

4. СВЯЗЬ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РУССКИХ ФИЗИКОВ С РАБОТАМИ ГЕЛЬМГОЛЬЦА

4.1 В в е д е н и е

Электродинамические работы Гельмгольца были связаны с работами отдельных русских физиков по-разному. Самое сильное влияние воззрений Гельмгольца сказалось на тех русских физиках, которые, как Н.п.Шиллер и П.А.Зилов свои первые экспериментальные исследования выполнили в берлинской лаборатории.

Связь между работами Гельмгольца и Р.А.Колли носит другой характер. Колли тоже работал в лаборатории Гельмгольца, но в тот период когда уже твердо сформулировалась его научная позиция, когда он уже занимал должность профессора физики в Казанском университете.

Кроме того, существует еще третья группа ученых, которые связаны с Гельмгольцем только посредством научных работ. К ним принадлежит Д.А.Гольдгаммер. Эта группа - самая обширная и в своих границах самая неопределенная. Влияние Гельмгольца в этом отношении ограничивать можно только во времени, поскольку основное влияние его электродинамических работ проявляется в период до открытия Герцем электромагнитных волн.

Физический институт Берлинского университета после назначения Гельмгольца его директором скоро стал международным центром молодых физиков. Среди них находились и русские ученые. Если в Гейдельберге у Гельмгольца, соответственно должности его как профессора физиологии, работали русские биологи и врачи, как например И.М.Сеченов, то в Берлине около Гельмгольца собирались русские физики: Н.Н.Шиллер, П.А.Зилов, Р.А.Колли, А.П.Соколов и другие.

Этот факт был далеко не случайным. Командировки русских физиков за границу прежде всего представляли собой важный этап в систематической подготовке научных кадров при Московском университете. В 60-х, 70-х и 80-х годах русские физики работали так же у Кирхгоффа в Гейдельберге, а позже у Кундта в Страсбурге и в Берлине.

Особенную роль в формировании Московской школы физиков сыграл А.Г.Столетов /см.66/. Он сам первым в 1862 году получил стипендию для командировки за границу и несколько лет работал прежде всего в Гейдельберге у Кирхгофа I/.

В Западной Европе Столетов и "познакомился с той экспериментальной наукой, которой почти не было в России, и которая заставила его усиленно думать о работах по опытной физике и о создании для этого подходящих условий в Москве" /42; стр.759/ Прежде всего этот опыт позволил Столетову в дальнейшем в Московском университете вести упорную борьбу за улучшение условий исследования в области физики, и, как только это позволили материальные обстоятельства, организовать преподавание, практику и исследования на уровне, не ниже известных иностранных физических центров /см. 10; стр.2/.

" В начале 70-х годов - пишет Столетов - под впечатлением виденных мной заграничных физических лабораторий.., я стал хлопотать об организации подобного института, хотя бы в скромных размерах, при Московском университете" / 63; стр.409-410/.

Большое внимание Столетов уделял систематической подготовке I/ В Гейдельберге Столетов работал вместе с русским физиком К.А.Рачинским. В наследии Гельмгольца нашлась личная рекомендация последнего Гельмгольцу /см. Приложение 6/.

товке научных кадров и не жалел труда в создании необходимых для этого условий. К таким мероприятиям принадлежала и двухлетняя командировка его учеников за границу. В то время Столетов поддерживал связь с ними, помогал им и продолжал руководить их работами.

Одной из причин для заграничных командировок являлись неудовлетворительные условия для экспериментальных работ в русских университетах. Столетов /62/ очень жаловался на то, что именно в тот период, когда экспериментальные основы физики беспримерно быстро развивались, когда везде возникали физические институты, соответствующие всем потребностям исследователей, когда создавалась специальная лабораторная техника, русские физики были вынуждены работать в прежних устаревших условиях.

В инструкции Михельсону для занятий за границей Столетов подчеркнул необходимость этой стороны усовершенствования молодых физиков:

"Господину Михельсону рекомендуется - пишет Столетов, ... посвятить себя преимущественно экспериментальным упражнениям и исследованиям... господин Михельсон должен иметь в виду... пополнить те проблемы по изучению основных классических приемов исследования, какие неизбежно останутся после занятий в русских лабораториях, вследствие неудовлетворительного состояния этих последних. С этой целью не следует пренебрегать и элементарными практическими курсами немецких институтов, насколько они могут быть полезны молодому русскому ученому" /66; стр. 28-29 /.

но этим ценность заграничных командировок далеко не исчерпывалась. Другая и, очевидно, не менее важная сторона - это влияние научных коллективов, влияние самых выдающихся ученых на формирование молодых физиков.

Те, кто ~~тогда~~ бывал за границей, позже вспоминали именно об этом. Так К.А.Тимирязев, который сам несколько семестров работал в Гейдельберге, пишет: "В то время еще далеко было до тех... дворцов, в которых расположилась наука нашего времени, но зато под одной крышей... помещались Кирхгоф и Гельмгольц" /68; стр.9 /.

Чувство уважения русских коллег и бывших учеников к Гельмгольцу нашло свое самое яркое проявление во время празднования семидесятилетия со дня рождения Гельмгольца в 1891 году.

В Московском университете по инициативе Столетова, Колли Жуковского и других ученых был прочитан ряд публичных лекций о научной деятельности Гельмгольца в пользу гельмгольцевского фонда. / 1100 рублей было направлено в Берлин/.

Особенно Столетов высоко оценил заслуги Гельмгольца в развитии физики в России:

"Значение его /Гельмгольца - Г.Б./ - писал он - в качестве международного учителя... ни для одной страны /кроме родной ему Германии/ не было так велико, как для России" /2; стр.2/.

В дальнейшем, мы сможем убедиться в том, что в работах русских учеников Гельмгольца заметно его влияние как в выборе тем и экспериментальных методов, так и в той или иной мере в теоретических воззрениях.

Нельзя поэтому согласиться с высказываниями В.М.Дукова / 14; 1951; 15, 1953/ и Г.М.Теплякова /66, 1955 / о том, что

ученики Столетова в заграничных лабораториях получали лишь экспериментальные данные для своих работ, что они - более резко говоря - только использовали помещение берлинской лаборатории, что руководство лежало только в руках Столетова, что, в частности все темы были обработаны только по программе или по предложению последнего.

Относительно тем работ, сама инструкция Столетова Михельсону говорит о том, что "следует избрать специальную тему самостоятельного опытного исследования с одобрением директора института" /66; стр.29 /, т.е. Столетов далеко не имел в виду диктовать своим заграничным коллегам темы экспериментального исследования в их лабораториях.

Не может стоять вопрос о "первенстве" Столетова или Гельмгольца. Если учитывать роль Гельмгольца и Столетова в развитии электродинамики, тогда становится ясным, что оба имели много общих моментов в предмете и направлении своих исследований. Вспомним здесь только о том, что Столетов, поставивший перед своими учениками задачу подтвердить прежде всего экспериментальными работами теорию Максвелла, сам работал в области электродинамики и глубоко интересовался выяснением спорных вопросов этой области. Так он уже в 1862/63гг. в Гейдельберге работал над влиянием диэлектрика на электромагнитные явления и позже в 1879/81гг. над определением постоянной Максвелла.

Если сравнивать научные цели Столетова со стремлениями Гельмгольца, то нужно установить, что основное направление их исследований одинаково, что следовательно и нет причины противопоставлять влияния Гельмгольца и Столетова на совместных ученико

Связь между Гельмгольцем и Столетовым еще яснее выявляется, если учесть, что и Столетов не с самого начала был сторонником Максвелла. В 1866 г. в своей работе "Обзор теории электричества" /59/ он, хотя и с ограничением, признал закон Вебера, поскольку тот был единственным законом, который соединял в одном математическом выражении всю сумму исследованных тогда фактов об электричестве. В заключении этой работы он указал на возможность объяснить на основе опытов Фарадея электрические явления некоторыми изменениями в изоляторе.

"Но - добавил он, - мы не имеем еще теории, достаточно разработанной с этой новой точки зрения, - теории, которая бы в простоте и ясности основных представлений, в свободе от побочных гипотез и натяжек, не уступала общепринятому взгляду. С другой стороны не натолкнулись еще на такие факты, которые прямо и решительно противоречили бы идее о двух жидкостях... /59; стр.27/.

В 1872 году в работе "Обратный вывод основного электродинамического закона" /60 / Столетов явно стоит на стороне Гельмгольца. После критики предпосылок закона Ампера Столетов поставил перед собой задачу, выдвинуть самое простое выражение взаимодействий замкнутых токов, исходя из факта тождества действия замкнутого контура с током и магнитного двойного слоя.

В этой работе Столетов выдвинул выражение тождественное потенциалу Гельмгольца:

$$P = - \frac{1}{2} \frac{i \cdot i}{r} ds d\hat{s} \left[(1+k) \cos(ds, d\hat{s}) + (1-k) \cos(r, ds) \cos(r, d\hat{s}) \right].$$

Этим результатом Столетов Удовольствовался, поскольку "дальнейшее обобщение формулы... можно сделать по Гельмгольцу" /60; стр.152/.

Значит, еще в 1872 году Столетов стоял на позиции Гельмгольца и только в 1873 года с издания "Трактата по электричеству и магнетизму" Максвелла, Столетов стал опираться на теорию Максвелла.

В данной работе, соответственно теме, учитывается только влияние Гельмгольца на названных русских физиков.

На основе сделанных заметок можно, однако, предположить, что не только общее направление влияния Гельмгольца и Столетова на учеников совпадали, но часто и конкретные советы и предложения по разработке темы. Это тем более вероятно, что соответствующие вопросы стояли в центре внимания не только Гельмгольца и Столетова, но и представляли собой ~~■~~ решающие проблемы того периода, которыми занимались многие физики независимо от того, признали ^{за} они теорию Максвелла или нет.

