликованных Комитетом по торговле (*Board of Trade*) в 1891 г., — протоколах, которые сочетали весьма детальные инструкции по изготовлению стандартных магазинов сопротивлений и батарей с моральными заверениями о надежности новой системы электромагнитных единиц [51].

### «Физическая трудность поддержания духа аккуратности»

Надежность этих систем единиц зависела от того, насколько надежными и заслуживающими доверия считались их создатели, и от поведения последних в их новых физических лабораториях. В этой связи представляется показательным описание, которое дал Maxwell летом 1868 г. их тогдашней совместной работе в Лондоне с инженером Чарльзом Хокином, — работе по определению отношения между электростатической и электромагнитной единицами (т. е. того самого «и», как нарекла его группа Maxwellла). Maxwell указал на тесную связь между этой работой и проектом устройства коммерческой телеграфной сети Флеминга Джэнкина. В своем описании он обозначил «трудности, которые всегда возникают» в подобных работах: «отыскание источников расхождений; неполадки в работе новых приборов; математические сложности; и такая немаловажная вещь, как физическая трудность поддержания духа аккуратности до конца долгого и разочаровывающего рабочего дня» [52]. Какими бы разочаровывающими, однако, ни казались Maxwellлу те дни, они имели решающее значение для осуществления его программы. Работа лондонской группы Maxwellла по определению *i* дает прекрасную возможность для изучения того, что подразумевали под «точным равенством» (*precise equality*) физики-экспериментаторы. Эксперименты, проведенные в 1862—1864 гг. в Лондонском Кингс-колледже для Британской Ассоциации, привели к временному примирению ценностей лабораторной работы с ценностями коммер-

\* Цит. по: [50, с. 24]. — Прим. перев.

ции. Статус утверждения о распространении света через электромагнитный эфир оказался в зависимости от реализации программы создания стандартов. Еще до оформления последней, в 1855 г. в Саксонии Вебер и отец Фридриха Кольрауша — Рудольф (*Rudolf Kohlrausch*) сообща определили отношение электростатической и электромагнитной единиц. Его величина (оказавшаяся в  $\sqrt{2}$  раза больше максвелловского  $v$ ) вошла в качестве факто-ра в общее уравнение электростатического и электромагнитного взаимо-действий Вебера. Уравнение Вебера подразумевало, что при соответствую-щей скорости результирующая сила между двумя движущимися электри-ческими зарядами должна обратиться в нуль. Германские физики измеряли заряд лейденской банки и как произведение ее емкости и потенциала, и путем ее разряда через гальванометр с регистрацией предельного отклоне-ния магнитной стрелки. Они получили величину 439450000 м/сек, дав экви-валентную оценку для  $v$  — 310740000 м/сек. Последующие наблюдатели, включая Максвелла, пришли к выводу о том, что этот метод ненадежен, поскольку разряд происходит гораздо быстрее того времени, которое тре-буется для измерения потенциала банки, а стало быть, электромагнитная составляющая оказывается заниженной, а значение  $v$  — сильно преувели-ченным. «Я бы использовал гораздо больший конденсатор, чем Вебер, — сообщал Максвелл Дженкину летом 1863 г., — и определял его емкость в большее число приемов». Впрочем, в своих публичных высказываниях он всегда был более сдержанным. «Я настолько уверен в сноровке и точности, с которыми они проводили свое исследование, что вынужден отнести рас-хождение их результата со своим за счет явления, природа которого на се-годняшний момент выяснена гораздо лучше»\*.

В 1857 г. в Гейдельберге Густав Кирхгоф (*Gustav Kirchhoff*) развил работу Вебера. Он показал, что скорость распространения электрической волны связана с той постоянной скоростью, с которой две частицы электричества должны двигаться друг к другу, при этом не испытывая взаимного силово-го воздействия [54]. Осенью 1861 г., как раз перед тем как включиться в про-грамму Британской Ассоциации (для которой эксперименты Вебера стали основным источником беспокойства), Максвелл смоделировал механиче-ский эфир для подобных электромагнитных взаимодействий. Он установил торсионный модуль (*torsion modulus*) эфира и его плотность, отношение ко-торых было эквивалентным квадрату отношения электростатической и электромагнитной единиц, таким образом, чтобы поперечные волны сдви-га (*transverse shear waves*) в эфире перемещались со скоростью, равной вели-чине отношения  $v$ . Максвелл осуществил этот трюк, придав плотности зна-чение единичной величины (*unit value*), а модулю сдвига (пропорциональ-

\* О работе Вебера см. [42, т. 1, с. 144—146]. Критическое замечание из письма Максвелла к Дженкину от 27 августа 1863 г. цит. по: [53, с. 252]. Позднейшие замечания Максвелла по адресу веберовского метода содержатся в его работах «*On a method of making a direct compari-son of electrostatic with electromagnetic force*» [О методе прямого сравнения электростатиче-ской и электромагнитной сил] (1868) [33, т. 2, с. 136] и [4, т. 2, с. 417].

ному относительной скорости волн в среде) — значение, эквивалентное  $v^2$ . В конце того же года он вернулся в Лондонский Кингс-колледж и вскоре с воодушевлением сообщил своим приятелям Томсону, Фарадею и Сесилю Монро (*Cecil Monro*) о собственном открытии, что эта скорость близка к скорости света. В письме к Фарадею Максвелл указывал, что вывел свои уравнения «до того как увидел число Вебера»; в письме к Томсону он замечал, что «решил» эти уравнения «прежде чем у [него] возникло какое-либо подозрение о близости между этими двумя величинами скорости распространения». Таким образом, настаивал он, «совпадение является не только численным <...>; действительна моя теория или нет, светоносная и электромагнитная среды — это одно и то же»\*.

Монро признал, что Максвеллом получен «блестящий результат», однако добавил, что «потребуется несколько таких результатов», прежде чем кто-либо будет убежден в достоверности максвелловских механических моделей поведения эфира\*\*. Томсон, к примеру, навсегда остался скептиком в отношении довода о численном «совпадении». Возглавляемый Томсоном Комитет по стандартам Британской Ассоциации, в который к тому времени вошел Максвелл, был по необходимости озабочен проблемой надежности результатов Вебера. Величина единицы сопротивления имела решающее значение для оценки отношения электростатической и электромагнитной единиц. В течение нескольких лет Томсон использовал лабораторию Вебера в качестве центра стандартов для своих работ по катушкам сопротивления и в области физики телеграфирования\*\*\*. В 1862 г. Дженин отметил, что «Вебер проделал ряд подобных наблюдений с меньшей тщательностью несколько лет тому назад», и его комитет заключил, что «в деле такой важности ничьи результаты не могут быть приняты без проверки» [58, с. 131]. В следующем году, когда стало ясно, что величины сопротивления, полученные в Кингс-колледже, отличаются от геттингенских результатов по меньшей мере на 8%, Томсон замечал: «если принять во внимание, что метод [определения сопротивления] — наиболее простой из известных, то расхождение между несколькими определениями, проделанными

\* О моделировании Максвеллом эластичности и плотности его механического эфира в соответствии с числом Вебера см. его работу [9, т. 1, с. 497—499]. Как указывает один из исследователей творчества Максвелла, «отношение средовых констант <...> было установлено в этой модели так, чтобы получить правильное отношение» (см. [14, с. 129—135]). Последующее «совпадение» со скоростью света описывается в письме Максвелла к Фарадею от 19 октября 1861 г. [55, т. 1, с. 685—686]; «близость между двумя величинами» воспевается в его письме к Томсону от 10 декабря 1861 г. [55, т. 1, с. 695]. Как свидетельствуют архивные источники [56], в начале 1870-х гг. Максвелл детально проработал упомянутый труд Кирхгофа [54].

\*\* См. письма Максвелла к Монро от 20 (?) октября 1861 г. в [55, т. 1, с. 690] и Монро к Максвеллу от 23 октября 1861 г. в [53, с. 245].

\*\*\* Об отправке Томсоном сопротивлений в Геттинген упоминается в его письме к Гельмгольцу от 30 июля 1856 г. в [22, т. 1, с. 322], а также в письме Вебера к Томсону от 14 сентября 1861 г. в [57]. Неприятие Томсоном максвелловского вывода, основывавшегося на численном совпадении, и его притязания на приоритет на основе статьи в энциклопедии 1861 г. обсуждаются в [16, с. 458—460].

ми до настоящего времени в абсолютных показателях, не вызовет удивления. Едва ли можно было ожидать, чтобы кто-то один оказался в состоянии вложить [в эту работу] необходимые время, труд и деньги» [19, с. 121]. Между тем в июне 1862 г. Кирхгоф откликнулся на приглашение прокомментировать проект Британской Ассоциации, с которым обратился к нему Дженкин. Гейдельбергский профессор дал дополнительное подтверждение неустойчивого качества измерений сопротивления. Результаты его собственных определений отличались от веберовских «примерно на одну седьмую. <...> Причина этого отсутствия согласия состоит отчасти в несовершенстве инструментов, которыми я пользовался», — указывал Кирхгоф, — и отчасти — в различии температурных режимов, в которых проводились гейдельбергские и геттингенские эксперименты [59]. Впрочем, два года спустя Вебер опубликовал результаты оценки отношения единиц, которые довольно хорошо соглашались с результатами Кирхгофа (см. [55, т. 1, с. 686, прим. 15] и [16, с. 693]). В общем, вышеупомянутое замечание Томсона оказалось убедительным: чтобы получить «гарантированную» величину  $v$  на основе широко принятого стандарта сопротивления, требовались немалые ресурсы. Максвелл же по-прежнему не располагал таковыми — в особенности на момент своего отъезда из Лондона в 1865 г.

