

Открытия и предчувствия физика Вильгельма Вебера

кандидат физико-математических наук Б.В.Булюбаш

Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е.Алексеева
(Нижний Новгород, Россия)

Историко-научный анализ биографии немецкого физика В.Э.Вебера (1804–1891). Рассмотрена его совместная работа с Гауссом по изучению магнитного поля Земли, в том числе его вклад в разработку приборов для измерения параметров земного магнитного поля. Эти ученые разработали абсолютную систему единиц, в которой все измеряемые величины выражались через единицы времени, массы и длины. Обсуждается историческое значение «закона силы» Вебера. В контексте рассказа об эксперименте Вебера–Кольрауша отмечен его основной результат: совпадение со скоростью света в вакууме отношения единиц электрического заряда в двух системах единиц измерения. Этот эксперимент стал первым указанием на близость теории света и теории электромагнитных явлений. И для Вебера, и для Максвелла был в равной степени актуален вопрос об электрической природе светового эфира. Вебера не следует рассматривать как безусловного сторонника принципа дальнодействия. Рассмотрена дискуссия Гельмгольца и Вебера, в ходе которой Вебер выдвинул гипотезу о существовании предельной скорости и предвосхитил основные положения электронной теории. Отмечено влияние закона силы Вебера на развитие теории гравитации в дорелятивистский период. Указано, что сторонники одного из направлений в современной теории гравитации связывают с работами Вебера (и электродинамикой дальнодействия в целом) предвосхищение некоторых положений теории прямого межчастичного взаимодействия.

Ключевые слова: Вебер, Гаусс, Гельмгольц, абсолютная система единиц, дальнодействие, магнитное поле Земли, электронная теория, скорость света.

Сто шестьдесят лет назад — в 1857 г. — в «Трудах Королевского саксонского научного общества» была напечатана статья В.Вебера и Р.Г.А.Кольрауша [1] с подробным описанием эксперимента, выполненного ими в 1855 г. В эксперименте измерялось отношение единиц силы тока в двух разных системах единиц измерения; было показано, что по порядку величины оно (отношение) совпадает со скоростью света в вакууме. Это обстоятельство сделало эксперимент Вебера–Кольрауша одним из ключевых событий истории физики позапрошлого столетия. Дж.К.Максвелл писал: *Единственным применением света в этих опытах было использование его для того, чтобы видеть инструменты. Значение скорости света, найденное Фуко, было получено путем определения угла, на который поворачивается вращающееся зеркало, пока отраженный им свет прошел туда и обратно вдоль измеренного пути. При этом никак не пользовались электричеством и магнетизмом* [2, с.90].

Вильгельм Вебер родился 24 октября 1804 г. в семье профессора теологии Виттенбергского университета Микаэля Вебера. Из 12 детей до зрелого возраста дожили только сестра и четыре брата. Старший брат стал министром, трое остальных братьев — университетскими профессорами.



Вильгельм Эдуард Вебер. Литография Р.Хоффмана, 1856 г. Галерея знаменитых натуралистов в Вене.

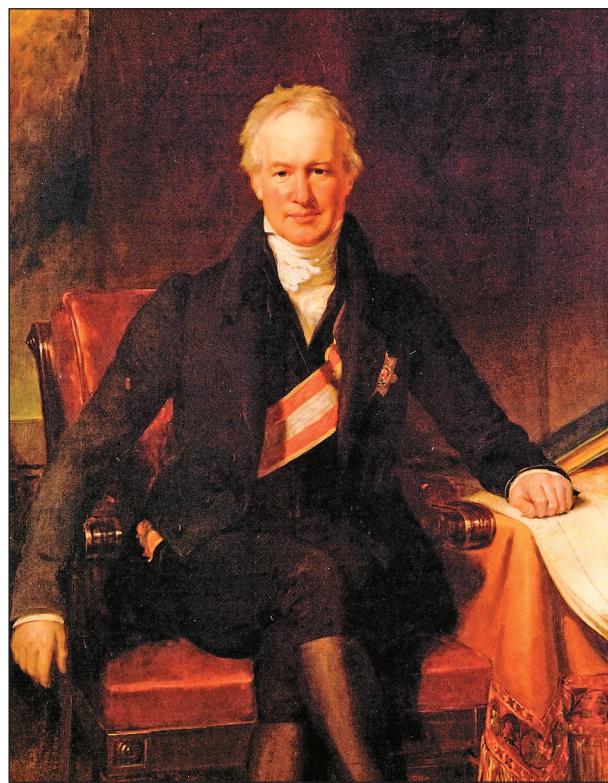
Анатом и физиолог Эрнст Генрих (Вильгельм младше его почти на 10 лет) был профессором Лейпцигского университета. В том же университете работал и младший брат Эдуард. Что же касается Вильгельма, то он всю свою жизнь (за исключением периодов 1826–1831 и 1843–1849 гг.) работал в Гётtingене.

В 1814 г. семья Веберов покидает Виттенберг в связи с утверждением отца профессором теологии Университета г. Галле. В 1822 г. в этот университет поступает Вильгельм Вебер, а уже через три года выходит в свет трактат братьев Вильгельма и Эрнста Веберов «Учение о волнах, основанное на эксперименте». В нем описывались многочисленные опыты по изучению волн на воде и звуковых волн. Характеризуя содержание трактата братьев Веберов, Ф. Розенбергер особо выделяет их приверженность волновой теории света [3, с. 240–244].