4.2 Исследования Н.Н. Шиллером электрических колебаний и влияние Гельмгольца на эти труды

Николай Николаевич Шиллер /1848-1910/ явился одним из первых русских практикантов, которые работали в берлинской физической лаборатории Гельмгольца.

Шиллер в 1868г. окончил физический факультет Московского университета и с 1870 г. там же работал лаборантом под руководством Столетова.

В конце 1871 года ^{1/} Шиллер получил командировку за границу^{2/} Три года он работал в Берлине, в лаборатории Гельмгольца. Здесь он и провел первые опытные исследования, результаты которых позднее послужили ему для магистерской диссертации на тему "Опытные исследования электрических колебаний" /78; 1874/ и, кроме того, заложили основу для докторской диссертации "Электромагнитные свойства концов разомкнутых токов и диэлектриков" /82; 1876/

Можно утверждать, что Шиллер приехал в Берлин уже с определенными представлениями по крайней мере об области своих исследований. Об этом можно судить по первым публикациям Шиллера - две заметки о сущности индуктированных в разомкнутых цепях токов, написанные в 1869г. /75, 76 / .

В этих заметках Шиллер указывает на то, что индуктированные в разомкнутых цепях токи имеют колебательный характер и делает попытку вывести математические выражения для этих токов.

1/ См. 36, стр. 2.

2/ В списке философского факультета Берлинского университета с весны 1872г. по зимний семестр 1874/75гг.

Выбор Шиллером темы экспериментальной работы в берлинской лаборатории указывает на непосредственное влияние Гельмгольца.

По словам Шиллера сущность работы "Опытные исследования электрических колебаний" /78; 1874/ состояла в том, чтобы "приложить способ, данный Гельмгольцем в 1871г., к проверке теоретических законов электрических колебаний, исследовать некоторые явления, связанные с этими последними, на которые, по недостатку надлежащего метода, не было обращено внимания другими экспериментаторами" / 78; стр. 4 /.

Гельмголец, как мы уже видели, работал экспериментально над электрическими колебаниями, развивая в 1869г. новый метод измерения частоты этих колебаний. В 1871г. он использовал этот метод для проверки данных Блазерна (1870).

Основной прибор в исследованиях Гельмгольца для измерения времени электрических колебаний - специально сконструированный им "гальванический маятник". Маятник при падении ударяет по двум рычагам и таким образом размыкает в весьма короткий промежуток времени друг за другом два электрических контура. Время между размыканиями изменяемо и может быть точно определено. Первый рычаг размыкает первичную цепь и таким образом индуцируется ток во вторичной цепи с катушкой и обкладками конденсатора на концах. Второй рычаг позволяет отделять конденсатор от катушки в любой момент и таким образом определить разность потенциалов между обкладками конденсатора. Промежуток времени между двумя последовательными положениями второго рычага, для которых разность потенциалов равна нулю, дает время колебания.

Именно этот метод Шиллер подробно описывает в первых главах своей работы "Опытные исследования электрических коле-

баний". Потом, применяя его, он приступил к подтверждению законов электрических колебаний. Измерив время колебаний переменных токов, Шиллер между прочим смог доказать, что время колебаний пропорционально во-первых квадратному корню емкости системы и во-вторых квадратному корню индуктивности катушки. Таким образом Шиллер подтвердил найденные теоретическим путем выражения.

Среди исследованных Шиллером явлений, связанных с этими фактами, особенный интерес представляет определение по времени колебания переменных токов диэлектрических постоянных для нескольких изоляторов. При определении каждой постоянной измерялось время колебаний при трех разных условиях:

1. T_0 для цепи только с катушкой, без конденсатора.

2. T для цепи с катушкой и конденсатором, между обкладками которого находились пластинки соответствующего изолятора.

3. T' для той же самой цепи, что и в (2), но только без изолирующей пластинки. По результатам можно было определить отношение емкости конденсатора с изолятором к емкости того же конденсатора без изолятора, поскольку квадрат продолжительности одного колебаний можно считать пропорциональным емкости конденсатора. Получается отношение

$$\epsilon = \frac{T'^2 - T_0^2}{T^2 - T_0^2},$$

т.е. диэлектрическая постоянная изолятора.

Таким образом Шиллер определил диэлектрические постоянные девяти разных твердых изоляторов. Несмотря на то, что эти результаты не могли претендовать на большую точность, они имели

большое значение, потому что подтвердили высказывание Максвелла о том, что диэлектрическая постоянная изолятора должна быть равной квадрату его показателя преломления.

Именно это следствие теории Максвелла привело к тому, что в начале 70-х годов уделяли большое внимание определению диэлектрических постоянных. О.Д.Хвольсон даже говорит о том, что в то время вопрос о диэлектриках "сделался модным". /73; стр.412/. Здесь явно оказывается значительное преимущество теории Максвелла перед всеми другими тогда существовавшими теориями: она дала ряд следствий, доступных экспериментальной проверке в то время, как остальные теории содержали в себе лишь уже известные факты /см.94; стр.11/

Удовлетворительно точные измерения диэлектрических постоянных до данного времени прежде всего были сделаны Людвигом Больцманом, который с 1871 до 1874г. занимался почти исключительно этими определениями и которому принадлежат самые подробные работы того времени в данной области.

До Больцмана результаты позволяющие определить диэлектрические постоянные, были получены посредством опытов поставленных с недостаточной точностью и в основном проведенных не с целью проверить теорию Максвелла. Так например, Вернер Сименс в 1857 году определил диэлектрические постоянные стеарина и серы в ходе своих исследований электростатической индукции в кабеле /163; стр.91/. На основе метода Сименса Шиллер производил первые определения диэлектрических постоянных.

Любопытно заметить, что Больцман в 1871г. начал свои исследования определения электрических постоянных с целью подтвердить теорию Максвелла именно в берлинской физической

лаборатории под руководством Гельмгольца /см.95 и приложение I / Письма Больцмана к Гельмгольцу по этому вопросу свидетельствуют от том, что Гельмголец и в дальнейшем принимал участие в работах Больцмана. Больцман сам это подчеркнул в своей статье "Экспериментальное исследование электростатического действия диэлектрических тел" /88; стр.380/.

Больцман определял диэлектрическую постоянную методом, использованным уже Фарадеем. Он сравнивал емкость конденсатора при наличии диэлектрика с емкостью конденсатора в воздухе. О втором развитом Больцманом методе речь идет в письмах его к Гельмгольцу./см. приложения I,2,3 /.

Теоретически Больцман свои исследования основывал на работах Максвелла и Гельмгольца. В связи с этим он даже говорит о "теории Максвелла - Гельмгольца" /87; стр.413/.

Исследование Шиллера имело большое значение также потому, что оно привело к определению диэлектрических постоянных новым экспериментальным путем.

"Подобные определения, - пишет Шиллер, - насколько мне известно, не были еще производимы при таком коротком времени заряда, какое имеет место при электрических колебаниях; кроме того вообще не мало важно исследовать, каким образом диэлектрическая поляризация происходит в такие чрезвычайно малые интервалы времени" /78;стр.41/.

Этот метод соответствует требованию, поставленному Максвеллом в 1873г. подтвердить справедливость соотношения $\epsilon = n^2$ электродинамическими процессами, которые по скорости их изменения мало отличаются друг от друга./см.46; стр.558/

На большое значение работы Шиллера указывает то, что Максвелл в своей работе "Электричество в элементарной обработке" смог сослаться на ее результаты как на подтверждение его теории /47; стр.131-132/. Кроме результатов Больцмана и Шиллера, Максвелл также приводит значение диэлектрической постоянной, определенной П.А.Зиловым, исследования которого будут рассмотрены в следующей главе. Подчеркнем здесь только то, что работа Зилова была сделана также в берлинской физической лаборатории под руководством Гельмгольца.

Такие факты и противникам Максвелла не разрешили полностью отрицать эту теорию. Так, например, И.Фрёлих^{1/}, после того как он подверг критике теорию Максвелла, заметил в своей статье "Заметки об электромагнитной теории света Максвелла", что

"... было бы не соразмерно полностью отбрасывать эту теорию... потому что экспериментальные исследования Больцмана, Шиллера и Зилова, Рота^{2/} показали, что требования теории Максвелла для диэлектриков... хорошо согласовываются с опытом"/103; стр.101/

В 1882 г. В.Томсон в примечании к своей работе "О переходящих электрических токах" (1853) подчеркнул значение работ двух физиков для экспериментального подтверждения теории колебательного электрического разряда: Феддерсена и Шиллера. Работу Шиллера он оценил как очень важное и замечательно выполненное экспериментальное исследование /69; стр.257/.

Из работ Больцмана и из его письма Гельмгольцу от
1/ Fröhlich, Isidor (1853-1931)

2/Root, Elihu (1845-1880), работал в лаборатории Гельмгольца в области электрохимии /см. 129 /.

13.2.1875г. следует, что работа Шиллера ему была хорошо известна. В своей работе "О некоторых поправках, которые нужно внести в результаты моих опытов об электростатическом действии на расстоянии" /90; стр.586; 1874 и приложение 5 / Больцман обсуждал возможные неточности в работе Шиллера, причиной которых могли быть недостатки опытных устройств.

Шиллер сам в своей работе не раз указывал на подобные недостатки при проведении опытов. Однако этими вопросами он занимался не так подробно как Больцман. Работа Шиллера носит более общий характер исследования электрических колебаний, и определение диэлектрических постоянных составляло только часть этой работы. В соответствии с этим Шиллер довольствовался приблизительными результатами, в то время как Больцман сосредоточил свои усилия именно на возможно более точном определении диэлектрической постоянной.

