

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

Институт истории естествознания и техники

ДК 65-1  
168 Гизела Бухгейм

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕЛЬМГОЛЬЦА  
И ИХ СВЯЗЬ С РАБОТАМИ РУССКИХ ФИЗИКОВ

ДИССЕРТАЦИЯ  
на соискание ученой степени  
кандидата физических наук

Научный руководитель  
профессор Б.Г.КУЗНЕЦОВ

---

МОСКВА - 1965г.

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

	стр.
1. ПРЕДИСЛОВИЕ . . . . .	1
2. В В Е Д Е Н И Е . ЭЛЕКТРОДИНАМИКА В СЕРЕДИНЕ 19в. . . . .	8
3. ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕЛЬМГОЛЬЦА . . . . .	
3.1. Проблемы электродинамики в работе "О сохранении силы" (1847). . . . .	16
3.2. Электродинамические работы в 50-е годы. Их связь с физиологическими исследованиями. . . . .	26
3.3. Исследования электрических колебаний (1869) Переход к собственно физическим задачам . . . . .	37
3.4. Первая статья о теории электродинамики (1870). . . . .	43
3.5. Вторая статья о теории электродинамики. Критика закона Вебера. . . . .	76
3.6. Третья статья о теории электродинамики. Сравнение закона Ампера с потенциальным законом Ф.Неймана . . . . .	82
3.7. Роль Гельмгольца и его школы в экспериментальной проверке теорий электродинамики . . . . .	89
3.8. З а к л ю ч е н и е . . . . .	103
4. СВЯЗЬ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РУССКИХ ФИЗИКОВ С РАБОТАМИ ГЕЛЬМГОЛЬЦА . . . . .	
4.1. В в е д е н и е . . . . .	108
4.2. Исследования Н.Н.Шиллером электрических колеба- ний и влияние Гельмгольца на эти труды . . . . .	115
4.3. Работы П.А.Зилова в области электродинамики и их связь с трудами Гельмгольца. . . . .	129
4.4. Исследования Р.А.Колли электрических колебаний . . . . .	139
4.5. Влияние работ Гельмгольца на исследование Д.Н.Гольдгаммером электродинамической теории света. . . . .	150
5. З А К Л Ю Ч Е Н И Е . . . . .	160
6. ПРИЛОЖЕНИЯ . . . . .	168
7. Л И Т Е Р А Т У Р А . . . . .	182

## І. П Р Е Д И С Л О В И Е

Настоящая диссертация посвящена исследованию электродинамических работ Гельмгольца, а также связи между исследованиями русских физиков в области электродинамики и трудами Гельмгольца. Соответственно этому работа делится на две части.

1. Электродинамические исследования Гельмгольца

2. Связь электродинамических исследований русских физиков с работами Гельмгольца.

В научной литературе имеются многочисленные труды, посвященные творчеству Гельмгольца. Авторы, однако, уделяют мало внимания его электродинамическим работам. Чрезвычайно обширные и многосторонние исследования этого ученого просто не дают возможности оценить все его заслуги перед наукой, заставляя сосредоточиваться на самых крупных, самых важных для дальнейшего развития трудах ученого - естествоиспытателя. К их числу работы Гельмгольца по теории электродинамики не принадлежат. Они оказывали влияние на развитие электродинамики в течение двух десятилетий, затем были опровергнуты, и только отдельные результаты его исследований в дальнейшем сохранили свое значение.

Независимо от этого, электродинамические исследования Гельмгольца очень интересны для понимания развития этой области физики. Но оценку этих работ важно дать не только с точки зрения их истинности, а, в первую очередь, с точки зрения значения их для развития электродинамики именно в 70-е и 80-е годы прошлого века. Более подробное изучение этой страницы истории физики расширяет круг сведений об одной из самых интересных ее глав, о борьбе за электромагнитную теорию Максвелла, с которой была свя-

зана деятельность Гельмгольца в области электродинамики.

Гельмголец, однако, не ставил перед собой прямой задачи подтвердить теорию Максвелла и, пока позволяло состояние экспериментальных данных, оставался на точке зрения далекодействующих сил. Тем не менее, стремясь теоретическим и экспериментальным путем выяснить основные закономерности электродинамики, он сыграл в этом процессе значительную роль. Это будет видно со всей ясностью, если учесть заслуги Гельмгольца не только как исследователя, но и как педагога, то-есть, если обратить внимание и на участие его учеников в развитии электродинамики.