Стой же проблемой были сопряженны измерения скорости света. Последняя представляла собой величину, исторически установленную астрономами, использовавшими затмения спутников или проход Венеры по диску Солнца для определения астрономической единицы. Когда поздней осенью 1861 г. Максвелл начал отыскивать общепринятую оценку скорости света, он первым делом обратился к серии учебных пособий Сэмюэла Хоутона (*Samuel Houghton*) — математика, придерживавшегося крайних антиеволюционистских позиций и занимавшего пост профессора геологии в Дублинском Тринити-колледже (*Trinity College*), — написанных им в соавторстве со священником Ирландской церкви Джозефом Гэлбрайтом (*Joseph Galbraith*). Максвелл использовал их пособия для курсов, которые он читал в Абердине и Лондоне: «в них нет пустозвонства, и введено множество практических вопросов вместо всяких хитросплетений». В частности, там упоминались лучшие, фактически единственные для того времени наземные эксперименты по определению скорости света, развернутые в Париже начиная с 1849 г. Ипполитом Физо (*Hippolyte Fizeau*), который использовал остроумный метод с вращением зубчатого колеса перед щелью. В этих «блестящих экспериментах», как называли их Гэлбрайт и Хоутон, Физо направлял луч света из Парижа на Монмартр, на расстояние свыше 8600 метров между щелью, откуда исходил луч, и зеркалом, возвращавшим его обратно, к наблюдающему телескопу. При этом он увеличивал скорость вращения колеса до тех пор, пока изображение света не исчезало, и посредством этого выводил скорость света, так как создавалась ситуация, когда колесо вращалось достаточно быстро, чтобы каждый его зубец располагался перед щелью через то время, которое требовалось свету для достижения зеркала и возвращения обратно. Результатом экспериментов

Физо стало увеличение принятой астрономами величины (308 млн. метров в секунду) примерно до 315 млн. метров (или 196 тыс. миль) в секунду. В Париже этот результат приветствовали как «чудесное согласие» (см., например, [60]). Что же касается Максвелла, то его обращение с этим числом обернулось цепью ошибок и пересмотров. Он хотел, чтобы оно было как можно ближе к веберовской величине для  $v$  — 310740000 метров (или 193088 миль) в секунду. Сначала он извлек скорость света из книги Хоутона и Гэлбрайта: 193118 миль в секунду [61, с. 39]. Этот результат был очень хорош. Однако в сообщении самого Физо, опубликованном в журнале Парижской академии наук [62], величина скорости света была несколько выше той, которую привели ирландцы. Далее, сам Максвелл допустил небольшую ошибку при переписывании из *«Comptes Rendus»*, занизив собственный результат Физо со 195777 до 195647 миль в секунду. В итоге в его публикации 1862 г. появились оба варианта «величины Физо»: и неточно переписанный им самим из первоисточника, и точно переписанный им из грешившего неточностью учебника ирландцев. Соответственно, между величинами  $v$  и скорости света обнаружилось расхождение порядка 1% — т. е. примерно того же порядка, что и разрыв между единицами сопротивления Вебера и Томсона; однако, как мы видим, это было расхождение, в десять раз превышавшее предел погрешности, заявленный в экспериментах 1862—1864 гг. в Кингс-колледже. И вот, основываясь на этом, Максвелл сообщил Томсону о «близости» между двумя скоростями\*.

Вскоре случились и более крупные неприятности. Летом 1862 г. великий парижский физик Леон Фуко (*Léon Foucault*) опубликовал результаты новых опытов по определению скорости света, которые он начал в предыдущем десятилетии, заменив установку Физо на врачающееся зеркало и существенно уменьшив путь светового луча. Фуко заимствовал эту конструкцию из экспериментов по определению скорости электричества, предпринятых коллегой Максвелла по Кингс-колледжу Чарльзом Уитстоуном (*Charles Wheatstone*). Работа Фуко имела важное значение для Максвелла, поскольку (как объяснял последний Стоксу в мае 1857 г.) ему требовались данные об относительной скорости света в воздухе и в воде как элемент его исследования относительного смещения тел в эфире. Фуко сообщил, что Физо преувеличил величину скорости света, и это могло бы стать хорошей новостью для Максвелла; однако он сообщил, что Физо преувеличил ее значительно, — а это уже было очень плохой новостью. «Скорость света значительно уменьшена, — заявил Фуко. — Согласно общепринятым предположениям, эта скорость должна составлять 308 миллионов метров в секунду. Новый эксперимент с врачающимся зеркалом дает приблизительно 298 миллионов» [63, с. 217]. Результат Фуко согласовывался с дан-

\* Оба ошибочных варианта «величины Физо» приведены в [9, т. I, с. 500]. Ее верное значение приводится в письме Максвелла к Томсону от 10 декабря 1861 г. (см. [55, с. 695]). Об использовании Максвеллом пособия Хоутона и Гэлбрайта в Абердине говорится в его письме к Личфилду (*Litchfield*) от 7 февраля 1858 г. [55, с. 582].

ными, полученными Джорджем Эйри (*George Airy*) на основе наблюдений за затмениями спутников Марса, а также с сообщениями других астрономов о результатах измерения aberrации от Южной Африки до Пулкова. В феврале 1864 г. Королевское астрономическое общество (*Royal Astronomical Society*) единогласно согласилось отказаться от доселе принятой величины скорости света (в пользу вновь полученной). Джон Гершель одобрил новую, уменьшенную величину, охарактеризовав ее как «ключевой факт» [64, с. 234]. Расхождение между этим фактом и веберовской оценкой  $v$  увеличилось до более чем 4%. Максвелл, разумеется, не мог прямо отрицать точку зрения, принятую светилами астрономии. Мировая сеть астрономических обсерваторий согласилась на увеличение солнечного параллакса, основываясь на этом «ключевом факте»\*. В итоге в своей очень важной работе 1865 г. о динамике электромагнитного поля, использовавшей лагранжев метод анализа энергии, запасенной в поле, для вывода волновых уравнений для поперечных волн, Максвелл, хотя и признав результаты Фуко, в то же время воспроизвел пусть более привлекательную, однако дискредитированную, величину 308 миллионов метров в секунду (см. [33, т. 1, с. 580]). Он сообщил Хокину, что теперь «очистил электромагнитную теорию света от всех неоправданных допущений, так что мы можем с уверенностью определить скорость света, измеряя притяжение между телами, сохраняющими заданную разность потенциалов, величина которой известна из электромагнитных измерений». Томсон едва ли мог согласиться с этим утверждением по поводу электромагнитной теории. Он уже давно утверждал, что, принимая во внимание коммерческую ценность отношения единиц, а именно — то обстоятельство, что величина  $v$  имела решающее значение для скорости распространения телеграфных сигналов, эту величину следует аккуратно переопределить. «Я верю, что ее действительно можно оценить (приблизительно)», — писал он Стоксу в 1854 г., а в следующем году сообщил важную информацию, полученную Эйри и имевшую отношение к скорости распространения телеграфных сигналов. Но Максвеллу было недостаточно приблизительной оценки этого хлопотного числа. И в конце 1860-х гг. он постарался обеспечить ресурсы для решения этой задачи, заручившись поддержкой кругов, связанных с электротехникой\*\*.

Собственные экспериментальные ресурсы Максвелла оказались под угрозой после его отъезда из Лондона в 1865 г., так как Дженкин и Хокин были привлечены в группу прокладки трансатлантического кабеля\*\*\*. И все же последний смог помочь ему, когда был освобожден от кабельных

\* Работу Фуко в астрономическом контексте обсуждают Леверье (*Leverrier*; см. *Cosmos*. 1862. Vol. 21. P. 357—360) и Клерк (*Clerke*) в [65, с. 232].

\*\* См. письмо Максвелла к Хокину от 7 сентября 1864 г. в [53, с. 255]. Также см. его письмо к Стоксу от 8 мая 1857 г., в котором он спрашивает у последнего сведения о работе Фуко [55, с. 503]. О «приблизительных» оценках  $v$  см. письма Томсона к Стоксу от 30 октября 1854 г. и 12 февраля 1855 г. [66]. О коммерческих ценностях, связанных с  $v$ , см. [16, с. 454—456] и [67, с. 8—10].

\*\*\* См. письмо Хокина к Максвеллу от 27 июля 1868 г. [68].

работ. Максвелл отмечал, что Хокин «выполнял все, за исключением фактического наблюдения равновесия, которое я предпринял самостоятельно» [33, т. 2, с. 127]. А через свои контакты с фирмой «*Elliott Brothers*» Максвелл имел доступ к конденсаторам и сопротивлениям Британской Ассоциации. Инженер фирмы Бекер (*Becker*) сконструировал для него новые электрические весы, и Максвелл мог эпизодически получать в свое распоряжение лондонскую лабораторию Дж. П. Гассиота (*J. P. Gassiot*)\* с ее громадными батареями. Дженкин обеспечивал электрическое оборудование, а опытный инженер-телеграфист Уиллоуби Смит (*Willoughby Smith*) предоставил огромное сопротивление в один миллион ом. Знаменитое «электромагнитное лобби» Лондона могло помериться силами с астрономами. Эта команда превратила определение  $v$  в пример того, каким образом «чисто научные» проблемы могут иметь коммерческую ценность. Максвелл усвоил от Томсона, что «важность определения этого отношения очевидна во всех случаях, когда имеет место комбинация электростатических и электромагнитных действий. Такая комбинация характерна для обычной работы всех подводных телеграфных кабелей, индукционных катушек и многих других конструкций». Определение  $v$  было рутинной работой для комитета Британской Ассоциации, и в 1869 г. Максвелл представил Ассоциации отчет о своих экспериментах. Но вместе с тем он утверждал, что «знание этого отношения представляет, я думаю, еще большую научную важность, если принять во внимание, что скорость распространения электромагнитного возмущения в диэлектрической среде зависит от этого отношения и, следовательно, согласно моим вычислениям, выражается тем же самым числом» (см. [33, т. 2, с. 126]; ср. с [70]).

Максвелл задался целью показать, что это число — «то же самое». Еще осенью 1864 г. он начал обсуждать веберовский метод измерения  $v$  с использованием коммутатора и лейденской банки. Он полагал, что надежность этого метода зависит от надежности «резисторных ящиков» Британской Ассоциации: «Я думаю, что, трудясь с усердием, мы могли бы достичь этого в нынешнем году». Зимой 1864–1865 гг. в ходе дискуссий с Томсоном он разработал способ усовершенствования измерения  $v$  путем сооружения «специального электрометра в комбинации с динамометром, в котором электрическое притяжение двух дисков уравновешивается электромагнитным отталкиванием двух катушек». Гассиот планировал поставить ему динамометр, сконструированный Вебером\*\*. Весной 1865 г. Максвелл подтвердил, что собирается использовать метод, включающий «уравновешивание электростатического притяжения электромагнитным отталкиванием, имеющим тот же источник». Преимущество над методом Вебера состояло в том, что «силы одновременно прикладываются к телу, уже находящемуся в равновесии, так что не приходится беспокоиться насчет неустойчи-

\* Гассиот был одним из главных действующих лиц Лондонского электрического общества (*London Electrical Society*) — см. [69].

\*\* См. письма Максвелла к Томсону от 17 сентября 1864 г. и 2 февраля 1865 г. [71].

вости равновесия, коль скоро вообще имеется равновесие». Для достижения баланса потребовалась помочь специалистов: «Хокин работает над гальванометром». Установка предполагала уравновешивание силы, возникающей между двумя противоположно заряженными дисками, силой отталкивания между двумя несущими ток катушками. Потенциал фиксированного диска стабилизировался при помощи защитного кольца, сконструированного Томсоном. Максвелл изменял промежуток между двумя пластинами при помощи микрометра до тех пор, пока не устанавливалось равновесие, в то время как Хокин изменял сопротивление в цепи до тех пор, пока стрелка гальванометра, соединенного с катушками, переставала отклоняться. Максвелл регистрировал положение пластин при помощи микроскопа, сфокусированного на стеклянной шкале с ценой деления 1/100 дюйма; при этом они полагали, что «можно добиться, чтобы равновесное положение зафиксированного диска совпадало с плоскостью защитного кольца с точностью до одной тысячной дюйма». Время от времени Максвелл и Хокин менялись местами. Они пришли к выводу, что прецизионное оборудование позволяет дать хорошую оценку отношения двух единиц и тем самым подтвердит достоинство электромагнитной программы Максвеля: «поскольку казалось вероятным, что время, затраченное на конструирование и усовершенствование этих инструментов, будет значительным, я решил применить более прямой метод»\*.