В 1826 г. Вебер окончил Университет Галле, его выпускная диссертация была посвящена теории органных труб. В 1828 г. он начал работать в *alma mater*, сначала в должности лектора, а затем в должности ассистента профессора. Уже в первые два года работы в университете Вильгельм Вебер опубликовал четыре статьи в «Annalen der Physik und Chemie» — одном из ведущих физических журналов того времени. В сентябре 1828 г. в его жизни происходит важное событие: вместе со своим братом Эрнстом он принимает участие в седьмой конференции Общества немецких естествоиспытателей и врачей, организатором которой был выдающийся немецкий естествоиспытатель А. фон Гумбольдт. Сделанный Вебером на конференции доклад о теории органных труб был замечен и А. фон Гумбольдтом, и К. Ф. Гауссом — великим немецким математиком, профессором Гётtingенского университета и директором университетской астрономической обсерватории. Их интерес к работам молодого физика из Галле был связан с началом масштабного проекта по изучению магнитного поля Земли.

В апреле 1831 г. в Гётtingенском университете появилась вакансия профессора физики. По инициативе Гаусса эту должность предлагают Веберу, который принял предложение и 15 сентября 1831 г. приехал в Гётtingен; с этого дня началось плодотворное сотрудничество (и дружба) Вебера и Гаусса. Гаусс был достаточно компетентен как физик-экспериментатор, а Вебер как математический физик, но при этом в их творческом союзе Гаусс был в первую очередь теоретиком, а Вебер — экспериментатором.

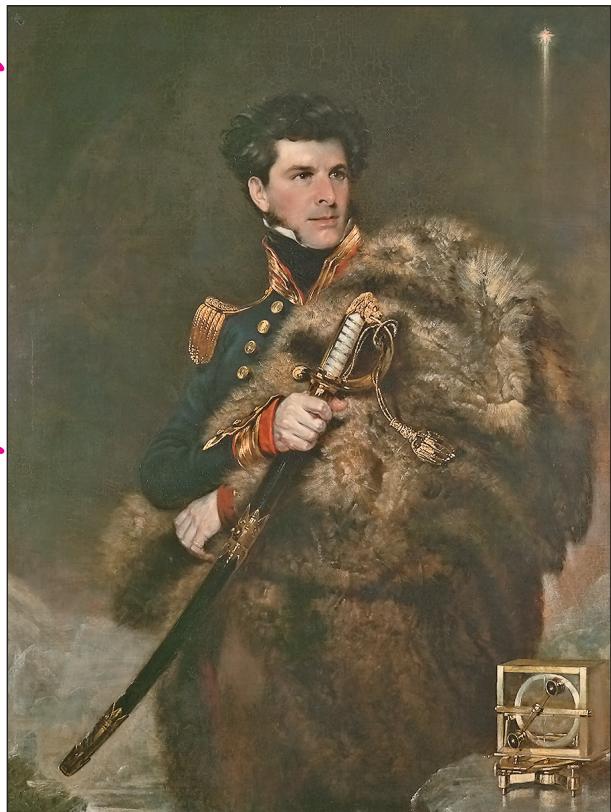
В конце 1832 г. завершился первый этап совместной работы Вебера и Гаусса, посвященной магнитным измерениям. В том же году на заседании Королевского ученого общества в Гётtingене Гаусс рассказал о результатах работы в докладе «Интенсивность магнитной силы, приведенная к абсолютной мере». В нем ученый впервые в качестве



Александр фон Гумбольдт. Портрет кисти Г. В. Пикерсгилла, 1831 г. Коллекция картин в георгианском особняке Парк Базилдон в Беркшире (Англия).



Карл Фридрих Гаусс. Портрет кисти К. А. Йенсена, 1840 г. Архив Берлинско-Бранденбургской академии наук.



Джеймс Кларк Росс. Портрет кисти Дж.Р. Вилмана, 1834 г. Национальный морской музей в Гринвиче, Лондон.

основных единицы длины, массы и времени использовал миллиметр, миллиграмм и секунду [4]. Рассматривая эти единицы как абсолютные, Гаусс использовал их для определения немеханических величин. Единица магнетизма в такой системе определяется в соответствии с законом Кулона для взаимодействия «магнитных масс» в пустоте, а единица электричества — в соответствии с законом Кулона для взаимодействия «электрических масс». Использование рациональной системы единиц означало, что измерения интенсивности магнитного поля сводятся в конечном счете к измерению длины, времени и массы. Тем самым они становятся воспроизводимыми и сравнимыми, благодаря чему исчезает необходимость в специальной калибровке инструментов в каждом отдельном случае.

Программу измерений магнитного поля Земли координировало основанное Гауссом и Вебером гёттингенское Магнитное общество. В рамках этой масштабной программы (ее с полным основанием можно считать первым международным научным проектом) в разных районах земного шара в специально сооружаемых магнитных обсерваториях (и с помощью сконструированных Гауссом и Вебером магнитометров) проводились измерения параметров земного магнитного поля. Они позволяли вносить корректизы в разрабо-

танную Гауссом теорию земного магнетизма. В соответствии с расчетами Гаусса был, в частности, проложен маршрут арктической экспедиции Дж.К.Росса, стартовавшей в 1831 г. Одной из ее целей было определение координат северного магнитного полюса Земли. Точное местоположение полюса было установлено 1 июня 1831 г.

В 1834 г. только в Европе функционировало 23 магнитных обсерватории. Сопоставление поступающей из них информации позволило, в частности, установить существование магнитных бурь. В 1836–1841 гг. вышли в свет шесть выпусков сборника «Результаты наблюдений Магнитного общества»; среди прочего в них были опубликованы 15 статей Гаусса и 23 Вебера, а также (в выпуске 1840 г.) созданный ими совместно «Атлас земного магнетизма». Отметим, что в выпуске 1840 г. упомянуты магнитные обсерватории, функционировавшие в Западной Европе (Гринвич, Дублин, Лейпциг, Марбург, Берлин, Бреслау, Гейдельберг, Стокгольм), в Российской империи (Хельсингфорс, Санкт-Петербург, Москва, Киев, Казань, Барнаул, Нерчинск, Николаев, Тифлис), а также в США (Филадельфия), в Китае (Пекин) и в Канаде (Торонто). На территории Российской империи магнитные и метеорологические обсерватории были построены по инициативе Гумбольдта, посетившего Россию в 1829 г.