Изучение связи электродинамических работ Гельмгольца с работами русских физиков представляет двойной интерес.

Во-первых, такое исследование дает более исчерпывающее представление о характере школы физиков, воспитанных в берлинской лаборатории. Это было бы невозможно достигнуть при использовании только немецких источников. При этом выявляются и новые аспекты для оценки теоретических работ Гельмгольца по электродинамике и его позиции в бурных столкновениях 70-х годов.

Во-вторых, достигается более полное и правильное освещение электродинамических работ русских физиков того времени, так как до сих пор при оценке этих работ не учитывались взаимоотношения этих ученых и Гельмгольца.

Влияние А.Г.Столетова на целое поколение русских физиков рассмотрено довольно подробно в нескольких работах советских авторов /напр.66/, поэтому представляет большой интерес дополнить эту картину исследованием влияния Гельмгольца на некоторых русских физиков.

При подготовке диссертации были выявлены и изучены документальные материалы, находящиеся в архиве Германской Академии

наук в Берлине, включающие в себя более 1600 писем разных авторов Гельмгольцу. К сожалению, в их числе не нашлось писем, которые указывали бы на связь Гельмгольца с русскими учеными. Поэтому в работе использовано лишь несколько писем, которые создают впечатление о влиянии Гельмгольца на других физиков. /Прежде всего письма Больцмана Гельмгольцу/

В научной литературе, как уже было сказано, мало уделялось внимания электродинамическим исследованиям Гельмгольца. Обширного и всестороннего рассмотрения деятельности Гельмгольца в этой области не существует. А изложение отдельных страниц этих работ нередко приводило к разным оценкам, частично противоречащим друг другу. Мнение, что Гельмгольц был сторонником Максвелла и его работы способствовали победе теории последнего, существует наряду с утверждением, что теория Гельмгольца только увеличивала путаницу в электродинамике и отвлекала молодых физиков от теории Максвелла.

Разногласия в оценке роли Гельмгольца в развитии электродинамики можно объяснить следующими причинами:

1) Иногда теории близкодействия и далекодействия категорически противопоставились друг другу. С такой позиции просто невозможно было объяснить роль Гельмгольца, избежав неясностей и противоречий.

2) Часто не учитывалось развитие позиции Гельмгольца на протяжении более сорока лет. Не обращалось внимание на направление и последовательность этого развития.

3) При оценке <sup>роли</sup> Гельмгольца не принимали во внимание тесную связь между теоретическими исследованиями Гельмгольца и экспериментальными работами, произведенными в Берлинском институте под его руководством.

Среди немецких источников только в основной трехтомной биографии Гельмгольца, написанной Кенигсбергером /157/, в хронологическом порядке излагается содержание электродинамических работ Гельмгольца. Эта биография содержит материалы, указывающие на путь возникновения этих работ и ряд интересных писем. К сожалению в этой книге почти совсем отсутствует материал о преподавательской деятельности Гельмгольца и отношении его к многочисленным немецким и иностранным ученикам, за исключением Г.Герца.

Историку необходимо также принять во внимание книгу Дюбуа-Реймона /17/. Дюбуа-Реймон и Гельмголец были друзьями еще в студенческие годы и в дальнейшем поддерживали связь друг с другом. Особенно за те годы, когда Гельмголец занимался почти исключительно физиологическими исследованиями, сотрудничество этих ученых было очень плодотворным. Соответственно этому, работа Дюбуа-Реймона представляется важным источником для выяснения научной деятельности Гельмгольца именно в этот период.

В других биографиях немецкого происхождения или совсем не рассматриваются электродинамические работы Гельмгольца или приводятся только отдельные исследования без обсуждения их основных особенностей /85, 101, 162/.

Существуют однако некоторые публикации, в которых анализируются отдельные моменты электродинамических работ Гельмгольца.

К ним принадлежит работа М.Планка о принципе сохранения энергии /161/. В ней подробно рассматривается значение этого закона в развитии электродинамики и излагается позиция Гельмгольца в электродинамике в работе "О сохранении силы".