У Максвела были основания для спешки. Осенью 1867 г. Томсон поручил измерить отношение между единицами своим ученикам в Глазго У. Ф. Кингу (*W. F. King*) и Дж. Д. Гамильтону Диксону (*J. D. Hamilton Dickson*). Согласно предписанию Томсона, они должны были определить потенциал на электродинамометре как произведение его сопротивления и текущего через него тока, а также путем подключения абсолютного электрометра к его клеммам. Выбор этого метода обусловливался высокой оценкой, которую давал Томсон надежности собственного электротехнического арсенала: «создание этих инструментов и их регулировка составляли часть лабораторной подготовки студентов». Команда в Глазго включала Уильяма Лейча (*William Leitch*), впоследствии направленного на испытания сифонного регистратора (*siphon recorder*) Томсона на Восточной телеграфной линии в Индии, а также блестящего экспериментатора Дугалда Маккичена (*Dugald McKichan*). Условия, в которых зимой 1867—1868 гг. началась работа, были признаны «весома неблагоприятными», поэтому были затребованы новые стандартные катушки сопротивлений. В ноябре 1869 г. Кинг сообщил Комитету по электрическим стандартам Британской Ассоциации, что, поскольку «различные причины помешали получению таких удовлетворительных результатов, каких наш метод <...> позволяет

\* См. письмо Максвела к Томсону от 17 апреля 1865 г. [72]; описание метода приводится в работе Максвела «*On a Method of Making a Direct Comparison of Electrostatic with Electromagnetic Force*» [О методе прямого сравнения электростатической и электромагнитной сил] (1868) в [33, т. 2, с. 130—132, 135]; о затратах времени см. [там же, с. 127]. Также см. [73, с. 91—93].

ожидать», группа в Глазго теперь сконструировала «новый вид абсолютного электрометра, <...> многообещающий в плане точности и удобства». Весной 1871 г., перебазировавшись в новую физическую лабораторию в Глазго, группа предприняла повторные измерения. Маккичен признавал, что сопротивление стандартных катушек, которыми пользовалась группа, требовало большого внимания: «было бы желательно проводить более частые измерения сопротивления катушек, но ввиду того, что в наличии имелись, как правило, только два наблюдателя, а сравнение [показаний] электродинамометра и электрометра занимало внимание двух наблюдателей, этого обычно не удавалось осуществить». Поэтому было решено установить непрерывный контроль. Группа сумела завершить свою работу лишь к концу 1872 г. — в самый раз, чтобы успеть объявить о своих результатах Стоксу в Королевском обществе весной 1873 г. На основе одиннадцати серий экспериментов утверждалось, что величина  $v$  находится в пределах от  $27,5$  до  $29,2 \times 10^7$  метров в секунду\*.

Максвелл решил, что эти результаты не заслуживают доверия. Он обратил внимание, что работа группы в Глазго включала одновременную оценку двух различных сил, и посчитал, что лондонский метод лучше, поскольку в последнем случае две силы были противоположны и гасились в результате, а потому «единственное измерение, которое требовалось отнести к материальному стандарту, — это огромное сопротивление [Уиллоуби Смита]». Дженкин уже предложил метод, использующий сопротивление очень плохого проводника как в электростатической, так и в электромагнитной системах: «нам требуется <...> серия постепенных сопротивлений». Таким образом, все зависело от надежности стандарта сопротивления Британской Ассоциации. В 1868 г., переписываясь с Хокином из своей резиденции в Гленлейре, Максвелл просил его найти способы увеличения точности. Хокин сообщал, что «результаты весьма неудовлетворительны», а именно — «ящики с единицами Б[ританской] А[ссоциации] вовсе не совпадали [друг с другом]. <...> Я буду делать их заново. <...> Если ошибка возникает из-за того, что где-то плохой контакт, то результат не будет тем же самым. Это доводит „ $v$ “ с  $22 \times 10^7$  до  $24,5 \times 10^7$  метров в секунду»\*\*.

В конечном счете Максвеллу удалось «дожать» величину  $v$  до  $28,8 \times 10^7$  метров в секунду — результата, который оставался по-прежнему далек от величины Фуко ( $29,8 \times 10^7$  метров в секунду), но все же был несколько лучше старой оценки Вебера. Максвелл достиг этого, следуя указанию Хокина, а именно — замалчивая результаты почти трети своих опытов «на том осно-

\* О ходе и итогах этой работы см. [74, с. 409—410, 417—418, 421], [22, с. 524—525] и [75]. О донесении Королевскому обществу см. письмо Маккичена к Стоксу от 19 апреля 1873 г. [76]. Об использовании результатов этой работы Максвеллом см. [33, т. 2, с. 136] и [4, т. 2, с. 436] — с добавлениями Дж. Дж. Томсона (*J. J. Thomson*) к третьему изданию этого труда (там же). Дополнительные комментарии приводятся в [77, т. 2, с. 228—229].

\*\* См. [4, т. 2, с. 418], а также письма Максвелла к Дженкину от 27 августа 1863 г. [53, с. 252] и Хокина к Максвеллу от 15 мая 1867 г. [78] (это письмо опубликовано в [73, с. 97]).

вании, что микрометра касались при наблюдении равновесия», и неустанно порицая величину единицы сопротивления Британской Ассоциации, которая, как он отмечал, была почти на 9% больше определенной Вебером в 1862 г. и на 1,2% меньше величины единицы сопротивления, выведенной из самой современной работы Джеймса Джоуля о тепловом действии токов. Он мог порицать единицу Британской Ассоциации, поскольку его наилучшая оценка  $v$  была подобна тем, которые в то время получали другие в Лондоне и Глазго. «Метод экспериментирования оказался в состоянии обеспечить значительную точность; однако возникли некоторые трудности вследствие непостоянства батарей, утечки электричества и т. д., поэтому многие эксперименты были признаны ошибочными». По оценке Максвелла, «вероятная ошибка» дюжины опытов, выдержавших его проверку, была порядка 1/6%, хотя опубликованные результаты опытов различались между собой более чем на 3%. Он подчеркивал, что «ни один из этих результатов не подсчитывался до окончания [всей серии] экспериментов», однако его переписка с Хокином обнаруживает настойчивое стремление найти оправдания для 10-процентного расхождения между результатами их первых опытов и скоростью света. Требовавшая более мощных батарей, возможно — элементов Грова (*Grove cells*), лучшего технического персонала и гораздо лучших комплектов сопротивлений, работа Максвелла застопорилась. Она не могла быть возобновлена до его переезда в Кембридж — и вполне возможно, что именно застой в работе побудил его в 1871 г. совершить этот переход (см. [33, т. 2, с. 135—136] и [70, с. 438]).

Летом того же 1871 г. в Эдинбурге, в разгар работы его собственной группы по определению  $v$ , Томсон сделал свои первые существенные публичные замечания по поводу утверждаемой Максвеллом связи между  $v$  и скоростью света. Он напомнил Британской Ассоциации о «скрупулезных и трудных экспериментах» Вебера, охарактеризовав их как *«monumentum aere perennius»* [памятник прочнее меди]. Томсон упомянул недавние заявления Максвелла о том, что эти два параметра должны быть «в точности равны», и высказал предостережение против поспешного признания максвелловской модели и его результатов. «Измерение Вебера приблизительно подтверждает это равенство. <...> Как можно более точное определение веберовской критической скорости именно сейчас является первоочередной задачей Комитета по электрическим измерениям [Британской] Ассоциации, и на сегодняшний день было бы преждевременно заниматься спекуляциями по поводу полноты согласия между этой скоростью и скоростью света» (см. [18, т. 2, с. 160—161] и [22, с. 1026]). Осознавая поддержку громадного числа своих помощников в деле международной кабельной связи, а также общее значение отношения единиц для своей телеграфной модели, Томсон рассматривал эти измерения как свидетельство благотворного влияния коммерческой телеграфии на ценности физики (см. [16, с. 457—458]). Но, несмотря на его нерешительное признание того, что недавняя работа Максвелла и Хокина, по-видимому, приблизила критическую скорость к скорости света, повторяющиеся замечания Томсона о «приблизи-

тельном подтверждении» и «преждевременных спекуляциях» требовали ответа из хорошо оборудованной лаборатории, способной создать новый метрологический монумент. В Кембридже ключевой проблемой оказался разрыв между лабораторией и мастерской, который был по душе кое-кому из университетских преподавателей математики, но вовсе не радовал пытавшегося его преодолеть Максвелла. В самый первый год своих лабораторных работ в Кембридже, весной 1874 г., Максвелл заставил своих студентов использовать магнитометр обсерватории Кью для измерения напряженности и направления геомагнитного поля. Затем он сверился с данными самой обсерватории, чтобы сравнить с ними результаты своей группы и получить инструкции о том, как наилучшим образом наладить этот замечательный инструмент. Сходные проблемы проявились в его переписке с Флемингом Дженкином о наилучших способах использования оборудования Британской Ассоциации. Максвелл просил Дженкина просветить его насчет устройства регулятора, сконструированного последним в середине 1860-х гг., так как «мне необходим чуткий фрикционный регулятор, основывающийся на вашем принципе, но с небольшими изменениями, которые позволили бы обеспечить хорошее уравновешивание». Максвелл не знал, где достать такой инструмент. Он также нуждался в инструкциях по устройству старого оборудования — например конденсаторных защитных колец (*guard ring condensers*), которые должны были играть решающую роль в его переопределении ома, а следовательно и в его новых измерениях <sup>у\*</sup>.

Было важно реорганизовать технику работы Кавендишской лаборатории — как социальный, так и материальный аспекты этой техники. Максвелл вступил в Общество инженеров-телефрафистов (*Society of Telegraph Engineers*)\*\*. В июле 1873 г. он сообщал, что «невозможно достать многие из инструментов, так как их не делают про запас, а изготавливают на заказ». С другой стороны, эталонные инструменты требовали персонального надзора в процессе их создания: «вся их ценность зависит от того, отвечают ли они условиям, которые пока еще могут быть определены лишь опытным путем; таким образом, возможно, пройдет некоторое время, прежде чем все будет приведено в рабочий порядок» [53, с. 267—268].

Передача технологии и конструирование требуют условий, культурирующих развитие неявных знаний и навыков. Последние не могут развиться в дистанционированных, формальных отношениях между изготовителем и пользователем. В мае 1874 г. Максвелл получил из обсерватории Кью известие о латунном кольце для своего коммутатора, которое, «должно быть, затягивалось при отправке инструмента, — поскольку, я полагаю, нам случалось передвигать установку»\*\*\*. Двумя годами позже знаменитый мастер из Глазго Джеймс Уайт (*James White*), который за 65 фунтов стерлингов изго-

\* См. письма Уиппла (*Whipple*) к Максвеллу от 6 мая 1874 г. и Максвелла к Дженкину от 22 июля и 18 ноября 1874 г. [79].

\*\* Об этом см. письмо Приса (*Preece*) к Максвеллу от 7 марта 1873 г. [80].

\*\*\* См. письмо Уиппла к Максвеллу от 6 мая 1874 г. [81].