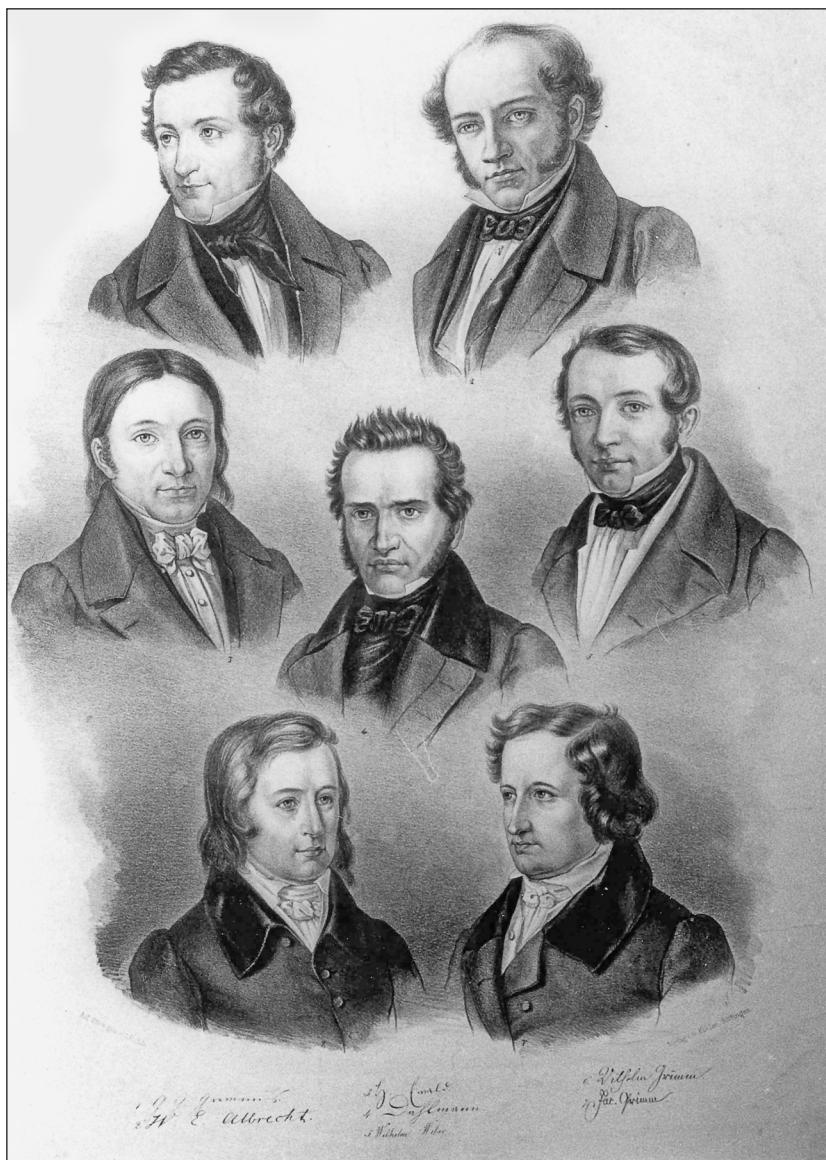
С Россией Вебера связывали не только данные, получаемые из магнитных обсерваторий. Так, в биографии известного российского физика немецкого происхождения Бориса Семеновича (Морица Германа) Якоби упоминается о его контактах с Вебером. В 1842 г. Якоби разработал регулятор электрического тока (реостат). Для практического использования регулятор нуждался в градуировке, в связи с чем Якоби разработал собственный эталон сопротивления — отрезок медной проволоки длиной 25 футов (7.62 м), массой 345 гран (22.4493 г) и диаметром 0.75 мм. При температуре 0°C сопротивление такого эталона составляло приблизительно 6.3 Ом. Советский историк науки А.В.Яроцкий писал: Якоби *впоследствии не без успеха пытался этот эталон распространять в Германии через В.Вебера*, замечая, что Вебер *не только сам пользуется в своей работе разработанным Якоби эталоном сопротивления, но побудил к этому еще два десятка других ученых* [5, с.168].

Гаусс и Вебер занимались не только фундаментальной наукой. В 1833 г. под их руководством в Гёттингене была построена одна из первых в мире линий электрического телеграфа. Эта линия протяженностью в 9 тыс. футов (около 2700 м) соединяла физическую лабораторию и университетскую астрономическую обсерваторию. В начале 1833 г. по телеграфу были переданы первые слова, а вскоре — целые предложения. Прекрасно сознавая перспективность электрического телеграфа как средства связи, Гаусс тем не менее не

смог убедить в этом ни правительство, ни промышленников. В итоге линия функционировала лишь до 1845 г., когда во время сильной грозы телеграф был сильно поврежден и после этого уже не восстановлен.

Успешное сотрудничество Гаусса и Вебера прервали политические события. В 1837 г., после коронации в Великобритании королевы Виктории, в Ганновере пришел к власти ее дядя Эрнст Август, одним из своих первых указов отменивший либеральную конституцию 1833 г. В ответ на это семь профессоров Гёттингенского университета опубликовали совместное письмо протеста. Одним из подписавших было Вильгельм Вебер. В «гёттингенскую семерку» входили также знаменитые филологи братья Якоб и Вильгельм Гримм. Все семеро были немедленно уволены с занимаемых ими должностей; при этом троим (и в их числе Веберу) было разрешено остаться в Гёттингене. После увольнения из университета Вебер продолжил свою работу в Магнитном обществе. Гаусс и Гумбольдт пытались убедить короля отменить указ о его увольнении. Король, однако, требовал от Вебера публичного отказа от своей подписи, что для ученого было неприемлемо.