Много интересного материала нам дадут работы Г.Герца /147, 148/. Излагая свои собственные научные результаты, Герц

характеризует и точку зрения своего руководителя Гельмгольца, а также значение его работ в развитии электродинамики. Письма Герца /151/ добавляют к этому интересные подробности. Кроме того, в своей статье, посвященной семидесятилетию Гельмгольца /146/ Герц высоко оценил деятельность его как преподавателя и руководителя первых шагов своих учеников в науке.

Можно еще привести статью В. Вина "Гельмгольц как физик" /175/, где автор подчеркивает положительную роль электродинамических работ Гельмгольца для решения спорных в то время вопросов в этой области.

Русскую и советскую литературу о Гельмгольце и о его электродинамических работах можно разделить на три группы.

I. Работы современников Гельмгольца, в которых прежде всего было подчеркнуто значение Гельмгольца для развития физики в России. Сюда относится, например, ряд лекций и речей, прочитанных в честь семидесятилетия Гельмгольца в 1891г. / 2;49/. В частности высоко оценил заслуги Гельмгольца перед наукой А.Г.Столетов / 62, 64, 65/. "История творчества Гельмгольца... есть история физики за последние 50 лет" - писал он в своей работе "Гельмгольц и современная физика" /65, стр.4/.

В главе об электродинамических работах Гельмгольца он характеризует сущность теории Гельмгольца и роль его деятельности для развития электродинамики.

В 1895г. А.П.Грузинцев опубликовал свою работу: "Герман фон-Гельмгольц в его последних произведениях" /13 /. В этой работе рассматривается теория электромагнитных явлений, данная Гельмгольцем в 1892 г. на основе его исследований принципа наименьшего действия, и электромагнитная теория светорассеяния, развитая Гельмгольцем в 1893г. Грузинцев пришел к выводу, что

идеи Гельмгольца в этих работах совпадают с теорией Максвелла-Герца, а не со старой его теорией электродинамики, относящейся к 1870 году.

2. Биография и статьи советских авторов об электродинамических работах Гельмгольца.

К ним принадлежит биография написанная В.Д.Зерновым /18/, в которой рассматриваются прежде всего работы Гельмгольца по колебательным разрядам и исследование скорости распространения электродинамических импульсов.

В работе Б.Л.Грановского и Е.Л.Старокадомской сравнительно подробно рассмотрены электродинамические работы Гельмгольца /12/. Эти авторы прослеживают развитие взглядов Гельмгольца, начиная с его первых работ до опытов Герца.

Биография, написанная П.П.Лазаревым /43/ представляет собой лишь общий очерк жизни и деятельности Гельмгольца. О его электродинамических работах из этой работы мы узнаем мало. Во всех этих работах указывается значение деятельности Гельмгольца как руководителя исследовательских работ и приводятся в качестве доказательства имена русских физиков, которые пополнили свое научное образование в лаборатории Гельмгольца. Подробно эти отношения не рассматриваются. Можно однако предположить, что именно это обстоятельство привело к тому, что в советских биографиях о Гельмгольце электродинамическим работам уделено больше внимание, чем в соответствующих немецких.

Мне известна лишь одна работа, относящаяся к этой группе литературы, посвященная специально электродинамическим исследованиям Гельмгольца. Это статья У.И.Франкфурта /72/, Франкфурт дает короткое резюме разработанных в области электродинамики Гельмгольцем тем и в общих чертах указывает на значение



этих работ Гельмгольца для распространения теории Максвелла в Германии. Ссылки на работы русских учеников Гельмгольца в статье отсутствуют.

Короткое изложение самой электромагнитной теории Гельмгольца дает лишь П.С.Кудрявцев в своей книге "История физики" /37/. Можно еще упомянуть статью Б.Г.Кузнецова и У.И.Франкфурта, посвященную истории закона сохранения и превращения энергии, поскольку в ней обсуждается значение этого закона для дальнейших работ Гельмгольца в области электродинамики /40/.