Эта первая и основная работа Шиллера в берлинской лаборатории прежде всего отражает стремление Шиллера освоить все детали экспериментального метода, разработанного в основном Гельмгольцем в течение двадцати лет. В ней мало уделяется внимания связанным с этими вопросами теоретическим проблемам. Удивительно даже отсутствие малейшей ссылки на значение совпадения величин диэлектрической постоянной с квадратом показателя преломления для подтверждения теории Максвелла, в то время как Больцман, в результате своих определений диэлектрических постоянных прямо указал, что он "должен видеть в /своих/ опытах подтверждение теории Максвелла". /приложение I/

Вторая работа Шиллера "Электромагнитные свойства концов разомкнутых токов и диэлектриков" /82; 1876 /частично была сде-

лана уже в московской и киевской лабораториях . Она тоже непосредственно связана с нерешенными вопросами электродинамики. Она яснее первой указывает на отношения Шиллера к теоретическим точкам зрения Гельмгольца в области основных проблем электродинамики.

При этом сразу бросается в глаза, что уже сама выбранная тема связана с исследованиями и теоретическими взглядами Гельмгольца. Гельмголец в заключении своей работы "Сравнение законов электродинамических сил Ампера и Неймана" /122; 1873/I/ подчеркнул различные следствия обоих выражений:

Закон Ампера знает только силы, которые действуют между элементами токов.

Потенциальный закон, однако, кроме сил между элементами токов, учитывает еще

- а) силы между элементами токов и концами токов,
- б) силы между концами токов.

Эти следствия - по Гельмгольцу , - могли бы служить решением между обоими законами. Для этого он предложил два эксперимента, которые намеревался произвести сам. /122; стр.700 / . Первый из опытов - по словам Шиллера - состоит в следующем: "замкнутый круглый соленоид, концы проволоки которого соединены с обкладками круглого конденсатора, подвешенный вертикально вблизи от соленоида. Замкнутый соленоид, в случае существования упомянутых сил, должен вращать конденсатор около вертикальной оси и стремиться поставить его в плоскость соленоидального кольца" /82; стр.3/.

I/ В книге Шиллера "Электромагнитные свойства..." ошибочно: февраль 1872г. вместо февр. 1873г.

Но уже в 1874г. в третьей статье о теории электродинамики "Электродинамические силы в подвижных проводниках" Гельмгольц сам возражает, что

"там / в выше цитированной работе, - Г.Б./ запланированные опыты только тогда могут быть успешными, если применить очень большую массу проволоки и очень большие батареи. Легче наверно произвести иной класс опытов, на успех которого, однако, влияет еще и другой спорный между различными теориями вопрос.

Именно, теория Вебера предполагает, что электрические кванты, при каком-либо изменении их взаимного расположения должны производить электродинамические действия независимо от того, двигаются ли вместе с ними или нет их весомые носители.

Потенциальный закон, однако, знает только действия, которые производит протекающее электричество, когда оно перемещается по проводнику или относительно него. В соответствии с этим предположением можно было бы смотреть на острия, через которые вытекает или притекает электричество, как на концы тока, и они должны обнаруживать свойства последних" /125; стр.711-712/.

Эти размышления стали исходным моментом для исследований Шиллера об электромагнитных свойствах концов разомкнутых токов, которые он начал летом 1874г. в берлинской лаборатории.

Замечание В.М.Дукова /15; стр.581/ о том, что Гельмгольц лишь в 1874г. выдвинул предположение о возможности таких опытов и что Шиллер в своей работе отверг возможность осуществить их на практике и предположил свой путь решения того вопроса,

не соответствует фактам. Но на этой основе, Дуков, не ссылаясь на то, что Шиллер начал опыты в берлинской лаборатории, фактически противопоставляет стремления Гельмгольца работе Шиллера. Лишь в своей статье "Роль понятия конвекционного тока в развитии физики" /16; 1961 / Дуков в общих чертах указывает на связи между Гельмгольцем и Шиллером в этой области.

В работе "Опыты над электродвижущими силами, индуцированными движением в незамкнутой цепи" (1875) Гельмгольц сообщает о результатах исследования Шиллера:

"Потенциальный закон, - пишет он - приписывает электродинамическое действие только электричеству, движущемуся в весоных носителях, но не тому, которое отводится путем конвекции. Так, пришлось исследовать, показывает ли острие, из которого вытекает электричество, действие конца тока. Так как электричество, отведенное через воздух.. может быть, не следует рассматривать как электродинамическое продолжение проводника.

Подобные опыты Н.Шиллер производил прошлым летом в физической лаборатории местного университета.

Замкнутое кольцо из стали было обмотано проводом и намагничено. Степень намагничивания кольца можно было определить индукционным током, который возбуждался кольцом в ряде других проводов....

Кольцо было подвешено на длинной шелковой нитке, заключенной в коробку, снаружи накрытую станиолом, чтобы исключить электростатические силы притяжения. Также и стекло, через которое можно было наблюдать зеркало, прикрепленное к магниту, было покрыто металлической решеткой. С помощью
металлического

острия, вводимого снаружи, все электричество, произведенное быстро вращающейся машиной Гольца, отводилось в воздух. Острие было поставлено напротив той стороны, где внутри коробки находилась одна из вертикальных частей кольца.

В случае, когда острие действует как конец тока, в соответствии с потенциальной теорией, кольцо должно было бы отклоняться.

Но результат этих опытов был отрицательным. С тех пор Н. Шиллер продолжал эти опыты в Москве с помощью более совершенных приборов и в условиях, позволявших более точно определить величину намагничивания кольца и интенсивность тока, произведенного электростатической машиной, а также показывавших, что ожидаемое по потенциальному закону отклонение должно быть достаточно большим, чтобы можно было наблюдать его, если оно существует.

Результаты тоже были отрицательными. Я позволяю себе в конце этой статьи привести соответствующие сообщение из письма упомянутого экспериментатора ко мне. Более подробное описание этих опытов он желает дать сам.^{1/} /127; стр. 779-781/.

Как мы видим, Шиллер начал эти опыты не только под непосредственным влиянием работ Гельмгольца, но и при личном руководстве последнего. Однако, надежные результаты получились только при повторении опытов в более благоприятных для этих специальных исследований условиях в лаборатории Московского университета. Здесь, очевидно, играла значительную роль поддержка Столетова, который занимался исследованиями намагничивания и работа которого "Исследование о функции намагничивания мягкого железа" /61; 1872/ была известна в научном мире.

1/ Это было сделано впоследствии Шиллером в /173/.

Гельмгольц, по словам Шиллера, в разговоре с последним "отзывался с большой похвалой о работе А.Г.Столетова и ссылаясь на не как на авторитет"/84; стр.5 / .

О результатах своей работы Шиллер написал Гельмгольцу:

"Настоящим пользуюсь Вашим любезным разрешением писать Вам и позволю себе сообщить Вам об отрицательных результатах моих опытов с концами токов и с замкнутыми магнитами.

Постановка опытов, которым я посвятил всю зиму, была той же самой, с какой я начал подобные исследования в берлинском физическом институте... Цель моей работы в основном состояла в том, чтобы вычислить величину ожидаемого действия одного конца тока на замкнутый магнит посредством косвенных определений и потом сравнить результат вычисления с результатом наблюдений...

Ожидаемое отклонение / выраженное в делениях шкалы / должно быть... 20,2 единицы....

Но я могу с уверенностью утверждать, что в действительности невозможно было наблюдать ощутимого отклонения".

/Ш72; стр.416/.

Решение этой проблемы имело для Гельмгольца такое важное значение, что он сам параллельно с Шиллером производил подобные опыты еще другим путем, а именно на основе различия ожидаемого действия индукционных токов соответственно электродинамическим законам. Опыты Гельмгольца Шиллер описал в своей работе "Электромагнитные свойства концов разомкнутых токов и диэлектриков".

Гельмгольц также пришел к заключению, "что потенциальная теория, когда в ней учитывают только электрические движения в проводниках и их действия на расстоянии,

противоречит фактам.../127, стр.787/

"Но, - добавляет Гельмгольц в дальнейшем, - можно дополнить и потенциальный закон в соответствии с найденными результатами, если по Фарадею и Максвеллу принять, что и в изоляторах могут происходить электрические движения с электродинамическими действиями..." /127; стр.788/

Подобно тому как сам предмет исследований Шиллера непосредственно вытекал из работ Гельмгольца, его теоретические выводы в этой работе также оказываются почти тождественными со взглядами Гельмгольца.

Шиллер вывел из своих опытов заключение, "что или элементарный электродинамический закон, выведенный из потенциального закона, не верен, или что в настоящем опыте не было разомкнутого тока, а что кольцо находилось под действием электричества, движущегося в проводнике, и под действием изменяющейся диэлектрической поляризации, обусловленной движением наэлектризованных воздушных частиц. Которое из двух предположений вернее, - добавляет он, - может решить второй опыт" /82; стр.5 /.

Такой опыт, проведенный уже в киевской лаборатории, Шиллер описал во второй части своей работы. Здесь Шиллер сделал вывод, "что нет электродвижущей силы, предполагаемой законом Ампера. Стало быть остается допустить, что в электродинамическом отношении нет концов тока, и диэлектрики действуют как проводники" /82; стр.50/.