Вебер продолжал работать в Гёттингене до 1843 г. В том году появилась вакансия на кафедре физики Университета Лейпцига (профессорами которого, напомню, были его братья Эрнст Генрих и Эдуард). Профессором этой кафедры был близкий друг Вильгельма Вебера — Густав Фехнер. В истории физики Фехнер и Вебер известны своими идеями об атомистической природе электричества. Согласно их взглядам, электрическая материя была не непрерывной, а дискретной субстанцией и состояла из элементарных «электрических масс». Фехнер занимался не только физикой, он проводил многочисленные психофизиологические эксперименты (в ходе которых ему и Эрнесту Веберу удалось, в частности, установить первый закон экспериментальной психофизиологии — закон Вебера—Фехнера). В ходе таких экспериментов Фехнер повредил зрение, ушел в отставку и переключился на занятия философией и психологией. Освобо-



«Гёттингенская семерка»: В. и Я. Гримм (верхний ряд), В. Э. Альбрехт, Ф. К. Дальман и Г. Г. Гервинус (средний ряд), В. Э. Вебер и Г. Г. А. Эвальд. Литография К. Рохде, 1837–1838 гг. Городской музей Гёттингена.

дившаяся должность профессора физики была предложена Веберу.

Именно в Лейпциге Вебер сформулировал идею закона взаимодействия «электрических масс», который, как он считал, должен заменить закон Кулона. Согласно этому закону, сила взаимодействия «электрических масс» зависит не только от расстояния между ними, но и от их относительной скорости и относительного ускорения. Первая формулировка закона Вебера появляется в 1846 г. в первом томе трудов Вебера, издававшихся под общим названием «Электродинамические определения». Перед отправкой статьи в печать Вебер послал ее на отзыв Гауссу. В письме от 18 марта 1845 г. Гаусс, положительно оценивая на-



Памятник Гауссу и Веберу в Гётtingене. Монумент работы К.Ф.Харцера, 1899 г.

чатую Вебером работу, указал на необходимость вывода дополнительной силы, которая добавляется к взаимному действию покоящихся электрических частиц, если они находятся в относительном движении, из не мгновенно, но (подобным свету образом) во времени распространяющегося действия [6, с.627]. Отвечая Гауссу, Вебер написал: *Несомненно, объяснение, предполагающее постепенное распространение действия, было бы прекраснейшим решением загадки* [7, р.109]. Реплики Гаусса и Вебера свидетельствуют, что относить имя Вебера с безусловным признанием принципа дальнодействия не вполне корректно.

В 1849 г. Вебер получил возможность вернуться в Гётtingен. Там сформировался новый творческий союз — на этот раз с физиком Колльраушем. Главным итогом их сотрудничества стал упоминавшийся выше эксперимент по измерению отношения единиц тока в двух разных системах единиц.

Важное место в дальнейшей научной биографии Вебера занимает дискуссия с одним из авторов закона сохранения энергии — известным не-

мецким физиком Г.Л.Ф.Гельмгольцем. Затронувшая весьма важные физические проблемы, дискуссия Гельмгольца и Вебера проходила в 70-х годах XIX в. Характеризуя ее в целом, Ю.А.Любимов замечает: *...В длительной научной дискуссии двух известных немецких физиков не было побежденного или победителя: спор в конце концов прекратился как-то «сам собой»* [8, с.153]. При всем том одним из ее последствий можно считать выбор названия для единицы силы тока. В 1881 г. в Париже проходил Первый всемирный электротехнический конгресс, на котором руководитель немецкой делегации Гельмгольц выступил с предложением назвать единицу силы тока «ампер» — при том, что де-факто на тот момент времени большинство физиков связывали название единицы силы тока исключительно с именем Вебера. Однако в силу авторитета Гельмгольца в научном сообществе был принят его вариант. Не исключено, впрочем, что предложение Гельмгольца назвать единицу силы тока в честь французского физика было вызвано не спором с Вебером, а с желанием авторитетного немецкого ученого внести посильный вклад в снижение напряженности между Германией и Францией после недавней Франко-пруссской войны [8, с.160].

Следует принять во внимание и пошатнувшийся к тому времени авторитет Вебера из-за его участия в сеансах американского медиума Г.Слэйда. Поклонником Слэйда и организатором сеансов был лейпцигский астрофизик и друг В.Вебера К.Ф.Цёлльнер. Историческая справедливость в признании заслуг Вебера в развитии электродинамики была восстановлена только в 1935 г., с принятием решения назвать в его честь единицу магнитного потока в системе СИ.

По поводу дискуссии Гельмгольца и Вебера Любимов также отметил, что физики, в той или иной степени принимавшие в ней участие, *не всегда были достаточно корректны по отношению друг к другу* [8, с.163]. Возможно, именно поэтому острая той дискуссии ощущалась и уже после ее формального окончания в 1881 г. Так, в 1887 г. Гётtingенское философское общество по итогам конкурса присудило вторую премию трактату М.Планка о принципе сохранения энергии. Скорее всего, это было связано с критическими замечаниями в трактате в адрес электродинамики Вебера.

Вебер ушел из жизни в возрасте 86 лет. Современники вспоминают его как скромного и дружелюбного человека, любившего ездить верхом и совершать продолжительные пешие прогулки. Он не был женат, и хозяйство в его доме вела сначала его сестра, а позднее его племянница.

Рассмотрим ниже подробно основные научные достижения Вебера.