3. Остается еще упомянуть те работы, которые относятся к этой теме поскольку они содержат анализ исследований по электродинамике русских ученых, которые непосредственно были учениками Гельмгольца или своими работами связаны с его творчеством. Речь идет о работах В.М.Дукова /14,15/ и Г.М.Теплякова /66/. Предметом этих работ являются между прочим электродинамические работы Н.Н.Шиллера, П.А.Зилова, Р.А.Колли и Д.А.Гольдгаммера. В этих работах, однако, не учитывается влияние Гельмгольца и его исследований на научное формирование русских ученых.

## 2. ВВЕДЕНИЕ

### Электродинамика в середине 19 века <sup>I/</sup>

В середине 19 века электродинамика, хотя и представляла собой одну из самых молодых отраслей физики, все же была уже многосторонне развитой наукой. В настоящем введении не возможно учесть все направления этой эволюции. Внимание будет сосредоточено на показе основных тенденции в развитии теории электродинамики. Экспериментальные исследования и попытки технического применения полученных результатов здесь не учитываются

Первый шаг в развитии теории электродинамики, как известно, был сделан А.М.Ампером. Более двадцати лет спустя после открытия А.Вольта электрического столба /1800/ и непосредственно после того как Г.К.Эрстед обнаружил связь между электрическими и магнитными явлениями /1820/, Ампер установил свою теорию электродинамики. Эта теория отвергала существование магнитной жидкости и магнетизм объяснялся действием молекулярных токов. На этой основе Ампер обнаружил взаимодействие токов и вывел соответствующее математическое выражение для двух элементов тока

$$R = \frac{i i' ds ds'}{r^2} \left( \cos \epsilon - \frac{3}{2} \cos \vartheta \cos \vartheta' \right), \quad (2.1)$$

где  $R$  - сила притяжения или отталкивания элементов тока,  
 $ds, ds'$  - элементы проводников,  
 $i, i'$  - токи в этих элементах,  
 $\epsilon$  - угол между элементами проводников,

---

I/ Для "Введения" прежде всего использована следующая литература: / 37, 39, 41, 54, 58/.

$\vartheta, \vartheta'$  - угол между элементами проводников и соединяющим их г.

Этот закон был основан на представлениях о действии так называемых центральных сил, зависящих только от расстояния между действующими массами или зарядами и от величин последних. Эти представления были приняты в физике со времен открытия закона тяготения Ньютона и в электростатике нашли свое подтверждение в законе Кулона. Ампер в свою очередь стремился свести и электродинамические взаимодействия к этому общепринятому принципу.

Точечному заряду в законе Кулона в формуле Ампера соответствует выражение  $i ds$  - ток в элементе проводника. Поскольку, однако, с элементом проводника нельзя оперировать как с точечным зарядом, пространственная зависимость этих элементов тока в формуле Ампера оказалась не такой простой как в законах Ньютона и Кулона. Несмотря на это, закон Ампера для случая взаимодействия двух токов представлял еще достаточно простое выражение, соответствующее экспериментальным фактам. Серьезные трудности проявились позже, когда ученые попытались объединить уже довольно широкий круг открытых явлений электродинамики одним общим законом на основе закона Ампера.

В середине 19 века наряду с законом Ампера проявились другие законы электродинамики, хотя бы потому, что область действия его закона не удовлетворяла потребностям того времени. Особенно открытие Фарадеем электромагнитной индукции решающим образом расширило круг новых явлений и потребовало более общего выражения для электродинамических процессов.

С другой стороны, возник ряд возражений против самого закона Ампера. Подверглись сомнению использованные Ампером пред-

посылки и однозначность данного выражения. Несмотря на это, закон Ампера и в середине 19 века играл еще значительную роль в качестве исходного пункта для других теорий. Так, на закон Ампера опирался Ф.Нейман при установлении формул электромагнитной индукции. Исходя из закона Ленца и предположения о том, что сила индукции в данный момент пропорциональна скорости движения, Ф.Нейман в своей работе " Математические законы индуктированных электрических токов" /159; 1845/ впервые вывел закон индукции для случая относительного перемещения проводников. В следующей своей работе "Об одном общем принципе математической теории индуктированных электрических токов" /160; 1847/ он дал закон индукции в более общем виде.