Шиллер, таким образом в своей работе исключил закон Ампера из ряда еще допустимых, и установил единственную возможность: существование только замкнутых токов, идущих частично через проводники, а частично через изоляторы. Но именно это явление

Шиллер в начале своей Шиллер в начале своей работы охарактеризовал как почву для теории Максвелла. Тем не менее Шиллер, даже получив вышеуказанные результаты, не решился занять позицию Максвелла. Он только установил факт существования лишь замкнутых токов и не сделал решительного выбора между теориями. Если, однако, учесть, что Шиллер цитирует мнение Гельмгольца о возможности дополнить потенциальный закон /82; стр.6/, то следует предположить, что Шиллер стоял ближе к позициям Гельмгольца, чем Максвелла.

Поэтому обобщение Г.М.Теплякова / 66; стр. 160/ о том, что русские физики, начиная научную деятельность с проверки теории Гельмгольца и Максвелла, неизменно становились на позиции Максвелла к Шиллеру не относится. Он не признал себя сторонником Максвелла, ни в этих работах и, поскольку мне известно, ни в дальнейших. Вся теорию Гельмгольца Шиллер в общих чертах характеризует только в своем отзыве о сочинении Д.А.Гольдгаммера "Электромагнитная теория света" в 1893 году /83 / И еще здесь Шиллер обсуждает обе теории как равноправные.

Таким образом, Шиллер, можно сказать, теснее других русских ученых примыкал к позициям Гельмгольца.

Мне не удалось найти источники, которые содержали бы личные воспоминания Шиллера о работе в берлинской лаборатории. Но протоколы Киевского физико-математического общества свидетельствуют о том, что после смерти Гельмгольца в 1894 году был организован ряд выступлений, в которых высоко оценивались заслуги Гельмгольца перед наукой. Шиллер сам выступил с краткой биографией покойного, с докладами о трудах Гельмгольца по электричеству и с личными воспоминаниями о Гельмгольце.

/см. 50, стр.11-14 /.

4.3. Работы П.А.Зилова в области электродинамики и их связь с трудами Гельмгольца

В берлинском Физическом институте работал также русский физик Петр Алексеевич Зилов (1849-1918). Указания о сроке пребывания Зилова в Берлине не совпадают. В списке философского факультета берлинского университета Зилов включен с весны 1875г. по зимний семестр 1877/78гг. Эти данные, однако, и не обязательно должны совпадать с действительным сроком пребывания Зилова в Берлине. Г.Н.Тепляков приводит указание на то, что Зилов был командирован за границу 1 декабря 1875 года /66 /. Заметка И.И.Косоногова о совместной работе Зилова и Шиллера в берлинской лаборатории /36; стр.2/ однако не совпадает с обоими данными /Шиллер осенью 1874г. вернулся в Москву./ Факт, что в последнем номере " Annalen der Physik " 1875г. была уже опубликована статья Зилова, содержащая первые результаты исследований в берлинской лаборатории, по крайней мере говорит против даты 1 декабря 1875г.

Круг исследований Зилова в берлинской лаборатории также тесно связан со спорными вопросами в электродинамике и свидетельствует о большом внимании, которое уделялось в лаборатории Гельмгольца систематическим экспериментальным обоснованиям этой области физики. Частично исследования Зилова представляют собой продолжение исследований Больцмана и Шиллера диэлектрической поляризации.

Большая часть результатов, полученных Зиловым в эти годы, была собрана в его магистерской диссертации "Опытное исследование диэлектрической поляризации в жидкостях" /22, 1877 /. Первая задача этой работы, по словам Зилова, заключалась в опре-

делении диэлектрических постоянных жидких изоляторов. Эти исследования позволили ему выяснить и ряд других фактов, связанных с диэлектрической поляризацией.

Результаты таких опытов впервые были опубликованы в 1875 и 1876 годах на немецком языке /164,165/. Кроме того, подробные отчеты Зилова родному ему университету о работе во время заграничной командировки были опубликованы в 1877 и 1878 гг. в отчетах Московского университета /19, 21/. Они имеют характер научных публикаций.

До Зилова, кроме Фарадея, опыты которого прежде всего носили качественный характер, никто не занимался определением диэлектрических постоянных жидкостей. Но, как мы уже видели, интерес к этому вопросу бурно возрос в связи с появлением теории Максвелла. После доказательства численного совпадения корня диэлектрической постоянной с показателем преломления для твердых веществ, вполне естественно появилось стремление проверить это отношение и для диэлектриков других агрегатных состояний.

Так Больцман в 1874 г. обратился к определению диэлектрических постоянных газообразных диэлектриков /89 /. Здесь мнение Фарадея, подтвержденное еще Сименсом в 1857 году /163/, о том, что все газы имеют ту же самую диэлектрическую постоянную как и воздух прямо противоречило следствию теории Максвелла, поскольку были уже известны отличающиеся друг от друга показатели преломления разных газов. Больцману удалось весьма точно определить диэлектрические постоянные некоторых газов и показать, что они различны для каждого газа и удовлетворяют отношению с показателем преломления.

Но кроме огромного теоретического интереса, также и трудности, возникшие при определении диэлектрических постоянных твердых изоляторов, привлекли исследователей именно к этой области. Больцман в своей работе подчеркнул, что газы обнаружили ряд свойств, которые позволили предположить, что определение их диэлектрических постоянных приведет к более точным результатам. Так, они обладают хорошими изолирующими свойствами, что освобождает от побочных нежелательных действий; они однородно заполняют промежуток между обкладками конденсатора и могут быть получены в чистом виде более легким путем, чем твердые изоляторы.

Зилов, учитывая подобные же преимущества жидких диэлектриков и то, что для прозрачных сред сравнительно легко определить показатель преломления, обратился к изучению диэлектрической поляризации в жидких изоляторах, имея в виду пополнить знания о диэлектриках и доказать верность соотношений Максвелла и в этой области.

Зилов производил опыты двумя методами. Первый метод - это уже известный метод измерения емкости конденсатора в немного видоизмененной в соответствии с условиями, форме. Второй метод опирается на закон Кулона, по которому сила, взаимодействия двух электрических зарядов пропорциональна произведению электрических зарядов и обратно пропорциональна диэлектрической постоянной и квадрату расстояния между ними.

"Эта теорема, - пишет Зилов, - до сих пор не была еще проверена экспериментально; такое оправдание ее, вытекающее из моих опытов, интересно и с другой стороны, как доказательство, что во взаимодействии электрических масс окружающая среда принимает участие" /22, стр.3-4/.

Зилов здесь ссылается не на работы Фарадея или Максвелла, а на первую статью Гельмгольца по теории электродинамики. Удивительно, однако, что он в своей работе называет выражение закона Кулона при наличии диэлектрика "теоремой Гельмгольца", не учитывая работы Кавендиша, Фарадея и Максвелла, в которых оно уже было приведено. Гельмголец лишь предложил Зилову определить диэлектрические постоянные на основе этого закона /см.164; стр. 390/.

Прибор, устроенный Зиловым специально для таких опытов, представлял собой особый вид квадрант-электрометра. Каждый опыт состоял из двух измерений. Во-первых, было определено отклонение стрелки в воздухе при зарядении электрометра до известного потенциала, во-вторых, были сделаны те же самые определения в присутствии в сосуде диэлектрика. Второе отклонение должно было быть в ϵ раз больше первого.

Таким способом Зилов определил диэлектрические постоянные для двух сортов скипидара и одного сорта керосина. Найденные результаты хорошо подтверждали соотношения, существующие по теории Максвелла между диэлектрической постоянной и показателем преломления жидкости, и Зилов смог сделать заключение, что:

"Чем строже соблюдены условия опыта, при которых определена диэлектрическая постоянная изолятора, и чем длиннее волна света, для которой найден показатель преломления того же изолятора, тем лучше оправдывается закон Максвелла /22; стр.45/.

На результаты Зилова Гельмголец в 1881г. ссылался в работе "О силах, действующих внутри тел, поляризованных магнитным или диэлектрическим способом" /130; стр.819/.

Собственно экспериментальная, третья часть работы Зилова исчерпывается определением диэлектрических постоянных. Сравнение результатов, полученных из двух примененных методов позволило сделать вывод, что метод, основанный на законе Кулона не менее подходит к определению диэлектрической постоянной, чем метод с конденсатором. Таким образом, результаты Зилова одновременно представляют собой экспериментальное подтверждение этого закона при наличии диэлектрика. Они доказали, что диэлектрик влияет на электрические ponderomotorные силы.

Вторая часть работы, в которой Зилов дал обзор прежних опытных исследований поляризации в твердых и газообразных изоляторах, свидетельствует о том, что научные стремления Зилова распространялись гораздо дальше. В конечном счете они были направлены на возможно более полное доказательство теории Максвелла.

Так после обзора предшествовавших ему опытов по определению диэлектрических постоянных, он останавливает свое внимание на способах определения величины v в теории Максвелла. На основе сравнения существовавших до того времени измерений отношения электромагнитных единиц электричества к электростатическим со скоростью света, он пришел к заключению, что

" Близость этих двух чисел, полученных совершенно различными и притом одинаково трудными путями, столь велика, что не оставляет ни малейшего сомнения в верности мысли, которая лежит в основании электромагнитной теории света" /22; стр.40/.

В следующем параграфе Зилов даже ищет еще более непосредственные доказательства для верности электромагнитной теории Максвелла. Указав на косвенное доказательство существо-

вания тока смещения Шиллером, он предлагает опытную установку, с помощью которой возможно было бы непосредственно обнаружить это явление. Зилов, однако, не произвел таких опытов. Зато он указывает на другую возможность проверить гипотезу о поляризации среды, поскольку изменение молекулярного строения, возникающее в диэлектрике вследствие поляризации, должно быть обнаружено оптическим путем. На существование таких эффектов указывало открытие И. Керром в 1875г. двойного преломления в наэлектризованном диэлектрике^{1/}. Опыты Керра, следовательно, вызвали большой интерес. Зилов, по предложению Гельмгольца, повторил опыты Керра, но он не смог обнаружить подобного явления. Поэтому в своей работе он подробно не рассматривал эту проблему.