Закон силы. Согласно закону Вебера, сила взаимодействия движущихся электрических зарядов определяется (в современной записи) формулой:

$$F = \frac{q_1 q_2}{r^2} \left(1 - \frac{(dr/dt)^2}{c_w^2} + \frac{2r}{c_w^2} \frac{d^2 r}{dt^2}\right)$$

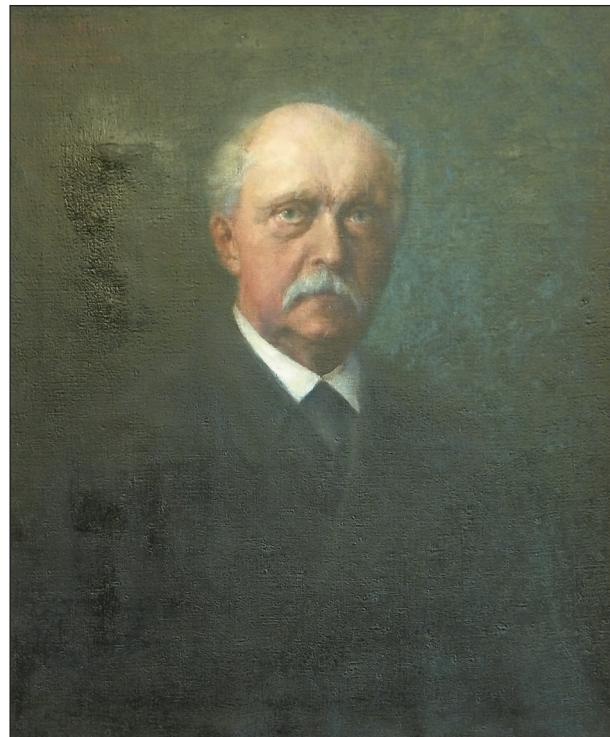
Здесь q_1 и q_2 — заряды, r — расстояние между ними, dr/dt — первая производная, $d^2 r/dt^2$ — вторая производная r по времени, c_w — постоянная Вебера. Именно константа c_w была фактически измерена в ходе эксперимента Вебера — Колльрауша, оказавшись в $\sqrt{2}$ раз больше скорости света в вакууме. Более-менее подробно процесс вывода закона Вебера проследил Любимов, отметивший, что Вебер, развивая теорию взаимодействия электрических зарядов, основывался на электродинамических работах А.М.Ампера. Исходя из представления об электрическом токе как совокупности противоположно направленных потоков положительных и отрицательных электрических масс, Вебер редуцировал полученный Ампером закон взаимодействия токов к «более элементарному» закону взаимодействия таких масс. Благодаря этому, учитывая открытое Фарадеем явление электромагнитной индукции, *самому закону электромагнитной индукции дается интерпретация и обоснование на основе веберовских соотношений*, как удачно выразился Любимов [8, с.150].

По словам немецкого историка физики Ф.Розенбергера, современники Вебера реагировали на его закон как на «революционный акт первостепенной важности» — главным образом из-за того, что зависимость силы от скоростей и ускорений означала отход от классической механической картины мира, в которой образцом силы была сила тяготения, зависящая только от расстояния между взаимодействующими объектами [3, с.166]. Нетрудно видеть, что при $dr/dt = \text{const}$ третье слагаемое в скобках обращается в ноль, а при $dr/dt = c_w = c\sqrt{2}$ становится равной нулю и сила взаимодействия электрических масс в целом. Первоначально Вебер и Колльрауш, не предполагая, что константа c_w столь велика, намеревались измерить ее в опытах с движущимися электрическими зарядами. Они планировали увеличивать относительную скорость зарядов до тех пор, пока они не прекратят взаимодействовать.

Физические измерения. С именем Вебера связано становление новой методологии физического эксперимента. Историк науки С.Р.Филонович так написал об этом: *Суть новаторства со-*



Рудольф Герман Арндт Колльрауш. Рисунок пером Ф.Юсти, 1886.



Герман Людвиг Фердинанд фон Гельмгольц. Портрет кисти Х.О.Ю.Шадова, 1891 г. Архив Берлинско-Бранденбургской академии наук.



Тангенс-гальванометр, примерно 1910 г. Музей науки и промышленности в Чикаго.

стояла в разработке типовых измерительных приборов, выработке единой системы измерений и процедуры обработки результатов. В целом этот подход можно было бы назвать «универсализацией измерений» [9, с.84]. В связи с программой исследования земного магнетизма Вебер указывал: *Наше убеждение состоит в том, что традиционный способ работы в физике устарел и требует реформы, а также в том, что наш способ трактовки магнитной проблемы является первой ласточкой. Он идет против многочисленных глубоко укоренившихся привычек и заставляет многих мечтать о том, чтобы ничего подобного вовсе не возникало. Но если он будет доведен до конца, то вскоре разовьется и далее и окажет плодотворное воздействие на все области наук* [9, с.85]. В определенном смысле деятельность Вебера была связана с изменением методологии исследования, с формированием обычной для современной нам физики ориентации на количественную экспериментальную проверку гипотез. Следует учесть, что для немецкой физики начала XIX в. типичной была ориентация не на количественный, а на качественный эксперимент. Такой подход отличал, к примеру, исследования Т.И.Зеебека, открывшего термоэлектричество. Перемены же в методологии научного исследования были во многом связаны с работами Г.С.Ома, которые, кстати, Вебер оценивал очень высоко.

Важным следствием осуществлявшихся под руководством Гаусса и Вебера международных геомагнитных измерений стало осознанное стремление физиков располагать типовыми приборами, позволяющими проводить измерения в разных лабораториях с одинаковой и высокой точностью. Так, историки науки установили, что приборы, использовавшиеся в геомагнитных измерениях в Бонне, Дублине, Казани, Милане, Гринвиче и других городах, были изготовлены одним и тем же мастером из Гёттингена. Уже к концу 19-го столетия в ряде стран появились крупные фирмы, специализирующиеся на выпуске научного инструментария.