Ф. Нейман при разработке закона индукции основывается на выражение Ампера для сил взаимодействия токов. Основное выражение в его работах, однако, представляет собой не силу, а потенциал системы. Потенциал Неймана одного элемента тока на другой имеет вид:

$$P = \frac{ii' \cos(ds, ds')}{r} ds ds' . \quad (2.2)$$

Причем этот потенциал можно определять количеством механической работы, произведенной электрическими силами, когда оба тока или ток и магнит переносятся на бесконечно удаленное друг от друга расстояние.

Общий принцип индуктированных токов Ф.Неймана, положенный в основу второй вышецитированной работы, дает выражение индуктированных при перемещении проводников или магнитов электродвижущих сил. По этому принципу э.д.с., индуктированная в проводнике, пропорциональна разности потенциалов системы в конечном и

начальном состоянии:

$$(Q(s_2, s_2') - Q(s_1, s_1')) , \quad (2.3)$$

где  $Q$  - потенциал двух проводников по отношению друг к другу при  $i = i' = 1$ ,  
( $s_1, s_1'$ ) - характеризует относительное положение двух проводников в начале, а ( $s_2, s_2'$ ) - в конце процесса.  
Этот принцип индуктированных токов Неймана содержит в себе уже выражение вектор.-потенциала. Можно писать формулу индуктированной э.д.с. в виде:

$$E = \frac{d}{dt} \int_{s_2} (A_1 ds_2) \quad (2.4)$$

/см. 14 стр.41 /.

Соответственно теории далекодействующих сил здесь вектор-потенциал, однако, определяется координатами проводников.

/ см. 58, т.2, стр.103 /.

Позже на выражении потенциала Неймана Гельмгольц основывает свои работы по теории электродинамики. Причем Гельмгольц, в отличие от Ф.Неймана, стремился выяснить физическое содержание понятия потенциала как выражения энергии системы.

Разработка теории статического потенциала и потенциала одного тока на другой ввели новые представления в электродинамику. Появляется представление о распределении потенциала в пространстве, хотя без признания реального физического поля. Как и раньше, электрические заряды представляют собой исходный пункт всякого электрического действия. При передаче силы или энергии от одной точки пространства к другой среда не принимает

никакого участия, не изменяется. Передача от одного действующего тела к другому предполагается мгновенной.

Теория потенциала, хотя сама и не учитывала влияния среды, обратила внимание физиков на промежуточную среду. Проявлялись теории, предполагающие распространение электрических действий во времени /наприм. Б.Римана (1858) и К.Неймана (1868), А.Лоренца (1867) /.

Вопрос о сущности распространения электродинамических действий все более и более становится в центр внимания физиков. Но это в основном относится уже к 60-м годам 19 века, когда представления Фарадея о электрическом поле и теория Максвелла, в свою очередь, начали влиять на современников. А до этого почти двадцать лет царствовала исключительно теория В.Вебера.

В 1846 г. была опубликована работа В.Вебера " *Elektrodynamische Maßbestimmungen* " /174/. Теория электродинамики, изложенная здесь, отличалась от вышеназванных работ тем, что учитывала элементарное взаимодействие самих электрических зарядов. Подставляя, таким образом, в формулу Ампера вместо  $i$  выражение  $ev$  и учитывая взаимодействие движущихся в противоположные стороны положительных и отрицательных зарядов, в соответствии с дуалистической теорией, он получает выражение взаимодействия двух электрических масс:

$$R = \frac{e e'}{r^2} \left[ 1 + \frac{1}{c^2} \left( r^2 \left( \frac{d^2 r}{dt^2} \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{dr}{dt} \right)^2 \right) \right]. \quad (2.5)$$

Работа Вебера, учитывая зависимость взаимодействия от скорости и ускорения зарядов внесла в дискуссию совсем новую точку зрения. Только теперь серьезно возник вопрос среди физиков,

существуют ли вообще силы, не являющиеся центральными, имеют ли электродинамические силы другой характер, чем все до сих пор известные в физике? Этот вопрос пока еще оставался открытым. А теория Вебера получила большое распространение, особенно в Германии, поскольку дала сравнительно простое объяснение и электростатических и электромагнитных процессов, вполне соответствовавшее известным тогда фактам.