В конце второй главы работы "Опытное исследование диэлектрической поляризации в жидкостях" Зилов занимался вопросом о влиянии диэлектрической среды на электромагнитную индукцию. В начале он уделял внимание попыткам исследовать влияние диэлектрика на скорость распространения электромагнитного возмущения через диэлектрик.

Как мы уже видели, Гельмгольд в связи с работами Блазерна в 1871 году занимался исследованием скорости распространения электродинамических действий в воздухе. Он, однако, не исследовал возможность влияния других диэлектриков на скорость распространения электродинамических действий, но в своей работе подчеркнул важность подобных исследований и сам считал возможным такое воздействие /120; стр.631/.

Подобная задача была поставлена позже Шиллером в рамках исследований влияния диэлектрической поляризации окружающей среды на электрические колебания /78; стр.54/. Он произвел проверку высказывания Блазерна, что скорость распространения

1/ Описание опыта см. 41, стр.196.

индукции различна для различных изоляторов. Но он не смог найти никакой разницы.

В 1875 году была опубликована работа, в которой утверждалось, что величина э.д.с. электромагнитной индукции зависит от свойств диэлектрика. Речь идет о статье: "Сообщение о начатых покойным проф. Мюллером исследованиях о влиянии изоляторов на электродинамические дальние действия", опубликованной А.Клейнером /156/.

Результаты этой работы были довольно сомнительными, так как разница измеренных токов при наличии или при отсутствии твердого диэлектрика была крайне незначительной.

И, действительно, Зилов, повторяя эти опыты несколько другим методом, не нашел ни малейшего отличия.

Зилов, однако, не довольствовался этим результатом. Он подробнее развил теоретические основы этого вопроса и пришел к заключению, "что на величину электродинамической индукции может оказывать влияние только магнитная, а не диэлектрическая среда" /22; стр.43/.

Таким образом, эта проблема находится в непосредственной связи с работами Зилова по исследованию слабо магнитных тел, которые он начал в 1876 году в берлинской лаборатории и продолжал в Московском университете под руководством Столетова /см.166.

"После того, - пишет Зилов, - как я в 1877г., во время моего пребывания в Берлине, определил коэффициент намагничивания раствора хлорида железа, я пытался, по совету Гельмгольца, определить этот же коэффициент другим методом. Для этого должно быть использовано влияние намагниченной жидкости на явление индукции..." /167; стр.1/. Из-за отсутствия нужной аппаратуры

он, однако, был вынужден откладывать производство опытов. В 1878 г. И.И. Боргман опубликовал результат своих исследований опирающийся именно на этот принцип. Зилов только в 1879 г. смог осуществить свои намерения /168/. Найденные результаты позволили ему сделать заключение, что этот метод надежнее других существующих.

Из вышеприведенных фактов видно, что Гельмгольц сильно влиял на выбор отдельных тем электродинамических работ Зилова и на методы решения задач. Это влияние не ограничивалось только временем пребывания Зилова в Берлине, но и отразилось на дальнейших исследованиях Зилова в лаборатории Московского университета.

Если задачи, поставленные Гельмгольцем Шиллеру, частично еще были связаны с проверкой следствий теории самого Гельмгольца то задачи, предложенные Зилову, уже исключительно направлены на непосредственную проверку теории Максвелла.

В этом и сказывается истинный интерес Гельмгольца к систематическому последовательному решению поднятых проблем.

Факт сильного воздействия Гельмгольца на работы Зилова наряду с влиянием на них теории Максвелла подтверждается тоже в теоретических воззрениях Зилова.

Изложение Зиловым в своей работе теории диэлектрической поляризации основывалось на теории Гельмгольца. Зилов исходил из понятия электрического момента и сравнивал электрические процессы в различных диэлектриках с аналогичными процессами в пустоте. Поскольку, однако, все опыты производились в поляризуемой среде, он преобразовал результаты таким же образом как и Гельмгольц. В конце концов он вывел уравнения электро-

магнитных волн соответственно теории Гельмгольца и нашел формулу скорости их распространения

$$v_{эфир} = c_{эфир} \sqrt{\frac{1 + 4\pi\chi_0}{4\pi\chi_0}}$$

Однако следует отметить влияние теории Максвелла на работу Зилова. Это в некоторой степени уже видно из стремлений Зилова сравнивать обе теории именно там, где разные гипотетические основы отражаются в математической разработке. В конце теоретической части становится ясным, что теория Максвелла определила исследования Зилова прежде всего не всеми своими гипотетическими предположениями, но своими следствиями. Они оказались решающими для представлений Зилова. В конечном счете он признал развитую им со всей широтой теорию Гельмгольца только в таких пределах, в которых ее результаты совпадали с результатами Максвелла, т.е. при $\epsilon_0 \rightarrow \infty$.

Можно таким образом, предполагать, что Зилов с самого начала своей научной деятельности был сторонником электромагнитной теории Максвелла. Так его все и характеризует в научной литературе.

Нужно, однако, заметить, что часто цитируемые выводы, сделанные Зиловым в заключение теоретической трактовки диэлектрической поляризации, для этого не могут дать однозначного доказательства.

Зилов пишет: "... действие электромагнитных сил распространяется в диэлектрической среде совершенно также, как световые колебания распространяются в прозрачной среде. Что касается длины электрических волн, то надо думать, что она бесконечно велика сравнительно с длиной световых волн" /22; стр.25/ и

вследствие этого Зилов допускает, "что среда, служащая для распространения электромагнитных сил, есть световой эфир" /22; стр.26/. Эти слова тоже не противоречат теории Гельмгольца. На примере работы Зилова показывается ясно, что просто невозможно определить точные границы между влиянием Максвелла и Гельмгольца на молодых физиков. Здесь показывается бесплодность альтернативы: Максвелл или Гельмголец.

Зилов ссылаясь именно на работы Гельмгольца, поскольку их результаты частично совпадали с теорией Максвелла и выполнял предположенные Гельмгольцем исследования, потому что они соответствовали его собственным интересам экспериментального подтверждения теории Максвелла.

4.4. Исследование Р.А.Колли электрических колебаний

Р.А.Колли (1845-1891) провел в берлинском университете, во вновь построенном Физическом институте, зимний семестр 1881-1882гг.

После окончания учебы Колли с 1873 года работал первым лаборантом в физической лаборатории Московского университета, руководителем которой был Столетов. В 1876г. он стал магистром физики, завершив работу " Исследование одного случая работы гальванического тока" /27 /, а в 1878г. он защитил докторскую диссертацию "О поляризации в электролитах" /28 /.

В это время Колли уже занимал место доцента Казанского университета и в том же году он стал там же профессором физики.

Значит, у Колли, когда он отправился в Берлин, чтобы знакомиться со способами преподавания и исследований в самом большом тогда германском университете, уже твердо сформировались научные воззрения. В отличие от Шиллера и Зилова, он не начинал в Берлинском институте свой исследовательский путь, но произведенными там работами он завершил круг исследований, которыми занимался уже несколько лет.

В своем сообщении о заграничной поездке в Секции физико-математических наук Общества естествоиспытателей при Императорском Казанском университете от 21 октября 1882. Колли подчеркнул что " В Физическом институте /берлинского университета -Г.Б./ не только производятся обычные практические упражнения студентов..., но там постоянно работает немало лиц, более или менее известных в ученом мире, можно встретить работающих даже из таких отдаленных стран как Соединенные

Штаты Америки и Австралия")31; стр.28/.

Колли можно причислить именно к этой последней группе уже известных физиков, которых привлекало к себе имя выдающегося коллеги, который превратил Институт в центр международного сотрудничества.

Проф. Колли - по собственным его словам - "был весьма любезно принят проф. Гельмгольцем, который предоставил в его распоряжение отдельную рабочую комнату и все необходимые инструменты для выполнения предпринятой экспериментальной работы, и помогал ему советами во время хода ее" /31; стр.28/.

Много лет спустя, в 1891г., в своем докладе " О сохранении энергии", посвященном семидесятилетию со дня рождения Гельмгольца, Колли вспоминал о незабываемом впечатлении, которое производила личность Гельмгольца на всех, кто работал у него:

"Живо помню я беседы великого учителя - пишет Колли.- Правда, не всегда бывал он, как говорится, в ударе. Но если, заинтересовавшись той или другой стадией в ходе исследования, он примется, бывало, развивать тему, указывать на аналогию и связь данного вопроса с другими, иногда из совершенно чуждых областей, - не знаешь, чему более удивляться: обширности ли познаний, или глубине и оригинальности идей. Каждая такая беседа в уме сколько-нибудь пытливым, оставляла впечатление существования еще массы новых вопросов, ждущих разрешения, новых тем для интересных экспериментальных или теоретических работ. Не мудрено поэтому, что в обширном Физическом институте, вмещавшем десятков работающих, для каждого находилось интересное и подходящее дело. Физики, собравшиеся со всех концов света в институт на Neue Wilhelmstraße видели там перед собой примеры и руководство в истинно

научных приемах исследования, и потом распространяли по своим углам славу великого учителя" /35; стр.29-30/.

Научные исследования Колли сосредоточились на области электричества, а до прибытия в Бердин на электрохимии. На первом плане здесь стояли вопросы энергетики электрохимических процессов. Работы, проведенные им в Берлине и опубликованные в "Annalen der Physik".

1882г. можно рассматривать фактически как заключение этого комплекса исследований /96,97,98 /. Результаты этих исследований были подготовлены теоретически или экспериментально уже в более ранних работах.