В качестве примера рассмотрим конструкцию разработанного Вебером тангенс-гальванометра (тангенциального гальванометра) — одного из первых в истории физики измерителей тока. Он представлял собой круглую рамку с обмоткой из одного или нескольких витков. В центре рамки на оси круга с делениями расположена магнитная стрелка. Если по обмотке протекает ток, то в ее центре создается магнитное поле, зависимость которого от силы тока легко рассчитать. Равновесие стрелки будет при этом определяться равенством моментов сил, действующих на стрелку со стороны магнитного поля тока и магнитного поля Земли. Определяя угол поворота стрелки и зная магнитное поле Земли в данной точке, можно рассчитать магнитное поле тока и, соответственно, силу тока, протекающего по обмотке тангенс-гальванометра.

Эксперимент Вебера–Кольрауша. Опыт осуществлялся по следующей схеме. Лейденская банка заряжалась определенным количеством электричества и разряжалась через тангенс-гальванометр в течение определенного промежутка времени. По углу отклонения магнитной стрелки гальванометра можно было определить силу тока в так называемых «магнитных единицах». А разделив заряд банки на время, измерить ее же в «механических единицах». Проведя несколько серий измерений, Вебер и Кольрауш установили, что отношение механической единицы силы тока к магнитной равно $155\ 370 \cdot 10^6$. Это число было примерно в два раза меньше скорости света в вакууме, выраженной в миллиметрах в секунду. Таким образом, численное значение некоторой величины из области электромагнетизма оказалось одного порядка со скоростью света, относящейся к оптике — совершенно другому разделу физики. Эксперимент позволил определить константу c_w , оказавшуюся примерно в $\sqrt{2}$ раз больше скорости света. Через несколько лет немецкий физик Г.Р.Кирхгоф получил дифференциальные уравнения, описывающие распространение колебаний силы тока вдоль провода — так называемые телеграфные уравнения. Из них следовало, что скорость распространения волны тока вдоль провода идеальной проводимости в $\sqrt{2}$ раз

меньше константы c_w и, таким образом, совпадает со скоростью света в вакууме. Одновременно и независимо от Кирхгофа тот же результат получил Вебер [10, с.411]. При этом Кирхгоф — сторонник феноменологического подхода — никак не отреагировал на это совпадение, Вебер же отмечал существенные различия между волной тока и световой волной в эфире. Как известно, связь оптики и электромагнетизма была в конечном счете установлена в электромагнитной теории света Максвелла.

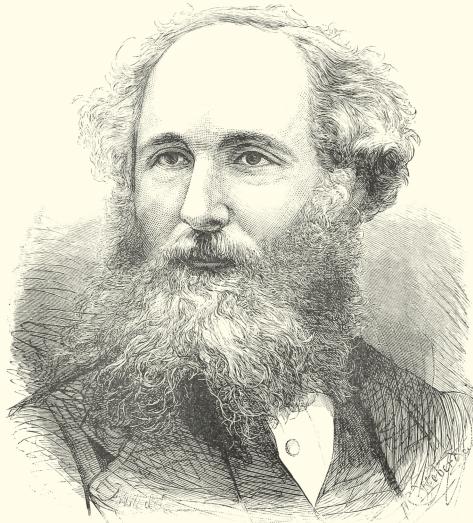
Что же касается измеренного Вебером и Кольраушем отношения единиц сил тока, то, учитывая принятую Вебером модель тока, можно было сделать вывод, что отношение единиц электрического заряда в двух системах единиц численно равно скорости света в вакууме. На это обстоятельство обратил внимание Максвелл — выше было приведено его высказывание по поводу опытов Вебера — Кольрауша. Оценивая их результаты, он приходит к исключительно важному выводу: *...Совпадение результатов, по-видимому, показывает, что свет и магнетизм являются проявлением свойств одной и той же субстанции и что свет является электромагнитным возмущением, распространяющимся через посредство поля в соответствии с законами электромагнетизма* [11, с.321].

Идея предельной скорости и представление об элементарном электрическом заряде. В дискуссии Гельмгольца с Вебером анализировались в том числе мысленные эксперименты с движущимися «электрическими массами». Первоначально возражения Гельмгольца были связаны с зависимостью силы взаимодействия электрических зарядов в законе Вебера от их относительной скорости. По мнению Гельмгольца, такая зависимость не соответствует закону сохранения энергии. В ходе дискуссии он отказался от ограничений, накладывавшихся им на область применимости закона сохранения энергии. При этом, разбирая различные мысленные эксперименты, Вебер выдвигает несколько необычных гипотез. Так, он предполагает существование в природе предельной скорости движения материальных тел, совпадающей, возможно, с константой c_w (предвосхищение релятивистских идей). Он также выдвинул гипотезу, что электрические частицы, движение которых образует электрический ток, имеют определенный и одинаковый заряд и массу (предвосхищение электронной теории). Именно в дискуссии с Гельмгольцем он ввел понятие электрического атома. Впоследствии Вебер в работе «Электродинамические мероопределения, особенно о связи основного электрического закона с гравитационным законом», описал молекулы вещества с точки зрения планетарной модели: их центральная часть заряжена отрицательно, а в постоянном вращении вокруг центра находятся положительные электрические частицы. В металлах эти частицы непрерывно переходят с од-

ной орбиты на другую, в изоляторах же такого перехода не происходит. Вебер использовал планетарный образ молекул вещества в работах по диамагнетизму, связав это явление с возбуждением индукционных токов. Напомним, что образ молекулярного тока был впервые использован Ампером, объяснявшим с его помощью природу магнитных явлений [12].