товил для Кавендишской лаборатории абсолютный электрометр\*, сообщил Максвеллу: «как вы заметили, он не перпендикулярен подставке; должно быть, по какой-то случайности он оказался сбит из-за того, что сплелась друг с другом пара пружин; этим же объясняется и то, что диск с таким трудом останавливается». Уайт дал Максвеллу указания по корректировке подвески диска. Для этого следовало пользоваться пинцетом, не отнимая его до тех пор, пока через увеличительное стекло напротив шкалы электрометра не станет видно изображение волосной пружины\*\*. Как выяснилось, выполнить эти инструкции было нелегко. Как следствие подобных эпизодов, в 1877 г. Максвелл заявил о необходимости уничтожения культурной и практической дистанции между мастером и исследователем. «Экспериментатору лишь изредка удается увидеться с создателем инструментов, и он может быть не вполне осведомлен о ресурсах мастерской, поэтому его инструкции не находят достаточного понимания у мастера. С другой стороны, у мастера не было возможности увидеть прибор в действии, так что любые усовершенствования в конструкции, которые мог бы подсказать его практический опыт, оказываются либо утраченными, либо направленными по ложному пути» [84, с. 434]\*\*\*.

Изменение такого положения вещей было нелегким делом. Когда в Кавендишскую лабораторию был принят в качестве демонстратора Уильям Гарнетт, он вскоре «ввел в арсенал лабораторной мастерской несколько инженерных и столярных инструментов». Но этого было недостаточно. Хороший образчик неурядицы преподнесла фирма *«Elliott Brothers»* — поставщик стандартных сопротивлений. Осенью 1878 г. Максвеллу потребовалось несколько хороших новых эталонов этой фирмы для экспериментов с *v*. Фирма послала два резисторных ящика для проверки Хокину. Последний установил, что температуры, при которых их сопротивления соответствовали номиналу, оказались более чем на  $4^{\circ}\text{C}$  выше предполагавшихся фирмой. «Таким образом, мы имеем различие, которое до сих пор оставляет нас в недоумении. Не могли бы мы предложить, чтобы ваш стандарт был сопоставлен со стандартом м-ра Хокина?» У лаборатории имелись по крайней мере три источника для развития более эффективных навыков: налаживание более тесных связей с инженерами Лондона и Глазго; привлечение к работе людей из недавно созданного в Кембриджском университете инженерного факультета, который возглавлял вызывавший разнотолки профессор Джеймс Стюарт (*James Stuart*); и наем штатного технического персонала. В середине 1870-х гг. техник Роберт Фулчер (*Robert Fulcher*), до этого работавший на Стюарта, был переведен в Кавендишскую лабораторию. Собственная мастерская Стюарта начала делать для лаборатории ин-

\* Приобретение электрометра зафиксировано в инвентарной книге Кавендишской лаборатории [82].

\*\* См. письмо Уайта к Максвеллу от 5 июня 1876 г. [83].

\*\*\* Ср. высказываниями Максвелла о Генри Кавендише из его письма к Джорджу Кристалу (*George Chrystal*) от 21 сентября 1877 г. [85].

струменты, и благодаря этому вновь созданная «*Cambridge Scientific Instruments Company*» смогла подняться от положения поставщика оборудования для физиологической лаборатории Майкла Фостера (*Michael Foster*) до уровня широкопрофильного концерна по производству научных инструментов. Как вспоминал Троттер (*Trotter*), в мастерской Стюарта, оснащенной прекрасными токарными станками и шкивами, «требовалась величайшая аккуратность всегда и во всем». При этом под «аккуратностью» подразумевались хорошие руки: «[здесь] не пользовались никакими микрометрическими нониусами или шаблонами. Но это была отличная практика». Мастерская начала обеспечивать Кавендишскую лабораторию оборудованием, а студентов — работой\*.

Навыки людей, подобных Фулчеру, имели ключевое значение для проекта электромагнитных стандартов. Максвелл приступил к разработке новых методов для переопределения единицы сопротивления и оценки величины  $v$ . Эти методы требовали навыков прецизионной работы. Максвелл пришел к заключению, что можно получить лучшее значение  $v$ , вернувшись к предложению, сделанному им в середине 1860-х гг., а именно — применив коммутатор, присоединенный к воздушному конденсатору\*\*. Силу тока в цепи можно было измерить в электромагнитных единицах, используя уравновешивающий постоянный ток, в то время как электростатическую величину количества заряда можно было определить из скорости коммутатора и величины конденсатора. Но и этот метод нуждался в надежной оценке стандарта сопротивления Британской Ассоциации. Проблема получения такой оценки стояла не только перед Максвеллом: ею был весьма озабочен и манчестерский мэтр точного измерения Джеймс Джоуль (*James Joule*), предполагавший использовать величину единицы сопротивления для калибровки собственной оценки механического эквивалента тепла. Джоуль сообщил Максвеллу о том, что обсудил проект с Томсоном и Бэлфором Стюартом: «мы согласились друг с другом, что, если вы предпримете новые эксперименты для переопределения единицы сопротивления, это будет иметь огромную важность. Я искренне желаю, чтобы вы взялись за это дело, и тогда станет ясно — останутся мои результаты на плаву или же пойдут ко дну» [94]\*\*\*. Итак, проект Максвелла оказался точкой пересечения различных интересов, и Кавендишская лаборатория взялась «за это дело». Задача состояла в том, чтобы помощники Максвелла оказались

\* О приеме Гарнетта в Кавендишскую лабораторию см. [86, с. 35]. О неурядице с температурным режимом сопротивлений см. письмо фирмы «*Elliott Brothers*» к Максвеллу от 25 октября 1878 г. [87]. История инженерного дела в Кембриджском университете освещается в [88, с. 63—74], [89] и [90, №№ 23—24, 451 (Wh: 1339—1340, 4376)]. О первых экспериментах Кавендишской лаборатории по выяснению зависимости стандартных сопротивлений «*Elliott Brothers*» от температуры см. [91]. Отзыв Троттера о мастерской Стюарта см. в [92, с. 34].

\*\* Подробнее о конструкции использованного оборудования см. [73, с. 99—101] и [93, с. 201—202].

\*\*\* Я очень признателен Отто Зибуму (*Otto Sibum*), предоставившему мне возможность ознакомиться с его работой об исследованиях Джоуля.

в состоянии преодолеть неприятности, с которыми столкнулась в 1860-е гг. его прежняя команда в Кингс-колледже. Максвелл разработал нулевой метод, отличавшийся ничтожной зависимостью от вариаций мощности батарей и не требовавший калибровки баллистического гальванометра. (Из двух баллистических гальванометров, сохранившихся от этого этапа работы, один был сконструирован самим Максвеллом и затем использовался в проекте определения стандартов, а другой был получен Кавендишской лабораторией от кембриджского профессора химии в начале 1875 г.\*.) В новом методе на первый план опять вышли коммутаторы. Максвелл охарактеризовал его как «определение  $v$  через качение» (*determination of  $v$  by wippe*) и ввел это выражение в переработанные издания своего «Трактата об электричестве и магнетизме» (см. [4, с. 396, 420—421]). «Я рад, что коммутатор с кривошипом хорошо проявил себя,— сообщал он рафинированному кембриджскому «ранглеру»\*\* Джорджу Кристалу. — Такой коммутатор очень нужен для многих экспериментов. Конечно, должен быть какой-то счетчик для абсолютных изменений времени»\*\*\*. Чтобы обеспечить очень быстрое затухание тока при движении коммутатора, Максвелл хотел смонтировать в каркас из пушечной бронзы, удерживавший катушки взаимной индукции, узкий радиальный сектор, заполненный изолятором. (Самая последняя кембриджская лекция Максвелла была посвящена исследованию формы как раз такого убывающего тока в системе с взаимной индукцией. Записи этой лекции, сделанные Эмброузом Флемингом (*Ambrose Fleming*), были включены в посмертное издание максвелловского «Трактата».)

Для работы требовались хорошие катушки и каркасы. Летом 1877 г. еще не было возможности изготовить их в Кембридже. Максвелл сделал заказ лондонскому инженеру Томасу Хорну (*Thomas Horn*) и вкусили горькие плоды обращения к производителю, который не был под рукой и, следовательно, не мог быть проконтролирован (см. [93, с. 208]). Впоследствии эта проблема была устранена Фулчером, который стал делать катушки на месте. Важное значение имели и такие аспекты работы, как контроль и иерархия. В январе 1878 г. Максвелл вновь осведомился у Хокина о работе других лабораторий, включая лондонскую лабораторию Кэри Фостера, где занимались влиянием температуры на сопротивление\*\*\*\*. Флеминг, недавно ставший студентом Сент-Джон-колледжа (*St. John's College*), получил задание внедрить лондонский метод в Кембридже (см. [97, с. 119]). Кристалу был поручен контроль. В течение 1878 г. последний сообщал Максвеллу о трудностях, с которыми сталкивался, наматывая катушки на каркасы из пушечной бронзы. Главную проблему составляла техническая поддерж-

\* Описание этих приборов см. в [90, NN 14, 17 (Wh: 1318, 1334)].

\*\* На жаргоне Кембриджского университета слово «ранглер» (*wrangler*) обозначает студента, особо отличившегося на экзамене по математике. — Прим. перев.

\*\*\* См. письмо Максвелла к Кристалу от 7 августа 1876 г. [95].

\*\*\*\* См. письмо Хокина к Максвеллу от 14 января 1878 г. [96].

ка: «из-за недостатка помощи мне не удалось продвинуться дальше предварительного опыта, позволяющего надеяться на успех». Тогда Максвелл отрядил на эту работу Фулчера. Он даже попытался уговорить собственного ассистента Пуллина (*Pullin*), прославившегося своей нерасторопностью, помогать Фулчеру: «Я думаю, он исправился». К июлю Кристал заявил: «Я предлагаю, чтобы Фулчер наматывал катушки в моем непосредственном присутствии, дабы я мог, если понадобится, отчитаться за каждый слой»\*. Благодаря актуализации этого нового, «домашнего» ресурса, иными словами — заменив уязвимые дальние контакты на развитие тесной связи между техниками Стюарта и собственными «ранглерами», Максвелл смог известить университет, что наконец «многое из того оборудования, которое предполагается использовать в Кембридже и которое до сих пор заказывалось в Лондоне, может в будущем конструироваться в Кембридже и испытываться, еще находясь в руках изготовителей, теми, кто будет дальше с ним работать» [100, с. 420].