В работах Колли мы не находим ссылок на то, что Гельмгольц непосредственно влиял на методы исследования Колли. Влияние Гельмгольца на работы Колли имело другой, более общий и косвенный характер. Связь устанавливается посредством научных публикаций Гельмгольца, которые почти во всех отраслях физики обогащали науку ценными работами, ^{так} что каждый исследователь того времени обязательно должен был учитывать труды Гельмгольца.

Так Колли в своих работах над электрическими свойствами электролитов ссылается прежде всего на исследования Гельмгольцем двойных электрических слоев на электродах /129/. Гельмгольц в этих работах дал объяснение действия гальванического элемента, по которому двойной слой на каждом электроде представляет собой конденсатор, а электролит играет роль соединительного проводника /123 /. Работы Гельмгольца по гальванизму послужили Колли и для теоретического объяснения собственных экспериментальных результатов /27 / и стали исходным пунктом критического обсуждения проблем /28 /. Поскольку, однако, ра-

боты Гельмгольца по электрохимии не включены в диссертацию, эти отношения между Гельмгольцем и Колли подробно не могут быть рассмотрены I/. Я хочу указать только на то, что темы всех работ Колли этого периода непосредственно выражают стремление автора подтвердить теорию Максвелла. Так, например, Колли в своей работе "О существовании диэлектрической поляризации в электролитах" /96/ подтвердил предположения Фарадея и Максвелла о том, что диэлектрическая поляризация существует не только в изоляторах, но также в проводниках. Дальше можно привести работу его "Доказательство существования электромоторной силы Y_{me} Максвелла" /98/.

После пребывания Колли в Берлине он изменил предмет своего исследования и в дальнейшем занимался вопросами электрических колебаний. Здесь он непосредственно продолжил труды Гельмгольца и Шиллера.

Имеющиеся материалы не позволяют решить вопрос, связано ли это изменение предмета исследований Колли с пребыванием в берлинской лаборатории, или нет. Возможно, однако, что личное знакомство Колли с Гельмгольцем, так же как с Шиллером и Герцем способствовало такому изменению.

В 1885г. после трехлетнего перерыва была опубликована первая работа Колли в области электрических колебаний "О нескольких новых методах изучения электрических колебаний и о некоторых их приложениях" /32 /.

В том же году Колли пишет Столетову следующее о новом предмете исследований:

I/ Подробное изложение работ Колли смотрите /66/

"К концу зимы надеюсь прислать Вам результаты работы, над которой провозился два года. Она касается новых, более удобных методов наблюдения электрических колебаний.

Я на все это смотрю, главным образом, как на некоторый новый метод исследования, и в настоящую минуту занят приложением его к разным вопросам, между прочим, к вопросу, некогда вас интересовавшему, о величине v /66, стр.110/.

В первом параграфе работы "О нескольких новых методах изучения электрических колебаний..." Колли дает литературный обзор теоретических и экспериментальных исследований колебательного электрического разряда, на который Г.Герц ссылался в своей работе "О весьма быстрых электрических колебаниях" /149; стр.32/. Причем он рассмотрел все важные работы в этой области, начиная с теоретических предсказаний этого явления Томсоном в 1853г^I/, до систематического экспериментального исследования Шиллера. На работу Гельмгольца "О электрических колебаниях" (1869) Колли ссылается как на одну из работ, которые констатировали фактическое существование этого явления. В заключении обзора Колли пришел к мнению, что

"Благодаря теоретическим исследованиям Томсона, также Кирхгофа и Гельмгольца и... экспериментальным работам, законы электрических колебаний можно считать в настоящее время вполне известными" /32, стр.2/.

Поэтому, когда Колли обратился к исследованию этого явления, он прежде всего имел в виду "отыскать другие методы исследования электрических колебаний, более простые и удобные" /Колли не ссылается ни на предсказание этого явления Генри в 1842г., ни на предположение Гельмгольца в работе "О сохранении силы" (1847).

применимые", /32; стр.5/, чем развитые Шиллером и другими физиками до того времени. Эту задачу Колли считал крайне важной, поскольку точное определение периода колебаний и коэффициента затухания, как показали уже опыты Шиллера, позволяло определить ряд других физических величин, характеризующих электрические контуры.

"Этот метод, - пишет Колли, - может во многих случаях составить новое и могущественное орудие исследования в области электричества, ибо, смотря по обстоятельствам

1. Он может быть приложен там, где не приложимы другие методы;

2. он может дать возможность иным, существенно отличным путем измерить величины, уже определенные другими способами, что составляет всегда желательный способ контроля;

3. он может позволить делать исследования величин при своеобразных экспериментальных условиях" /32; стр.3/

Метод, предложенный Колли для изучения электрических колебаний, основывается на использовании возникающего при размыкании цепи тока самоиндукции /см.рис.7/ .

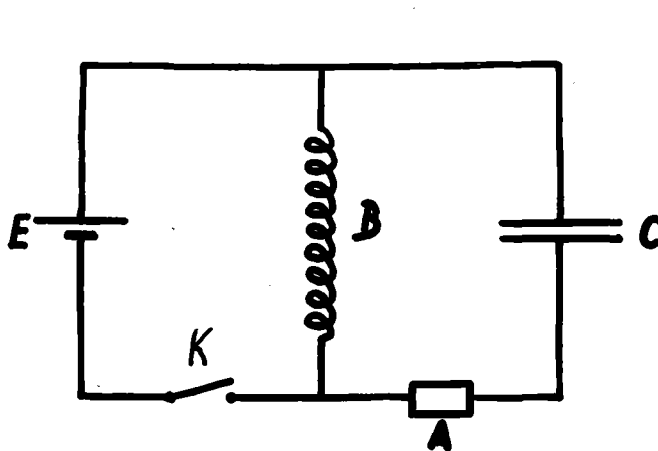


Рис. 7

Когда прерыватель К замкнут, ток батареи Е идет через катушку В. Когда прерывается цепь ЕКВ, ток самоиндукции заряжает конденсатор С, и появляются электрические колебания в цепи АВС, где А - прибор для наблюдения колебаний - осциллограф, построенный самими Колли.

В отличие от метода Колли, в начале подобных исследований Фарадей и частично Больцман заряжали конденсатор с помощью источника статического электричества, которое потом разряжалось через соединительную проволоку. /см. рис.8/.

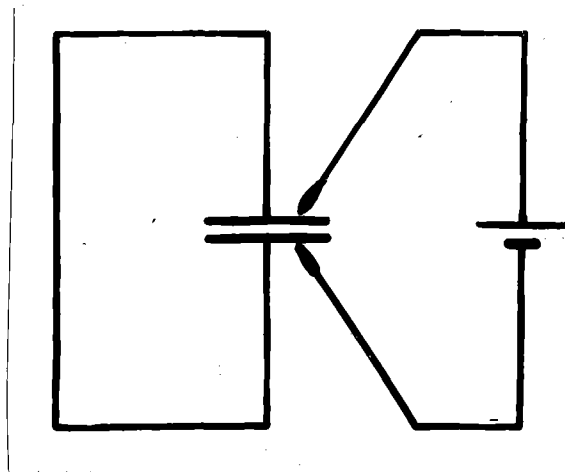


Рис.8

Гельмгольц и Шиллер в своих опытах использовали для определения колебаний, как мы видели, токи, индуктированные при размыкании первичной цепи во второй контуре /см.рис.9/.

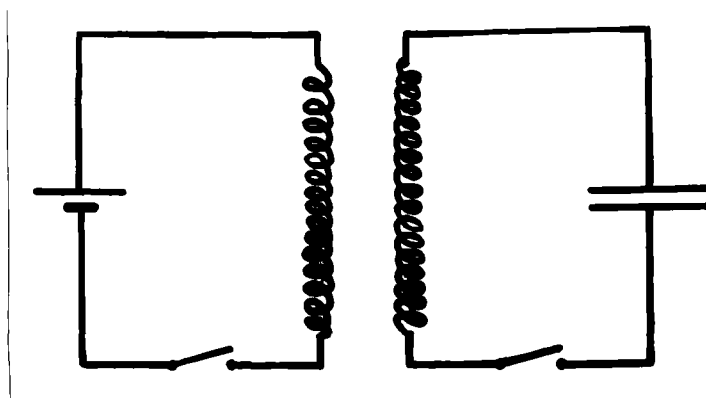


Рис.9

По теории электрических колебаний период колебаний и коэффициент затухания Колли вычислил при условии $4 \frac{L}{C} R^2$, значит, пренебрегая сопротивлением цепи, из формул :

$$T = \pi \sqrt{LC}$$

и

$$\lambda = \frac{R\pi}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} .$$

Эти формулы экспериментально подтвердил уже Шиллер. Преимущество метода Колли прежде всего состояло в применении сконструированного им осциллографа. Такая аппаратура дала возможность наблюдать непосредственно процесс колебаний, в то время как по методу Гельмгольца нужно было определять каждую точку кривой специальным опытом.

Уже В.Феддерсен в 1858г. стремился подобным путем отражать, хотя бы не непосредственные колебания, а искры, возникающие вследствие колебаний в незамкнутом контуре.

" Единственный способ, - писал он, - каким, вообще, возможно произвести прямой анализ искры, кажется мне, заключается в том, чтобы превращать при помощи механического движения интервалы времени в промежутки пространства. На этом принципе основывается метод вращающегося зеркала, который я считал самым подходящим для моей цели".

/70; стр.264/.

Интересно, что Феддерсен уже фиксировал эти довольно короткие явления на фотографическую пластинку и таким образом нашел возможность спокойно рассмотреть результаты^{I/}./см.71;стр.275.

I/ Кроме метода Феддерсена, Колли ссылается еще на методы наблюдения электрических колебаний, развитые другими физиками.