Закон Вебера и теория гравитации. В последние десятилетия XIX в. к закону силы Вебера обратились специалисты по небесной механике. Как известно, одной из ее проблем было необъяснимое смещение перигелия Меркурия. Историк науки В.П.Визгин так написал об этом: *Вебер с самого начала понимал возможность распространения своего закона и на гравитацию. В 1846 г., когда об аномальном смещении перигелия Меркурия ему еще не было известно, он отмечал, что использование его закона вместо ньютоновского в небесной механике не может привести к наблюдаемым эффектам* [13, с.46]. Расчеты, сделанные на основе закона всемирного тяготения, расходились с данными астрономических наблюдений. В связи с этим некоторые астрономы предположили, что закон всемирного тяготения Ньютона должен быть модифицирован по образу и подобию закона Вебера. Завершая обзор таких попыток, Визгин пишет: *Простой перенос электродинамических законов веберовского типа на гравитацию выглядел, вообще говоря, неоправданным. Можно было говорить об аналогичности электродинамики и гравитации, но не о подлинном синтезе* [13, с.51]. Здесь нельзя не упомянуть теории итальянского физика О.Ф.Мосотти, согласно которой гравитационное взаимодействие не было первичным и сводилось к электрическим силам. Вот что об этом писал Визгин: *Мосотти не ограничился качественным рассмотрением, он разработал математически единую теорию молекулярных и гравитационных сил на основе электростатического взаимодействия* [13, с.44]. В 1876 г. уже упоминавшийся выше астрофизик из Лейпцига Щёлльнер соединил теорию Мосотти с законом Вебера. В целом же попытки заменить закон всемирного тяготения на закон силы Вебера следует признать безуспешными. Проблема была разрешена только в начале 20-го столетия в рамках общей теории относительности А.Эйнштейна.

Интересно, что современные специалисты по теории гравитации Ю.С.Владимиров и И.А.Бабенко связывают с работами Вебера (и в целом с электродинамикой дальнодействия) предысторию теории прямого межчастичного взаимодействия. Основываясь на анализе электродинамики дальнодействия [14], они отмечают, что Вебер сделал важный шаг от традиционного понимания взаимодействия, когда полагалось, что сила зависит только от расстояния между двумя телами [15, с.87]. По их мнению, в работах немецких физиков устанавливались связи с фи-



Джеймс Клерк Максвелл. (Popular Science Monthly. 1880. V.17. Фронтиспис).

лософскими направлениями, в которых утверждалось, что поведение отдельных элементов системы не может быть описано без учета свойств системы в целом... В дальнейшем в физике эти идеи стали называть проявлениями принципа Маха [15, с.87]

Световой эфир в работах Вебера. Примером проблемы, актуальной в равной степени и для Вебера (одного из главных действующих лиц электродинамики дальнодействия), и для Максвела (создателя теории электромагнитного поля), была проблема «устройства» светового эфира [16]. Как и Максвелл, Вебер активно обсуждал возможные модели такого эфира. Распространение света он

описывал, исходя из принятого им представления об электрических корпускулах как о частицах, из которых построены эфир и «весомая материя». Главное отличие светового эфира Вебера от популярных моделей «упругого» эфира — в его электрическом происхождении. Следует сказать, что тема светового эфира появилась еще в первой статье Вебера по электродинамике (1846). Он, в частности, писал: *Силы, описываемые основным законом [т.е. законом силы. — Б.Б.], могут быть лишь частью силами, с которыми две электрические частицы непосредственно действуют друг на друга и потому могут зависеть от промежуточной среды... Далее я должен отметить недавнее открытие Фарадеем влияния электрических токов на вибрации света, из которого следует, что всепроникающая нейтральная электрическая среда образует всепроникающий эфир, передающий световые вибрации* [17, S.169]. Более того, в 1878 г. в работе «Электродинамические мероопределения, в частности об энергии взаимодействия» Вебер ссылается на Максвела! По словам Вебера, для предлагаемой им модели эфира *действительны полученные Максвеллом законы движения динамической среды, главным образом закон распространения волн, совпадающий с законом распространения световых волн* [18, S.395].

* * *

Я уже отмечал, что обычно работы Вебера связывают с принципом дальнодействия, «по умолчанию» предполагая признание им мгновенной передачи взаимодействий. В соответствии с этим электродинамику Вебера противопоставляют теории электромагнитного поля Фарадея—Максвела, а прогресс физики связывают с победой одной теории и поражением другой. Как мы видим, на самом деле эволюция физических идей в позапрошлом столетии была существенно более сложной. ■

Литература / References

1. Kohlrausch R, Weber W. Elektrodynamische Maassbestimmungen insbesondere Zuruckfuehrung der Stromintensitats — Messungen auf mechanisches Maass. Abhandlungen der Konigl. Sachs. Gesellschaft der Wissenschaften, mathematisch-physische Klasse. 1857; 3: 221–290. Reprinted: Wilhelm Weber's Werke. V.3. Ed. Weber H. Berlin, 1893: 609–676.
2. Филонович С.Р. Самая большая скорость. М., 1983. [Filonovich S.R. The highest velocity. Moscow, 1983. (In Russ.).]
3. Розенбергер Ф. История физики. Ч.3. Вып.2. М.; Л., 1936. [Rozenberger F. History of Physics. Pt.3. Is.2. Moscow; Leningrad, 1936. (In Russ.).]
4. Гаусс К.Ф. Интенсивность земной магнитной силы, приведенная к абсолютной мере. Карл Фридрих Гаусс. Избранные труды по земному магнетизму. М., 1952: 23–76. [Gauss C.F. The intensity of terrestrial magnetic force given to an absolute measure. Carl Friedrich Gauss. The selected works on terrestrial magnetism. Moscow, 1952: 23-76. (In Russ.).]
5. Яроцкий А.В. Борис Семенович Якоби. М., 1988. [Yarotsky A.B. Boris Semyenovich Jacobi. Moscow, 1988. (In Russ.).]
6. Brief von C.F.Gauss an W.Weber vom 1803–1845. Gauß C.F. Werke. Bd.5. Göttingen, 1877: 627–629.
7. Kaiser W. Theorien der Elektrodynamik im 19 Jahrhundert. Hildesheim, 1981.
8. Любимов Ю.А. Электродинамическая формула В.Вебера (зарница релятивизма?). Исследования по истории физики и механики. 2000. М., 2001: 142–161. [Lubimov Yu.A. Electrodynamic formula of Weber. Is it a forerunner of the relativity? Historical studies in physics and mechanics. 2000. Moscow, 2001: 142–161. (In Russ.).]