Работа Кристала по испытанию катушек является хорошей иллюстрацией того, как новый лабораторный порядок формировал новые навыки, даже среди «ранглеров». Точность начинала представлять как упорный и дисциплинированный труд. Второй среди кембриджских «ранглеров» лауреат Смитовской премии 1875 г., Кристал сразу же по окончании университета был избран членом Корпус-Кристи-колледжа (*Corpus Christi College*) и в последующие два года работал в составе Кавендишской лаборатории. Приобретенные им навыки оказались столь существенны, что даже после своего ухода осенью 1877 г. (он возглавил кафедру математики Сент-Эндрю-колледжа (*St. Andrew's College*)) он по-прежнему оставался для Максвелла ключевой фигурой в работе по определению единицы сопротивления и  $v$ . «У меня наверняка сохранится возможность проводить изрядную часть года в Кембридже и работать, — успокаивал он Максвелла. — Слово «исследование» (*research*), между прочим, становится... убийственным — к нему относятся с отвращением». Кристал посвятил конец 1870-х гг. испытаниям катушек, работая совместно с Гарнеттом и Фулчером. Катушки присыпались из Лондона, а затем наматывались и испытывались в Кембридже для дальнейшего использования в экспериментах по определению  $v$ . «Я не знаю, имеет ли смысл в настоящее время заниматься переопределением абсолютной единицы сопротивления; но остается [задача определения]  $v$ , и теперь, когда у нас имеется градуированный конденсатор, это дело, я полагаю, может быть сделано», — сообщал он Максвеллу летом 1878 г.\*\* Итак, каждое лето Кристал приезжал в Кембридж и сообщал Максвеллу о ходе работы команды. Максвелл дал ему указание пору-

\* См. [93, с. 209], а также письма Кристала к Максвеллу от 9 июля 1878 г. [98] и Максвелла к Кристалу от 9 июля 1878 г. [99].

\*\* См. письма Кристала к Максвеллу от 5 июля 1877 г. и 9 июля 1878 г. [101]. Отзыв Максвелла о переходе Кристала в Сент-Эндрю-колледж см. в его письме к Кристалу от 12 июля 1877 г. [102].

чить Фулчеру наматывать катушки на большие бобины и определять их параметры. «Главное здесь — это подсчет [количество] витков». У Максвелла был богатый опыт работы с такими катушками. Он пришел к заключению, что «для точности измерения и вычисления лучше не слишком сильно увеличивать толщину, поскольку внешние слои обмотки сжимают внутренние и тем самым изменяют их электрические константы». Изменить конструкцию катушек оказалось проще, чем изменить намагниченность. Тщательнейшие эксперименты немцев были попросту чересчур дорогими, чтобы его группа могла последовать их примеру: «Кольрауш доводит длину своей катушки практически до бесконечности. Это требует больше проволоки, чем то необходимо»\*.

Кристал получил от кассельской фирмы «F. W. Breithaupt» катетометр, оборудованный 20-кратным телескопом стоимостью почти 40 фунтов стерлингов, — настоящий светоч прецизионной техники, рекомендованный Максвеллом. Он предпринял почти сотню промеров желобков, в которые должна была укладываться проволока, в каждом случае пользуясь надежным штангенциркулем. Он убедился, что необходимо сохранять результаты каждого промера «на тот случай, если возникнут корректировки», и «заставлял человека калибровать катетометр при помощи отрезка фиксированной длины, который поднимался и опускался». Между тем возникали все новые трудности. Железная штанга, несущая катетометр, изгибалась, и Кристалу не удавалось измерить основание желобка. Наконец, три недели спустя он поручил Фулчеру приступить к укладыванию проволоки в желобки. Проволока оказалась плохой; желобок было трудно изолировать, и Кристал пытался использовать пропитанную парафином ленту в качестве прокладки между проволокой и металлическими бобинами. Максвелл предложил прокатывать по проволоке диск для более точного определения ее длины, но Кристал ответил, что ему «не удалось получить стабильные результаты. Я решил, что надежнее пользоваться катетометром, показаниям которого я, кстати сказать, склонен доверять»\*\*. К марта 1879 г. это доверие усилилось до веры. Максвелл, в то время вернувшийся в Кембридж, попросил у Кристала данные его опытов, с тем, чтобы можно было приступить к использованию катушек в экспериментах по определению  $\nu$ . Кристал в ответ сообщил, что он гораздо больше уверен в параметрах катушек, чем в их коэффициентах индукции. Первые были тщательно зарегистрированы: «Я могу указать число слоев, число витков в каждом слое и четыре диаметра каждого слоя. <...> У меня имеются все действительные показания катетометра». С другой стороны, коэффициенты индукции «были очень грубыми». У Кристала были плохие известия по

\* См. письма Максвелла к Гарнетту от 11 июля 1876 г. [103] и к Кристалу от 30 декабря 1876 г. [104].

\*\* См. письма Максвелла к Кристалу от 9 июля 1878 г. [105] и Кристала к Максвеллу от первых чисел июля (точная дата неизвестна) и 29 июля 1878 г. [106]. Катетометр фирмы «Breithaupt» описан в инвентарной книге Кавендишской лаборатории [107].

поводу ряда ресурсов, необходимых для их работы: «эксперимент с абсолютной единицей придется довести до конца кому-то другому». Он подчеркнул трудность изолирования обмоток от бобин и плохое качество проволоки. Также он сообщил, что его опыты пошатнули «до некоторой степени мою веру в электрометр Томсона. Утечка из квадрантов была столь велика, что мне не удалось получить ничего, кроме самых грубых результатов». В своих итоговых рекомендациях он указывал, что необходимы: новый движитель для коммутатора, который мог бы поддерживать постоянную скорость; новый электрометр от Уайта; и, главное, лаборант для управления настроенным ключом, чтобы «регулировать большое сопротивление»\*. Впечатления Кристала подтвердили, что трудности «заочной калибровки», неотступно преследовавшие изолированную лабораторию, могли быть преодолены только путем развития новых образцов технического мастерства внутри самой Кавендишской лаборатории и в ее непосредственном окружении.

### «Наша теория определенно не опровергается результатами»

Процесс развития мастерства предполагал комбинацию инструментального оснащения и обучения персонала. Индукционные катушки, магнитометры и коммутаторы стали символами посвящения в жизнь лаборатории. Столь высокий статус инструментов получал объяснение на страницах максвелловского «Трактата». В ключевом разделе этой книги, сопоставляя оценки с оценками скорости света, Максвелл отмечал, что эти две величины «одного и того же порядка» — факт, известный уже десятилетие или более того. «Междутем наша теория, которая утверждает, что эти две величины равны, и приписывает этому равенству физический смысл, определенно не опровергается сравнением с теми результатами, каковые имеются». Однако это положение о «неопровергаемости имеющимися результатами» едва ли было неотразимым доводом; отсюда — акцент, который делался в «Трактате» на необходимости увеличения точности и аккуратности в лабораторной работе. «Трактат» представлял и осмысливал инструментальное оснащение как часть фундаментальной физики. Одним из примеров этого был блестящий анализ баллистической гальванометрии, проведенный Максвеллом в одной из глав. Касаясь инструментов и в других главах, Максвелл обрисовал иерархию оборудования, выстраивая ее от устройств «нулевого метода» (таких, как электроскоп) через регистрирующие устройства и отсчеты по шкалам до «инструментов, сконструированных таким образом, что они заключают сами в себе средства для независимого определения действительных значений величин». Тем самым Максвелл подчеркивал теоретическую и практическую значимость абсолютных измерений. Этой же цели служил и его авторитетный программный ком-

\* См. письмо Кристала к Максвеллу от 6 марта 1879 г. [108].

ментарий к Саут-Кенсингтонской выставке научных инструментов 1876 г. Конструкция инструментов воплощала те принципы физики, для демонстрации и последующего изучения которых они были сконструированы. «Должен быть первичный двигатель, или движущая сила, а также передаточный механизм для связи первичного двигателя с телом, которое следует привести в движение». Динамика была основой теории, а передача энергии — основой конструирования. Электрические инструменты следовало классифицировать на такие категории, как источники, каналы, ограничители, резервуары, шлюзы, регуляторы, индикаторы и, наконец, единицы измерения (к примеру, ом). Трактуя их «машинообразно», Максвелл способствовал соединению практики мастерской с практикой лаборатории\*.

Эта «машинообразная» ориентация содействовала введению стандартов Британской Ассоциации в лабораторию. В 1870-х гг. Гарнетт имел обыкновение вводить новичков в Кавендишскую лабораторию, поручая им работу с магнитометром обсерватории Кью, так как это «давало практику не только в чтении шкал и юстировке, но и в регистрации времени путем подсчитывания тиканья часов при наблюдении за качающимся магнитом». В конце 1876 г. Максвелл отмечал, что «по мере того как мы становимся богаче приборами, математические лекции уступают место экспериментальным, а классная доска — лампе и циферблату» (см. [86, с. 34—35] и [53, с. 304—305]). О статусе оборудования Британской Ассоциации говорила и планировка Кавендишской лаборатории. Магнитная комната занимала восточное крыло первого этажа — почетное помещение с внушительными экспериментальными стендами, имевшее сравнительно много места для вспомогательных приборов. Ее оборудование имело центральное значение для ритуала вступления в лабораторию. В этой связи интересно упомянуть об опыте еще одного «ранглера» — Ричарда Глейзброка (*Richard Glazebrook*), пришедшего в лабораторию в 1876 г. Ему было поручено помочь Кристаллу, контролируя постоянство электродвижущей силы элементов Даниэлла (*Daniell cells*) при помощи квадрантного электрометра. Глейзброка хватило недолго — он отказался от этой работы, осознав, что программа определения стандартов и диплом об окончании университета с отличием принадлежат к разным системам ценностей: «измерения, которые мне было поручено делать, не сулили надежды на то, что предоставленный ими материал подойдет для выпускной диссертации» [110, с. 135—137].

Этот эпизод иллюстрирует одну причину, по которой было трудно сформировать кадры, обладающие необходимым мастерством. Наряду с ней, существовали и другие. В 1878 г. молодому естествоиспытателю Троттеру была поручена работа на магнитометре обсерватории Кью, и, хотя эта работа привела к «получению довольно хороших результатов», Гарнетту пришлось обучать Троттера основным принципам измерения момента магнита, по словам последнего — «абстракции, в которую я [прежде] не

\* См. [4, т. 1, с. 326—327; т. 2, с. 436]. Комментарий 1876 г. опубликован в [33, т. 2, с. 505—527]; обсуждение см. в [109, с. 23—27].