Разработка теории электродинамики на основе действия на расстоянии так тесно была связана с работами немецких ученых, что Максвелл прямо говорил о "немецком методе" рассмотрения электрических процессов. В своем предисловии к первому изданию книги "Трактат об электричестве и магнетизме" /46/ он подчеркнул те стороны исследований представителей теорий дальнедействующих сил, которые представляли собой значительный прогресс в развитии учения об электричестве: методы математической обработки электрических проблем. Именно эти заслуги перед наукой привели к тому, что и физические гипотезы дальнедействия, связанные непосредственно с ней, долгое время могли играть такую авторитетную роль, хотя, как показал Максвелл: "Многие из открытых математиками плодотворных методов исследования могли быть значительно лучше выражены с помощью идей, вытекающих из работ Фарадея, чем в их оригинальной форме" /46, стр.350/. Это относится прежде всего к теории потенциала, которая хорошо выражает математические свойства электрического поля Фарадея, в то время, как понятие потенциала в теориях дальнедействия остается без конкретного физического содержания и порождает вопрос о действительной сущности распространения электрических действий.

Кроме теорий названных уже физиков существовал еще целый ряд попыток объяснить электродинамические процессы. (Гельмгольц в своих работах<sup>ах</sup> перечисляет семь теорий). Выведенные на основе экспериментальных фактов, они совпадают для случая действия тока в замкнутых, но отличаются применительно к токам в незамкнутых проводниках. Пока, однако, не имелось ни малейшей возможности решить этот спор экспериментальным путем в пользу той или иной теории.

Таким образом, Гельмгольц, когда он начал заниматься теорией электродинамики, застал там "пестрое собрание гипотез". Дальше он охарактеризовал ситуацию следующими, часто цитируемыми словами: "... область электродинамики превратилась в то время в бездорожную пустыню. Факты, основанные на наблюдениях, и следствия из весьма сомнительных теорий - все это было вперемежку соединено между собой" / 143а, стр.299/.

В этом и новая теория близкодействия, обоснованная Фарадеем, и разработанная Максвеллом, прежде всего в работах "О физических силовых линиях" (1862) и "Динамическая теория электромагнитного поля" (1864) ничего не могла изменить сначала. Эта теория отличалась коренным образом от всех других тем, что она исходила из реального существования электромагнитного поля и все электрические явления объясняла поляризацией среды, в то время, как электрические заряды играли только второстепенную роль. "Фарадей - пишет Максвелл - видел силовые линии, пронизывающие все пространство, там, где математики видели центры сил, притягивающих на расстоянии; Фарадей видел среду там, где они не видели ничего кроме расстояния; Фарадей предполагал источник и причину явлений в реальных действиях, протекающих в среде, они же были удовлетворены тем, что нашли их в силе



действия на расстоянии, приписанной электрическим флюидам".  
/46, стр. 349/.

Максвелл, однако, не смог привести доказательства преимуществ своей теории перед всеми другими. Для известных уже фактов стационарных и квазистационарных процессов в вакууме результаты его теории совпадали с результатами теорий дальнего действия. А влияние среды на электрические процессы и закономерности быстропеременных электрических явлений еще почти не было исследовано. Отсутствовало экспериментальное подтверждение новой теории. Поэтому физики, склонные в своем большинстве гораздо более к экспериментальным исследованиям, чем к теоретическим, не могли отнестись дружелюбно к теории, которая, кроме качественных опытов Фарадея о влиянии среды на электродинамические действия и опытов Вебера и Кольрауша по сравнению единиц количества электричества в электростатических и электромагнитных мерах, не могла привести убедительных для ее подтверждения экспериментальных данных. Они не видели необходимости покинуть старую проверенную позицию в пользу совсем необычных, а частично и непонятных для них взглядов.

Таким было положение в области электродинамики, когда Гельмгольц в 1870 году начал публиковать свои основные работы по электродинамике. Можно смотреть на них как на начало периода длительной дискуссии, из которой теория Максвелла в конце концов вышла победительницей. Если в начале этого периода теория Максвелла рассматривалась как еще одна среди многих возможных, то она в дальнейшем смогла привлечь к себе внимание прежде всего благодаря ряду следствий, доступных экспериментальной проверке и таким образом обещающих выход из затруднительного положения.