9. Филонович С.Р. Экспериментальная физика. Физика XIX—XX вв. в общенаучном и социокультурном контекстах. Физика XIX века. М., 1995: 73–116. [Filonovich S.R. Experimental Physics. Physics of the 19–20th centuries in general scientific and sociocultural contexts. Physics of the 19th century. Moscow, 1995: 73–116. (In Russ.).]
10. Кирхгоф Г. Избранные труды. М., 1988. [Kirchhoff G. Selected works. Moscow, 1988. (In Russ.).]
11. Максвелл Дж.К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. М., 1954. [Maxwell J.K. Selected writings on the theory of the electromagnetic field. Moscow, 1954. (In Russ.).]
12. Булюбаш Б.В. Проблемы электродинамики в дискуссии Гельмгольца с Вебером. Исследования по истории физики и механики. 1986. М., 1986: 210–224. [Bulyubash B.V. Electrodynamics problems in Helmholtz's discussion with Weber. Historical studies in physics and mechanics. 1986. Moscow, 1986: 210–224. (In Russ.).]
13. Визгин В.П. Релятивистская теория тяготения: истоки и формирование. М., 1981. [Vizgin V.P. Relativistic theory of gravitation: sources and formation. Moscow, 1981. (In Russ.).]
14. Булюбаш Б.В. Электродинамика дальнодействия. Физика XIX–XX вв. в общенаучном и социокультурном контекстах. Физика XIX века. М., 1995: 221–250. [Bulyubash B.V. Action at a distance electrodynamics. Physics of the 19–20th centuries in general scientific and sociocultural contexts. Physics of the 19th century. Moscow, 1995: 221–250. (In Russ.).]
15. Владимиров Ю.С., Бабенко И.А. Принцип Маха. Метафизика. 2016; 3: 86–99. [Vladimirov Yu.S., Babenko I.A. Mach's principle. Metaphysics. 2016; 3: 86–99. (In Russ.).]
16. Булюбаш Б.В. Максвелл и электродинамика Вебера. Максвелл и развитие физики XIX–XX веков. М., 1985: 76–83. [Bulyubash B.V. Maxwell and Weber's electrodynamics. Maxwell and development of physics of the 19–20th centuries. Moscow, 1985: 76–83. (In Russ.).]
17. Weber W. Elektrodynamische Maassbestimmungen über ein allgemeines Grundgesetz der elektrischen Wirkung. Abhandlungen bei Begründung der Konigl. Sachs. Gesellschaft der Wissenschaften am Tage der zweihundertjährigen Geburtstagefeier Leibniz's herausgegeben von der Furstl. Jablonowskischen Gesellschaft. Leipzig, 1846: 211–378. Reprinted: Wilhelm Weber's Werke. V.3. Ed. H.Weber. Berlin, 1893: 25–214.
18. Weber W. Elektrodynamische Maassbestimmungen insbesondere über die Energie der Wechselwirkung. Abhandlungen der Konigl. Sachs. Gesellschaft der Wissenschaften, mathematisch-physische Klasse. V.11. Leipzig, 1878: 641–696. Reprinted: Wilhelm Weber's Werke. V.4. Ed. H.Weber. Berlin, 1894: 361–412.

Discoveries and anticipations of the physicist Wilhelm Weber

B.V.Bulyubash

Nizhny Novgorod Alekseev State Technical University (Nizhny Novgorod, Russia)

The article examines the biography of the German physicist Wilhelm Eduard Weber (1804–1891) from the history-of-science point of view. The joint work of Weber and Gauss on the study of the Earth's magnetic field, including Weber's contribution to the development of instruments for measuring the parameters of the earth's magnetic field, is analyzed. It is noted that Gauss and Weber developed an absolute system of units in which all measured quantities were expressed in terms of units of time, mass, and length. The historical significance of Weber's "law of force" is discussed. In the context of the story of the Weber–Kohlrausch experiment, its main result is marked: the coincidence of the ratio of electric charge units in two systems of units with the speed of light in vacuum. It is emphasized that this result was the first indication of the proximity of the theory of light and the theory of electromagnetic phenomena. It is noted that the question of the electrical nature of the light ether was important not only for Maxwell, but also for Weber. It is emphasized that Weber should not be regarded as an unconditional supporter of action at a distance principle. The Weber–Helmholtz discussion was analyzed; in its course Weber put forward hypotheses about the existence of a limiting velocity and anticipated the main provisions of the electron theory. The influence of Weber's law of force on the development of the theory of gravitation in the pre-relativistic period is noted. It is indicated that the supporters of one of the directions in the modern theory of gravitation are associated with Weber's works (and with the action-at-a-distance electrodynamics in general) as a whole) the anticipation of certain provisions of the theory of direct interparticle interaction.

Keywords: Weber, Gauss, Helmholtz, absolute system of units, action at a distance, Earth's magnetic field, electron theory, velocity of light.