был посвящен». Троттер также научили измерять сопротивление баллистического гальванометра путем вычисления логарифмического декремента его колебаний. «Этот эксперимент был хорошей практикой, но что за способ измерения сопротивления гальванометра!» — удивлялся Троттер [92, с. 20]. Дело в том, что это было хорошей практикой усвоения принципов, которые стремился насадить максвелловский режим. Используя свой «Трактат» для интерпретации поведения этого гальванометра, мэтр Кавендишской лаборатории начал разрабатывать теоретическую технологию. «Мы учимся делать различие между толчками, отбрасываниями и подергиваниями стрелки гальванометра», — сообщал он Дженкину. «Несколько человек умеют выстраивать различные комбинации по своему собственному разумению»\*. Не следует видеть в этой работе всего лишь незатейливое воплощение истин, провозглашенных в максвелловских принципах. Теоретические и практические ресурсы производились рука об руку. В случаях, подобных вышеописанному, «человеки» учились видеть в искусственных электромагнитных работах лаборатории проявления более общих принципов изменения тока и напряженности поля. И все же, как часто подчеркивали сотрудники Максвелла, существовал громадный разрыв между грэзами о хорошо обученном, сноровистом персонале и реальным производством рутинных практических навыков. К примеру, в 1874 г. У. М. Хикс (*W. M. Hicks*), вдохновленный учением Максвелла, попытался измерить скорость электромагнитных волн при помощи баллистического гальванометра, уравновешенного между двумя катушками разных размеров, отстоящими на разных расстояниях: «конечно, из этого ничего не вышло, но сама практика этой работы дала мне очень много» [86, с. 19]. Студенческие опыты Хикса упоминались как единственная попытка прямого измерения скорости электромагнитного излучения в истории Кавендишской лаборатории (см. [112, с. 425—426]). Однако более существенной представляется их роль как индикатора статуса электромагнитной теории света в Кембридже в 1870-е гг. Свидетельства инженеров-электриков, работавших в то время в Кавендишской лаборатории, подтверждают впечатление, что доверие к этой теории зиждалось на программе точного измерения электромагнитных единиц. Например, вышеупоминавшийся Троттер, который впоследствии стал знаменитым инженером-электриком, — и чей брат Коутс Троттер (*Coutts Trotter*) был кембриджским «ранглером», учеником Гельмгольца и преподавателем физики в Тринити-колледже, — попросту отрицал какое-либо знакомство с «Трактатом» Максвелла в свою бытность в Кавендишской лаборатории в 1878—1879 гг. Он впервые прочел эту книгу позже, в 1880-е гг., унаследовав ее от брата (см. [92, с. 32]). Гордон (*J. E. H. Gordon*) — другой инженер-электрик, работавший в лаборатории в тот же период, дал основательный отзыв о программе измерения единиц в собственном трактате по электромагнетизму, впервые опубликованному в 1880 г. Он указывал на

\* См. [4, т. 2, с. 382—391], а также письма Максвелла к Дженкину от 22 июля и 18 ноября 1874 г. [111] (ср. с его письмом к Роуланду от 9 июля 1874 г. в [27, с. 268]).

практически полную невозможность измерить скорость электромагнитных возмущений и утверждал, что «непрямой метод сравнения единиц является с не меньшей определенностью мерой скорости возмущения и позволяет добиться куда большей точности, чем та, которую когда-либо можно ожидать от прямого метода» [77, т. 2, с. 224]\*.

Доверие к этой «точности» базировалось на терпеливом приумножении числа мест, где могли быть воплощены столь скрупулезные лабораторные практики. Представления о ценности последних распространялись вместе с комплектами сопротивлений, удостоверенными Кавендишской лабораторией. Летом 1877 г. кембриджские физики узнали от своего цюрихского коллеги Генриха Вебера (*Heinrich Weber*), что в своей новой программе опытов с использованием тепловых эффектов несущего ток сопротивления он продемонстрировал, что и Вильгельм Вебер, и Фридрих Колльрауш существенно ошиблись в своих прежних измерениях сопротивления. В мае следующего года Генрих Вебер попросил Максвелла прислать ему комплект проверенных стандартов сопротивления, и последний велел Кристалу отправить их стандартные упаковки в Цюрих, «сравнив их со стандартом Б[ританской] А[ссоциации] и определив их сопротивление при стандартной температуре»\*\*. Распространение таких комплектов способствовало подъему авторитета кембриджской системы. А когда лорд Рэлей и его помощники взялись за осуществление переработанной кембриджской программы определения стандартов после смерти Максвелла в 1879 г., к этому авторитету добавился мощный приток денег, времени и ресурсов, предназначенных для измерения и интернализации кембриджских единиц\*\*\*. Этому притоку в немалой степени способствовал и упоминавшийся выше Генри Роуланд. В период между летом 1877 г. и весной 1878 г. он проделал в Балтиморе серию новых опытов по определению абсолютного стандарта сопротивления, наматывая все катушки самостоятельно, используя очень качественную проволоку и получив результаты, которые довольно хорошо соответствовали пересмотренным стандартам Британской Ассоциации. Он сообщил Максвеллу, что его новый метод, использующий взаимную индукцию двух разделенных катушек, исключит силу земного магнетизма и потребует очень точного гальванометра собственного производства. Инструментальная мастерская Роуланда вскоре и в самом деле продемонстрировала свое превосходство. Максвелл указал ему на «вероятную ошибку сопротивления соединительных узлов (*connexions*)» и организовал сравнение омов фирмы *«Elliott Brothers»*, приобретенных Роуландом, с кембриджскими единицами. Фирма сообщила Роуланду, что «представляется весьма трудным определить, кто прав». Вдобавок у Роуланда были

\* О работе Гордона в Кавендишской лаборатории см. письмо Максвелла к Гордону (1879 г., точная дата неизвестна) [113], а также [114].

\*\* См. [115, с. 32], а также письма Г. Вебера к Максвеллу от 19 мая 1878 г. [116] и Максвелла к Кристалу от 17 июля 1878 г. [117].

\*\*\* О программе Рэлея см. [118, с. 109—120].

кое-какие плохие новости для Максвелла: «моя оценка [сопротивления], будучи введенной в полученные Томсоном и Максвеллом оценки отношения электромагнитной и электростатической единиц электричества, вызвала еще большее отклонение от его оценки, данной в максвелловской электромагнитной теории света». Роуланд мог добавить к этому лишь слабое утешение: «эксперименты по определению этого отношения еще не достигли наивысшей точности»\*.

Комментарии Роуланда были довольно любопытными. Он не подверг сомнению истинность максвелловской оценки, хотя его собственная работа поколебала авторитет последней. Роуланд продолжил свою программу определения единицы сопротивления в 1880-е гг., привлекая к работе своих студентов, истребовав 10 тыс. долларов на новые опыты и предлагая Кавендишской лаборатории оплатить доставку их катушек в Балтимор. В конце 1881 г., после Парижского электрического конгресса (*Paris Electrical Congress*) — важного мероприятия, на котором была предварительно утверждена Кембриджская программа определения стандартов сопротивления, Рэлей сообщал Роуланду, что «мы начинаем работы по сравнению единицы Б[ританской] А[ссоциации] со ртутной, и было бы хорошо, если бы и вы привели ваши абсолютные измерения к ртутной [единице]». Было нелегко согласовать на расстоянии кембриджские оценки с оценками, полученными в Университете Джонса Гопкинса Роуландом. Последний не смог обнаружить «никакой сколь-нибудь серьезной ошибки» в своих опытах. Он нуждался в совете Рэлея, «дабы установить причину расхождения между моими экспериментами и вашими собственными». Было много разговоров об обмене оборудованием с Кембриджем. Рэлей и Глейзбрук усомнились в целесообразности внедрения разновидностей балтиморских катушек в Кембридже: «мы не расположены предпринимать что-либо еще на этот счет, если — и до тех пор, пока — вы не подтвердите вашу прежнюю оценку». Однако Рэлей был готов «поделиться каркасом и врачающимися кольцами, применяемыми в методе Б[ританской] А[ссоциации]», при условии, если Роуланд оплатит издержки и гарантирует использование катушек. «Будет интересно узнать, к какому результату вы придете», — писал Рэлей летом 1883 г. Он даже предлагал Роуланду пари на 5 фунтов стерлингов, ставя на то, что балтиморский физик «получит для единицы Б[ританской] А[ссоциации] оценку, которая будет ближе к 0,970, чем к 0,991 [ома]»\*\*. Итог этим прениям был подведен инженерными кругами. Летом 1878 г. Уильям Айртон (*William E. Ayrton*) сообщил об опытах, проведенных им в Японии совместно с Джоном Перри (*John Perry*), в которых (для

\* См. [119, с. 282, 284], а также письма Роуланда к Максвеллу, написанные летом 1877 и летом 1879 гг. [120], письмо Максвелла к Роуланду от 22 апреля 1879 г. [121] и записную книжку Роуланда об «отношении электрических единиц, 1878—1880» [122].

\*\* См. письма Роуланда к Рэлею от 23 июня 1883 г. [123], Рэлея к Роуланду от 2 апреля 1882 г. и 20 августа 1883 г. [121], а также записную книжку Роуланда (данные о сравнении стандартов сопротивления, декабрь 1881 — январь 1882 гг.) [122].

уменьшения ошибок, свойственных катушечным методам) был использован модифицированный вариант конденсаторного метода Вебера и получена величина  $v = 29,8 \times 10^7$  метров в секунду. Айртона весьма заботило «точное коммерческое измерение электрических величин», и эта оценка  $v$  была получена в условиях телеграфной лаборатории. «Гарантом» электромагнитных измерений стали в данном случае коммерческие силы (см. [124, с. iii], [125, с. 93]). На следующий год эта оценка была подтверждена Хокином в серии тестов со стандартными конденсаторами, которые предполагалось использовать при проверке кабельных линий. Гальванометрические тесты разряда конденсаторов, предпринятые Хокином, осуществлялись четко в рамках проекта с целью установить «некоторый конденсатор или конденсаторы в качестве предварительного стандарта» для телеграфии; он определил для  $v$  значение около  $29,9 \times 10^7$  метров в секунду (см. [126]). В 1883 г. эту работу повторил кембриджский «ранглер» Дж. Дж. Томсон. Годом позже находившийся в то время в Балтиморе Уильям Томсон посчитал само собой разумеющимся, что самые последние оценки  $v$  и скорости света оказались почти идентичны (см. [15, с. 42]). В самом деле, на сей раз он заявил, что этот факт уже был установлен им самим тремя десятилетиями раньше, в его ранней работе о телеграфных сигналах\*. Однако он решительно возражал против того, что эта идентичность оправдывает утверждение, будто световые волны являются поперечными возмущениями в электромагнитном эфире. К началу 1880-х гг. казалось, что оценки  $v$  разбросаны вокруг среднего значения порядка  $29,6 \times 10^7$  метров в секунду, которое довольно хорошо соответствует величине Фуко —  $29,84 \times 10^7$ . Хотя астрономы продолжали спорить о скорости света — в особенности после того, как в 1874—1875 гг. Корню (*Cornu*) повторил в Париже опыты Физо (см. [128, 129]), последующие работы группы Дж. Дж. Томсона в Кавендишской лаборатории и А. А. Майкельсона в Кливленде по ее определению дали более надежные оценки благодаря развертыванию новых инженерных методик в таких областях, как интерферометрия и электротехника. Особенno существенное значение имел проект Майкельсона, связанный с идеей превратить световые волны в универсальные стандарты длины. Важным ресурсом для этого нового электромагнетизма была оптическая метрология\*\*.

Идентичность скорости света и отношения электростатической и электромагнитной единиц была установлена за тридцатилетний период работы международного сообщества инженеров и лабораторных специалистов. К тому времени как все участники этого предприятия согласились, что она установлена надежно, ее роль как главного свидетельства в пользу максвелловской теории сошла на нет в результате достижений Генриха Герца

\* В этой связи Томсон указывал на переписку со Стоксом в 1854 г. (см. [66]), а также свою работу 1860 г. «*Velocity of Electricity*» (Скорость электричества), впоследствии развитую в [127, с. 688—694].

\*\* Об интерферометрии Майкельсона как прикладной технологии см. [130].