В осциллографе с зеркалом Колли комбинируются два перпендикулярных между собой движения. Одно движение совершает зеркало-магнит внутри катушки, колеблющееся при прохождении через последнюю электрического тока, другое - вращающийся диск с тонким отверстием, через которое при определенном положении свет падает на зеркало. В результате обоих совместных движений получается волнообразная линия с убывающей постепенно амплитудой

После того, как Колли в первой части работы "О нескольких новых методах изучения электрических колебаний" изложил основной метод своих исследований, во второй части он описал способ его приложения к определению соотношения между электрической и электромагнитной единицей количества электричества.

"Точное знание .../этой постоянной -Г.Б./, - пишет он, - есть предмет первостепенной важности по двум причинам: первая причина та, что в точной науке необходимо точное знание основных единиц, которыми мы мерим величины и их соотношения между собой, вторая заключается в том физическом значении, которое имеет величина v в электромагнитной теории света". /32; стр.41/.

Именно последняя причина в предыдущее время побуждала многих физиков определить эту величину .

Как Шиллер определил диэлектрические постоянные методом, отличающимся от всех других, так и Колли определил величину v с помощью электромагнитных колебаний новым методом, отличающимся от всех прежних I/.

При установлении уравнения для v Колли исходит из
I/ Как приводит Колли, В.Томсон уже раньше указал на теоретическую возможность определения величины этим путем, но не был уверен в практичности этого пути.

формулы для периода электрических колебаний

$$T = \pi \sqrt{LC},$$

где L — коэффициент самоиндукции
и C — емкость конденсатора.

Обе величины должны быть измерены в одной системе единиц, например, в электромагнитной. Но если емкость конденсатора измерим в электростатических единицах $[C]$, тогда та же емкость в электромагнитной системе будет $\frac{C}{v^2}$.

Получается выражение:

$$v = \frac{1}{L} \sqrt{LC}.$$

Определение v , таким образом, прежде всего имело то преимущество, что требовало измерения только двух величин в абсолютных величинах, имеющих размерность лишь длины и времени, а не требовало абсолютного измерения электровозбудительных сил или сопротивлений.

В результате своих исследований Колли определил

$$v = 3,09 \cdot 10^{10} \text{ см/сек.}$$

В дальнейшем Колли еще уточнил свои измерения, прежде всего за счет улучшения осциллографа, и опубликовал эти новые результаты в дополнении к работе "О некоторых новых методах изучения электрических колебаний" /33;/. Результат этой работы

$$v = 3,015 \cdot 10^{10} \text{ см/сек.}$$

хорошо соответствовал другим определениям этой величины.

Дальнейшее желательное уточнение измерений Колли, однако, вы-

нужден был предложить другим физикам из-за отсутствия нужного для этого оборудования в лаборатории.

В 1891 г. Колли опять сообщил об усовершенствовании своего осциллометра в работе "Снаряд для наблюдения медленных электрических колебаний" /34 /. Но уже до этой работы Колли обратился к другому исследованию в области электрических колебаний, "К теории снаряда Румкорфа" /34; 1891/. Этот прибор становился основным для всех опытов над электрическими колебаниями, и с момента открытий Герца находился в центре внимания физиков. Несмотря на это, процессы в катушке Румкорфа теоретически еще не были определены. Работа Колли, хотя и не была лишена недостатков, стала исходным пунктом ряда дальнейших исследований, в которых были изучены не учтенные Колли влияния I/. Все эти исследования по их содержанию стоят очень близко к исследованиям Гельмгольца и его школы. Тем не менее не обнаруживается непосредственной связи работ Колли с Гельмгольцем. Исследования Гельмгольца и Колли лишь косвенно связаны последовательностью работ в области электрических колебаний.

I/ Подробное изложение содержания этой работы см./24 стр.112-130/.

4.5 Влияние работ Гельмгольца на исследование Д.А.Гольдгаммера электродинамической теории света

Д.А.Гольдгаммер (1860-1922) не был непосредственным учеником Гельмгольца. В 1882г он окончил Московский университет. В 1884г. он сдал магистерский экзамен и после этого, в конце 1885г. был отправлен в заграничную командировку в Страсбург. Здесь он работал два года, до конца 1887г., под руководством физика А.Кундта (1839-1894). /см. 57; стр.331 и 10 /.

«Если поколение наших русских учителей, физиков 60х-70-х годов, - пишет Гольдгаммер,- училось работать в Гейдельберге и Берлине, у Магнуса, Гельмгольца, Кирхгофа, то молодое поколение физиков 80-х и 90-х годов за немногими исключениями училось у Кундта" /9; стр.13/. А.Кундт, наряду с А.Г.Столетовым, сыграл первостепенную роль в научном формировании Гольдгаммера.

Результатом экспериментальных работ в страсбургской лаборатории, была работа Гольдгаммера "О влиянии магнитного поля на физические свойства металлов", опубликованная в 1888г. /3/. И в дальнейшем Гольдгаммер в основном работал в области электродинамики. Он, однако, все более и более увлекался теоретическими проблемами этой отрасли физики.

Здесь с самого начала решающую роль в формировании молодого ученого играла теория Максвелла I/. Гольдгаммер во всех своих работах применял электромагнитную теорию света и не раз защищал ее от неверных изложений. В своей работе "О теориях Максвелла" /6; 1892/, где он выступал против извращения Пуанкаре теории Максвелла, Гольдгаммер пишет:

I/ По словам Соколова, Столетов рекомендовал Гольдгаммеру

для подготовки магистерского экзамена трактат Максвелла в качестве основной литературы /см.57; стр.332/

"... если в изложении английского ученого есть много недосказанного, трудно понятного, то зато есть и много такого, что увлекает своей новизной и смелостью полета мысли. Математических противоречий, прямо фальши в теориях Максвелла читатель не находит..." /6, стр.2/.

Гольдгаммеру была немыслима иная почва для физических работ, чем электромагнитная теория света. Значение эфира в качестве основы для распространения электромагнитных волн Гольдгаммер рассматривает в нескольких публикациях, не только с чисто физической, но и с философской точки зрения /см. 4; II /.

Известно, что Гальдгаммер был убежденным сторонником материальности эфира. "Физика, - пишет Соколов, - стала для него, по преимуществу, физикой эфира..." /57; стр.332/.

Убеждения Гольдгаммера в то время имели солидный фундамент: он уже мог основываться на открытии Герцем электромагнитных волн. В своих работах, в отличие от исследований физиков предыдущего поколения, он не должен был сосредотачиваться на подтверждении теории Максвелла. Он уже мог заниматься применением ее к совокупности частных проблем. Здесь, пишет Гольдгаммер, "далеко не все еще сделано, далеко не все еще обстоит вполне благополучно. Мы не хотим этим сказать, что остались незамеченными важные недостатки электромагнитной теории света; как раз наоборот; она имеет более достоинств, чем это знали до сих пор". /5; стр.4/.

В своей докторской диссертации "Электромагнитная теория света" /5; 1891 / Гольдгаммер поставил перед собой задачу прежде всего разработать вопрос об отражении и преломлении плоских волн на границе двух сред с точки зрения электромагнитной теории.

В первой главе этой работы Гольдгаммер дает краткое изложение электромагнитной теории света. И здесь, мы встречаем электромагнитную теорию Гельмгольца, которая до сих пор не играла роли ни в экспериментальных, ни в популярных работах Гольдгаммера.

"... существуют два вида электромагнитной теории света, - пишет он, - теория Максвелла и теория Гельмгольца" /5; стр.4/.

Больше того, Гольдгаммер не только принимает во внимание теорию Гельмгольца, но кладет ее в основу своих рассуждений.

"Мы следуем при этом Гельмгольцу, - объясняет он, - частью потому, что теория последнего общее теории Максвелла, частью же потому, что последняя имеет свои слабые пункты, например, в вопросе об электрических перемещениях..." /5; стр.10/.

С точки зрения значения обеих теорий для развития физики, невозможно приравнять их. Максвелл развил совершенно новую и своеобразную теорию, которая повернула самые общие воззрения физиков, а Гельмгольц фактически лишь проверял эту теорию в ее основных чертах на основе привычных для того времени представлений.

Гольдгаммер, очевидно, и не имел в виду приравнять научную ценность этих теорий. Он также не обращал внимания на разницу в основных физических представлениях. Он прежде всего увлекался чисто математической разработкой поставленных вопросов.

Выбор теории Гельмгольца в качестве основы можно объяснить стремлением Гольдгаммера вывести своеобразное доказательство верности электромагнитной теории света: тождество результатов теории Гельмгольца и Максвелла.

"... согласие конечных результатов двух столь различных принципиально теорий, - пишет Гольдгаммер, - служило бы самым могущественным аргументом в пользу электромагнитного происхождения света" /7; стр.2/.