(*Heinrich Hertz*). Задолго до достижения этого согласия в кругу кембриджских математиков и их коллег была развернута последовательная исследовательская программа, исходившая из идентичности двух величин как чего-то само собой разумеющегося. Некоторые из наиболее долговечных оценок и были получены людьми, относившимися к теории Максвелла отрицательно. Таким образом, строгость этой идентичности не была ни достаточным, ни необходимым фактором пополнения рядов приверженцев его теории. Скорее, она стала тем, что Людвиг Флек (*Ludwig Fleck*) назвал «эмблемой стойкости» (*signal of resistance*), общей для ряда исследовательских групп, — догмой, которая оказалась элементом общего предприятия и с которой соответствующее сообщество людей не могло легко расстаться (см. [131, с. 101—102]). Заметим, что последнее утверждение о коллективном характере ценностей, связанных с точностью, не является новинкой. Еще летом 1882 г., в своем выступлении перед Британской Ассоциацией, посвященном истории проекта создания абсолютных стандартов сопротивления, лорд Рэлей сурово заметил, что «стремление к большой точности порой играло пагубную роль. <...> Сопоставление оценок неопределенности, сделанных до и после проведения серии измерений, может иногда стать уничтожительным, но оно всегда поучительно» [132, с. 438]. Рэлей был признанным светилом точных измерений поздневикторианской эпохи. Когда в 1894 г. он объявил о существовании доселе неизвестного инертного газа, вспоминал Глейзбрук, «для меня было достаточно сообщения, что Рэлей обнаружил расхождение между плотностями химического азота, и азота, полученного из воздуха, чтобы знать, что дело именно в этом» (цит. по: [118, с. 419]). Сам Рэлей отмечал, что в истории определения абсолютной единицы сопротивления «расхождения» были вездесущими. В своем обзоре он упомянул о весьма несхожих попытках Вебера, Кольрауша, Томсона, Максвелла и Роуланда. «История науки со всей ясностью преподносит тот урок, что не следует полагаться на какой бы то ни было единственный метод» [132, с. 438]. Не случайно, что именно Рэлей, Глейзбрук и их коллеги сыграли ведущую роль в организации в 1900 г. первой британской национальной лаборатории, предназначеннной для развития точных измерений. Точные измерения явились результатом реорганизации практик работы и порядка управления в ряде типов учреждений. Критерии, которым должны были удовлетворять эти измерения, не оговаривались заранее, но устанавливались в ходе соответствующего проекта. Ярлык точности, присваиваемый любому измерению, обусловливался мерками культуры доверия внутри соответствующего сообщества и силой социальных связей между разнообразными и сложными общественными институтами.

Автор благодарен *Cambridge University Library, Imperial Colleges Archives, Eisenhower Library (Johns Hopkins University), Glasgow University Library* за разрешение цитировать хранящиеся в этих учреждениях документы, а также Питеру Харману (*Peter Harman*), Брюсу Ханту (*Bruce Hunt*) и Нортону Уайзу (*Norton Wise*).

*Перевод с английского Ю. Л. Менцина  
под редакцией А. Ю. Стручкова*

## Список литературы

1. *Wolsey, G.* The Soldier's Pocket Book. 5th ed. L.: Macmillan, 1886.
2. Cambridge University Library [далее — CUL] MSS ADD 7655 / II / 62.
3. *Maxwell, J. C.* Dimensions // Encyclopaedia Britannica. Edinburgh: Black, 1877. Vol. 7.
4. *Maxwell, J. C.* Treatise on Electricity and Magnetism. 3d ed. 2 vols. Oxford: Clarendon Press, 1891.
5. *Maxwell, J. C.* Dimensions of Physical Quantities // CUL MSS ADD 7655 / V h / 4.
6. *Jenkin, F.* Is one man's gain another man's loss? (1884) // *Idem.* Papers Literary and Scientific. L.: Longmans, Green, 1887. Vol. 2. P. 140—154.
7. *Herschel, J.* Preliminary Discourse on the Study of Natural Philosophy. L.: Longmans, 1830.
8. *Collins, H. M.* Artificial Experts: Social Knowledge and Intelligent Machines. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1990.
9. *Maxwell, J. C.* On Physical Lines of Force: Part 3 // Scientific Papers of James Clerk Maxwell. 2 vols. / Ed. by W. D. Niven. Cambridge: Cambridge University Press, 1890.
10. *Duhem, P.* Les Théories Electriques de J. C. Maxwell. P.: Hermann, 1902.
11. *Bromberg, J.* Maxwell's Displacement Current and his Theory of Light // Archive for History of Exact Sciences. 1967. Vol. 4. P. 218—234.
12. *Chalmers, A. F.* Maxwell's Methodology and his Application of it to Electromagnetism // Studies in History and Philosophy of Science. 1973. Vol. 4. P. 107—164.
13. *d'Agostino, S.* Weber and Maxwell on the Discovery of the Velocity of Light // On Scientific Discovery / Ed. by M. D. Grmek et al. Dordrecht: Reidel, 1980. P. 281—293.
14. *Siegel, D. L.* Innovation in Maxwell's Electromagnetic Theory. Cambridge: Cambridge University Press, 1991.
15. *Thomson, W.* Notes of Lectures on Molecular Dynamics and the Wave Theory of Light // Kelvin's Baltimore Lectures and Modern Theoretical Physics / Ed. by R. Kargon and P. Achinstein. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1987.
16. *Smith, C. and Wise, N.* Energy and Empire: a Biographical Study of Lord Kelvin. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.
17. *Hunt, B.* The Maxwellians. Ithaca: Cornell University Press, 1991.
18. *Thomson, W.* Popular Lectures and Addresses. 3 vols. L.: Macmillan, 1889—1894.
19. Report of the Committee appointed by the British Association on Standards of Electrical Resistance // British Association Reports. 1863. P. 111—124.
20. *Maxwell, J. C.* and *Jenkin, F.* On the Elementary Relations between Electrical Measurements // British Association Reports. 1863. P. 130—163.
21. *d'Agostino, S.* Experiment and Theory in Maxwell's Work // *Scientia.* 1978. Vol. 113. P. 469—480.
22. *Thompson, S. P.* Life of Lord Kelvin. 2 vols. L.: Macmillan, 1910.
23. *Schaffer, S.* A Manufactory of Ohms: Late Victorian Metrology and its Instrumentation // Invisible Connexions / Ed. by S. Cozzens and R. Bud. Bellingham: SPIE, 1992. P. 23—56.
24. *Rowland, H. A.* Research on the Absolute Unit of Electrical Resistance // American Journal of Science. 1878. Vol. 15. P. 281—291, 325—336, 430—439.
25. *Wilson, D. B.* Kelvin and Stokes. Bristol: Hilger, 1987.
26. *Knudsen, O.* Mathematics and Physical Reality in William Thomson's Electromagnetic Theory // Wranglers and Physicists / Ed. by P. M. Harman. Manchester: Manchester University Press, 1985. P. 149—179.
27. *Reingold, N.* Science in Nineteenth Century America. Chicago: Chicago University Press, 1964.
28. *Rezneck, S.* An American Physicist's Year in Europe: Henry A. Rowland, 1875—1876 // American Journal of Physics. 1962. Vol. 30. P. 877—886.
29. [Jenkin, F.] Report of the Committee on Standards of Electrical Resistance // British Association Reports. 1864. P. 345—349.
30. *Jenkin, F.* Electrical Standard // Philosophical Magazine. 1865. Vol. 29. P. 248.

31. *Hunt B.* The Ohm is where the Art is: British Telegraph Engineers and the Development of Electrical Standards // *Osiris*. 2d series. 1994. Vol. 9. P. 48—63.
32. *Hopley, I.* Maxwell's Work on Electrical Resistance: the Determination of the Absolute Unit of Resistance // *Annals of Science*. 1957. Vol. 13. P. 265—272.
33. *Scientific Papers of James Clerk Maxwell*. 2 vols. / Ed. by W. D. Niven. Cambridge: Cambridge University Press, 1890.
34. Glasgow University Library [далее — GUL] MSS Kelvin M13.
35. GUL MSS Kelvin M14.
36. CUL MSS ADD 8385 no. 10.
37. CUL MSS ADD 7655 Vc9, V/c 12.
38. *Siemens, W.* On the Question of the Unit of Electrical Resistance // *Philosophical Magazine*. 1866. Vol. 31. P. 328.
39. *Siemens, W.* Inventor and Entrepreneur: Recollections. 2d ed. L.: Lund Humphries, 1966.
40. *Jenkin, F.* New Unit of Electrical Resistance // *Philosophical Magazine*. 1865. Vol. 29. P. 477—486.
41. *Kohlrausch, F.* Determination of the Absolute Value of the Siemens Mercury Unit of Electrical Resistance // *Philosophical Magazine*. 1874. Vol. 47. P. 294—309, 342—354.
42. *Jungnickel, C. and McCormach, R.* Intellectual Mastery of Nature: Theoretical Physics from Ohm to Einstein. 2 vols. Chicago: University of Chicago Press, 1986.
43. *Cahan, D.* The Institutional Revolution in German Physics, 1865—1914 // *Historical Studies in Physical Sciences*. 1985. Vol. 15. P. 1—65.
44. *Olesko, K.* Physics as a Calling: Discipline and Practice in the Königsberg Seminar for Physics. Ithaca: Cornell University Press, 1991.
45. *Miller, J. D.* Rowland and the Nature of Electric Currents // *Isis*. 1972. Vol. 63. P. 5—27.
46. *Rowland, H.* Diary of European Tour // Johns Hopkins University, Milton S. Eisenhower Library Special Collections [далее — EL], Rowland MSS Box 22.
47. *Rowland, H.* Note on Kohlrausch's Determination of the Absolute Value of the Siemens Mercury Unit of Electrical Resistance // *Philosophical Magazine*. 1875. Vol. 50. P. 161—163.
48. *Buchwald, J. Z.* From Maxwell to Microphysics: Aspects of Electromagnetic Theory in the Last Quarter of the Nineteenth Century. Chicago: University of Chicago Press, 1985.
49. *Cahan, D.* Kohlrausch and Electrolytic Conductivity // *Osiris*. 1989. Vol. 5. P. 167—185.
50. *Максвелл, Дж. К.* Статьи и речи. М.: Наука, 1968.
51. Report of the Electrical Standards Committee Appointed by the Board of Trade // *British Association Reports*. 1891. P. 154—160.
52. Maxwell to Tyndall, 23 July 1968 // Imperial College London MSS, archives.
53. *Campbell, L. and Garnett, W.* Life of Maxwell. L., 1884.
54. *Kirchhoff, G.* On the Motion of Electricity in Wires // *Philosophical Magazine*. 1857. Vol. 13. P. 393—412.
55. *The Scientific Letters and Papers of James Clerk Maxwell* / Ed. by P. M. Harman. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
56. CUL MSS ADD 7655 Vn/l, p. 44 ff.
57. GUL Kelvin MSS W4.
58. [Jenkin, F.] Provisional Report of the Committee appointed by the British Association on Standards of Electrical Resistance // *British Association Reports*. 1862. P. 125—135.
59. Kirchhoff to Jenkin, 8 June 1862 // *British Association Reports*. 1862. P. 151.
60. *Revue scientifique et industrielle*. 1849. Vol. 5. P. 393—396.
61. *Haughton, S. and Galbraith, J.* Manual of Astronomy. L.: Longman, 1855.
62. *Fizeau, H.* Sur une expérience relative à la vitesse de la propagation de la lumière // *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*. 1849. Vol. 29. P. 90—92.
63. *Foucault, L.* Determination expérimentale de la vitesse de la lumière (1862) // *Receuil des Travaux Scientifiques de Leon Foucault* / Ed. by C. M. Gariel. P.: Gauthier-Villars, 1878. P. 216—226.

- 
64. *Herschel, J.* On Light: Part 1 (1864) // *Idem.* Familiar Lectures. P. 219—267.
65. *Clerke A. M.* A popular history of astronomy during the nineteenth century. 4th ed. L.: Black, 1902.
66. CUL MSS ADD 7656 K74, K78.
67. *Hunt, B.* Michael Faraday, Cable Telegraphy and the Rise of Field Theory // History of Technology. 1991. Vol. 13. P. 1—19.
68. CUL MSS ADD 7655 / II / 31.
69. *Morus, I.* Currents from the Underworld: Electricity and the Technology of Display in Early Victorian England // *Isis.* 1993. Vol. 84. P. 50—69.
70. *Maxwell, J. C.* Experiments on the Value of  $v$ , the Ratio of the Electromagnetic to the Electrostatic Unit of Electricity // British Association Report. 1869. P. 436—438.
71. GUL MSS Kelvin M16, M18.
72. CUL MSS ADD 7655 / II / 22A.
73. *Hopley, I. B.* Maxwell's Determination of the Number of Electrostatic Units in one Electromagnetic Unit of Electricity // *Annals of Science.* 1959. Vol. 15. P. 91—108.
74. *McKichan, D.* Determination of the Number of Electrostatic Units in the Electromagnetic Unit // *Philosophical Transactions.* 1873. Vol. 163. P. 409—427.
75. *King, W.* Description of Sir William Thomson's Experiments made for the Determination of  $v$  // British Association Report. 1869. P. 434—435.
76. CUL MSS ADD 7656 RS 929.
77. *Gordon, J. E. H.* A Physical Treatise on Electricity and Magnetism. 3d ed. 2 vols. L.: Sampson Low, Marston, Searle and Rivington. 1891.
78. CUL MSS ADD 7655 / II / 30.
79. CUL MSS ADD 7655 / II / 77, 241—242.
80. CUL MSS ADD 7655 / V i / 12.
81. CUL MSS ADD 7655 / II / 77.
82. CUL MSS ADD 7655 / V j / 3 (29 May 1876).
83. CUL MSS ADD 7655 / II / 113.
84. Cambridge University Reporter (15 May 1877).
85. CUL MSS ADD 8375 f. 14.
86. History of the Cavendish Laboratory 1871—1910. L.: Longmans, Green, 1910.
87. CUL MSS ADD 7655 / II / 165.
88. *Hilken, T. J. N.* Engineering at Cambridge University 1783—1965. Cambridge: Cambridge University Press, 1967.
89. *Cattermole, M. J. and Wolfe, A. F.* Horace Darwin's Shop. Bristol: Adam Hilger, 1987.
90. *Lyall, K.* Electrical and Magnetic Instruments. Cambridge: Whipple Museum of the History of Science, Catalogue 8, 1991.
91. *Chrystal, G. and Saundar, S. A.* Results of a Comparison of the British-Association Units of Electrical Resistance // British Association Reports. 1876. P. 13—19.
92. *Trotter, A. P.* Elementary Science at Cambridge 1876—1879 // Cavendish Laboratory 82. T. 2 (written 1945).
93. *Hopley, I. B.* Maxwell's Work on Electrical Resistance—Proposals for the Redetermination of the BA Unit of 1863 // *Annals of Science.* 1958. Vol. 14. P. 197—210.
94. CUL MSS ADD 7655 / II / 123.
95. CUL MSS ADD 8375 f. 4.
96. CUL MSS ADD 7655 / II / 150.
97. *Fleming, A.* Some memories // James Clerk Maxwell: a Commemoration Volume. Cambridge, 1931. P. 116—124.
98. CUL MSS ADD 7655 / II / 159.
99. CUL MSS ADD 8375 f. 16.
100. Cambridge University Reporter (2 April 1878).
101. CUL MSS ADD 7655 / II / 134, 159.

102. CUL MSS ADD 8375 no. 11.
103. CUL MSS ADD 8375 no. 3.
104. CUL MSS ADD 8375 no. 6.
105. CUL MSS ADD 8375 no. 16.
106. CUL MSS ADD 7655 / II / 161-162.
107. CUL MSS ADD 7655 / V j / 3 (2 August 1877).
108. CUL MSS ADD 7655 / II / 183.
109. *Galison, P.* How Experiments End. Chicago: Chicago University Press, 1987.
110. *Glazebrook, R. T.* Early Days at the Cavendish Laboratory // James Clerk Maxwell: a Commemoration Volume. Cambridge: Cambridge University Press, 1931. P. 130—141.
111. CUL MSS ADD 7655 / II / 241, 242.
112. *Simpson, T. K.* Maxwell and the Direct Experimental Test of his Electromagnetic Theory // *Isis*. 1966. Vol. 57. P. 411—432.
113. CUL MSS ADD 7655 / II / 217.
114. *Gordon, J. E. H.* On the Determination of Verdet's Constants in Absolute Units // *Philosophical Transactions*. 1877. Vol. 167. P. 1—34.
115. *Weber, H.* Electromagnetic and Calometric Absolute Measurements // *Philosophical Magazine*. 1878. Vol. 5. P. 30—43, 126—139, 189—197.
116. CUL MSS ADD 7655 / II / 154.
117. CUL MSS ADD 8375 no. 18.
118. *Strutt, R.* Life of John Strutt, third Baron Rayleigh. 2d ed. Madison: University of Wisconsin Press, 1968.
119. *Rowland, H. A.* Research on the Absolute Unit of Electrical Resistance // *American Journal of Science*. 1878. Vol. 15. P. 281—291, 325—326, 430—439.
120. CUL MSS ADD 7655 / II / 105, 192.
121. EL, Rowland MSS 6.
122. EL, Box 25, Rowland MSS 6.
123. Imperial College London MSS Rayleigh Correspondence.
124. *Ayrton, W. E.* Practical Electricity. 6th ed. L.: Cassell, 1894.
125. *Gooday, G.* Teaching Telegraphy and Electrotechnics in the Physics Laboratory: William Ayrton and the Creation of an Academic Space for Electrical Engineering in Britain 1873—1884 // *History of Technology*. 1991. Vol. 13. P. 73—111.
126. *Hockin, C.* Note on the Capacity of a Certain Condenser and on the Value of  $v$  // *British Association Reports*. 1879. P. 285—290.
127. *Thomson, W.* Baltimore Lectures on Molecular Dynamics and the Wave Theory of Light. L.: Clay, 1904.
128. *Cornu, A.* Determination of the Velocity of Light and of the Sun's Parallax // *Nature*. Vol. 11 (4 February 1875). P. 274—276.
129. *de Kericuff, H.* Sur la vitesse de la lumiere et la parallaxe du soleil // *Les Mondes*. 1875. Vol. 36. P. 372—374.
130. *Stapleton, D. H.* The Context of Science: the Community of Industry and Higher Education in Cleveland in the 1880s // *The Michelson Era in American Science 1870—1930* / Ed. by S. Goldberg and R. H. Steuwer. N. Y.: American Institute of Physics, 1988. P. 13—22.
131. *Fleck, L.* Genesis and Development of a Scientific Fact. Chicago: Chicago University Press, 1979.
132. *Lord Rayleigh.* Address to the Mathematical and Physical Sciences Section // *British Association Reports*. 1882. P. 437—441.

## Календарь юбилейных дат

175

лет со дня рождения *Грегора Иоганна Менделея* (22.VII.1822–6.I.1884), естествоиспытателя, основоположника учения о наследственности, положившего начало генетике как науке. Род. в Хайнцендорфе, Австро-Венгрия (ныне Гинчице, Чехия). Окончил философские классы при ун-те в Ольмюце (1843). С 1843 монах Августинского монастыря в Брюнне (с 1868 настоятель). С 1848 преподавал естественную историю и физику. В 1851–1853 вольнослушатель Венского ун-та. В 1856–1863 провел опыты по гибридизации гороха. Путем количественного учета всех полученных гибридов с помощью вариационно-статистического подхода впервые обосновал и сформулировал закономерности свободного расхождения и комбинирования наследственных факторов (з-ны Менделея). Его открытия привлекли внимание в 1900, когда Х. Де Фриз, К. Корренс и Э. Чермак почти одновременно убедились в справедливости выводов Менделея.

125

лет со дня рождения *Бертрана Рассела* (18.V.1872–2.II.1970), английского философа, логика, математика, социолога, общественного деятеля, чл. Лондонского королевского об-ва (1908). Род. в Треллеке (Уэльс). Окончил Тринити-колледж Кембриджского ун-та (1894). В 1910–1916 профессор Кембриджского ун-та, преподавал в ун-тах Великобритании и США. Создатель концепции логического атомизма, основоположник логического анализа философии. Занимался философскими вопросами математики. Открыл один из парадоксов теории множеств (парадокс Рассела), что привело его к построению оригинального варианта аксиоматической теории множеств и к последующей попытке сведения математики к логике. Предложил

оригинальную теорию дескрипций. Удостоен Нобелевской премии по литературе (1950). Один из инициаторов Пагушского соглашения.

125

лет со дня рождения *Михаила Семеновича Цвета* (14.V.1872–26.VI.1919), русского биохимика и ботаника-физиолога. Род. в Асти (Италия). Окончил Женевский ун-т (1893). С 1896 работал в Лаб-и анатомии и физиологии растений Петербургской АН, с 1902 в Варшавском ун-те, с 1908 в Варшавском политехническом ин-те, с 1917 в Воронежском, с 1918 в Юрьевском ун-те. Основные научные исследования посвящены разработке отправных положений хроматографического анализа. В 1903 открыл явление хроматографии и разработал хроматографический метод разделения и анализа смесей.

100

лет со дня рождения *Одда Хасселя* (17.V.1897–11.V.1981), норвежского физикохимика, чл. Норвежской АН (с 1933). Род. в Осло. Окончил ун-т в Осло (1920). Работал в Мюнхенском ун-те у К. Фаянса (1922–1923) и в Ин-те физической химии и электрохимии кайзера Вильгельма в Берлине (1923–1924). В 1925–1964 в ун-те в Осло (с 1934 профессор). Основные работы посвящены стереохимии органических соединений. Разработал основы конформационного анализа. Развил метод электронографии и примененил его для исследования молекул сложных веществ. Удостоен Нобелевской премии по химии (1969, совм. с Д. Г. Р. Бартоном) за «вклад в развитие конформационного анализа и его применение в химии». Его работы послужили фундаментом для создания динамической стереохимии.