Чтобы, однако, сравнивать обе теории, Гольдгаммер смог исходить только из более общей теории Гельмгольца, которая содержит в себе теорию Максвелла как предельный случай, когда дальнедействующие силы бесконечно малы по сравнению с силами близкодействия. В главе 3.4 этой диссертации было показано, что Гельмгольц сравнивает электрические процессы в различных диэлектриках с такими же процессами в пустоте, в то время как Максвелл сравнивает их с процессами в эфире, т.е. в поляризуемой стандартной среде. Чтобы получить совместный исходный пункт для сравнения, Гольдгаммер преобразовал систему единиц Гельмгольца таким же образом, как и сам Гельмгольц, когда он вместо скорости света в вакууме поставил произведение скорости света в эфире (или воздухе) на диэлектрическую постоянную эфира относительно вакуума:

$$c_{\text{Вакуум}} = c_{\text{Эфир}} \sqrt{1 + 4\pi\chi_0}$$

Гольдгаммер выбирал единицу количества электричества в электростатической системе равной не q , а $q/\sqrt{1+4\pi\chi_0}$. ~~Закон Кулона~~ ~~на~~ ~~вакууме~~. Закон Кулона, например, в этом случае имеет вид:

$$R = \frac{q \cdot q_1}{r^2(1+4\pi\chi_0)}$$

Новая единица определяется количеством электричества, которое в эфире (а не в вакууме) действует на расстоянии в 1см на рав-

ное себе количество с силой в I дину. В теории Максвелла для эфира $\epsilon=1$, и сила притяжения записывается в форме:

$$R = \frac{q q_1}{r^2}$$

На этой основе Гольдгаммер таким образом преобразовал все электрические величины и выразил выведенные Гельмгольцем формулы в этих новых единицах, причем подобное же преобразование имеет место и для электромагнитных единиц.

В качестве примера приводится таблица, где сведены несколько формул. Здесь изменение системы единиц не влияет на выражения (1) и (2). Эти результаты совпадают с результатами теории Максвелла. В (1a) снова видно, что для $\chi \neq 0$ теория Гельмгольца предполагает существование тока смещения. В эфире величина его приближается к величине из теории Максвелла, когда $\chi_0 \gg 1$. Третья формула совпадает с соответствующей формулой Максвелла только при $\chi_0 \rightarrow \infty$.

Дальнейшие положения Гольдгаммера мало пригодны для короткого наглядного изложения. Выводы, найденные Гольдгаммером для общих выражений Гельмгольца по сравнению с формулами Максвелла, совпадают с тем, что уже выразил сам Гельмгольц. В связи с этим я откажусь от их изложения. Следует только еще заметить, что Гольдгаммер отступает от изложения Гельмгольца в том, что выводит уравнения электромагнитных волн не на основе электрического момента (ϵ, η, ζ) как периодической функции координат x, y, z и времени, но для этого выбирает потенциал Гельмгольца.

Формулы по Гельмгольцу (а)

Формулы Гельмгольца преобразования Гольдгаммера (б)

Формулы Гельмгольца в преобразовании Гольдгаммера для предельного случая $\chi_0 \rightarrow \infty$ (в)

Формулы из (в) в современном виде. Они совпадают с формулами теории Максвелла (г)

$$U' = \frac{\partial \varphi'}{\partial t} + \frac{P'}{\chi}$$

$$U = \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{P}{\chi}$$

$$U = \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{P}{\chi}$$

$$j_{\text{полн.}} = j + \frac{\partial D}{\partial t} \quad (I)$$

$$U' = \chi_0 \frac{\partial P'}{\partial t} + \frac{P'}{\chi}$$

$$U = \frac{\chi_0}{(1 + 4\pi\chi_0)} \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{P}{\chi}$$

$$U = \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{P}{\chi}$$

$$j_{\text{полн.}} = j + \frac{\partial E}{\partial t} \quad (IA)$$

$$\frac{\partial \varphi'}{\partial x} + \frac{\partial \psi'}{\partial y} + \frac{\partial \chi'}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} + \frac{\partial \psi}{\partial y} + \frac{\partial \chi}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} + \frac{\partial \psi}{\partial y} + \frac{\partial \chi}{\partial z} = 0$$

$$\text{div } B = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial \varphi'}{\partial x} + \frac{\partial \psi'}{\partial y} + \frac{\partial \chi'}{\partial z} = \frac{1}{4\pi} \Delta \varphi'$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} + \frac{\partial \psi}{\partial y} + \frac{\partial \chi}{\partial z} = \frac{1}{4\pi(1 + 4\pi\chi_0)} \Delta \varphi$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} + \frac{\partial \psi}{\partial y} + \frac{\partial \chi}{\partial z} = 0$$

$$\text{div } D = 0 \quad (3)$$

Он получает следующие выражения :

$$\Delta U - \frac{M D}{v_0^2} \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = 0 ;$$

$$\Delta V - \frac{M D}{v_0^2} \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} = 0 ;$$

$$\Delta W - \frac{M D}{v_0^2} \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} = 0 ;$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 ,$$

где U, V, W - составляющие потенциала Гельмгольца,
 v_0 - скорости света в эфире ,

$$D = \frac{4\pi\chi}{1+4\pi\chi_0} ,$$

χ - электрическая восприимчивость ,

$M = \mu$ - магнитная проницаемость .

Причем Гольдгаммер получил последнее выражение в предположении,
что $\chi \rightarrow \infty$. Это приближение соответствует теории Максвелла.
Таким образом, он получает лишь поперечные электромагнитные
волны, которые распространяются со скоростью

$$v_{\text{ЭФИР}} = c_{\text{ЭФИР}} \sqrt{\frac{1 + 4\pi\chi_0}{4\pi\chi_0}} .$$

При этом Гольдгаммер показывает, что при точности измерений
скорости света в 1 % , которые позволяли приборы, разница
между результатом Максвелла и Гельмгольца уже при $\chi_0 > 4$ лежит
в пределах возможных ошибок измерения.

Для показателя преломления Гольдгаммер по теории Гельмгольца находит следующее выражение:

$$n = \sqrt{\frac{\mu \cdot 4\pi\chi}{1 + 4\pi\chi_0}}$$

В дальнейшем Гольдгаммер применяет теорию Гельмгольца прежде всего к разным случаям преломления и отражения электромагнитных волн. Поскольку Гольдгаммер распространил свои исследования на вопросы, до тех пор не разработанные ни на основе теории Максвелла, ни на основе теории Гельмгольца, он внес важный вклад во всестороннее развитие электромагнитной теории света. /см. отзыв Г.Н.Шебуева, 74 /.

Подробное изложение этих исследований выходит за рамки данной диссертации. Констатируем только, что полученные результаты целиком подтверждают выводы, найденные в первой главе работы Гольдгаммера: при применении теории Гельмгольца к оптическим явлениям получаются результаты, которые при $\chi_0 \rightarrow \infty$ совпадают с формулами, полученными из теории Максвелла и с экспериментальными данными. Постоянная Гельмгольца при этом уже не играет существенной роли. Она отличает обе теории друг от друга лишь тогда, когда еще не сделано никаких предположений относительно величины χ_0 .

Эти выводы, однако, не новы. Гельмгольц, как мы видели, уже в 1870г. указал на совпадение результатов обеих теорий при вышеизложенных условиях. Гольдгаммер более двадцати лет спустя приводил более подробное и более наглядное доказательство этого факта.

Намерения Гольдгаммера можно понять, если предположить, что часть диссертации, которая относится лишь к непосредствен-

ному сравнению теории Гельмгольца и Максвелла, служит Гольдгаммеру прежде всего для собственной подробной ориентации в теории электродинамики, и для подготовки теории Гельмгольца к применению в оптике. Судя по другим работам Гольдгаммера в эти годы, нельзя предполагать, даже малейшего сомнения у него в преимуществе теории Максвелла.

Однако есть также ссылки, которые дают возможность считать, что Гольдгаммер применил к оптике теории Гельмгольца по вполне конкретным причинам: теория Гельмгольца в отдельных специальных вопросах была больше разработана, чем теория Максвелла в то время. Так, в своей полемике против профессора Слугинова /8/ Гольдгаммер указывает на то, что Гельмголец уже установил в своей теории все условия на границе двух разнородных сред, что в теории Максвелла еще не было сделано. Но только подробные исследования развития оптики в то время могли бы решить вопрос, действительно ² имела ли теория Гельмгольца ⁴ какие-то частные временные преимущества перед теорией Максвелла, которыми можно объяснить то, что она еще довольно долго продолжала существовать.

Можно думать, что опыты Герца однозначно говорили в пользу электромагнитной теории света перед механической волновой теорией. Однако спор о пути математической разработки этой теории еще не был окончательно решен. Сравнение теории Гельмгольца и Максвелла в качестве двух возможностей лишь математической разработки электромагнитной теории света могло привлекать тем больше внимание физиков, чем сильнее они абстрагировались от физических основ теорий.

Н.Н.Шиллер в своем отзыве о сочинении Гольдгаммера

"Электромагнитная теория света" поставил в вину автору именно то, что, "увлекшись выяснением формального различия между двумя теориями, он упустил из виду вопрос о физическом смысле этого различия" /83; стр.4/.

Система уравнений Гельмгольца при $\chi_0 \rightarrow \infty$ совпадает с уравнениями Максвелла. Но мы видели, что при этом условии теория Гельмгольца теряет свою гипотетическую основу. /см. 3.4/.

Гольдгаммер, применив теорию Гельмгольца к явлениям оптики, привел убедительное доказательство, что она правильно отображает оптические закономерности только при $\chi_0 \rightarrow \infty$.

Таким образом, гипотеза Гельмгольца о совместном существовании далекодействующих и близкодействующих сил, где далекодействующие силы играют первичную роль, в конечном счете была опровергнута ее же собственными результатами.

Такие обсуждения теории Гельмгольца, однако, уже не относились к позиции самого автора. Гельмгольц, как мы видели в главе 3.8, в это время уже покинул эту точку зрения. Вследствие убедительности экспериментальных доказательств, он занял позицию, совпадающую в основных чертах с теорией Максвелла.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение можно дать следующую характеристику деятельности Гельмгольца в области электродинамики:

Гельмгольц начал заниматься проблемами электродинамики с самого начала своей научной деятельности, на протяжении всей своей жизни он снова и снова возвращался к этой проблематике.

Эти исследования прежде всего указали на стиль исследования - чрезвычайную последовательность и целеустремленность при выяснении спорных вопросов электродинамики, которые привели к важным для подтверждения теории Максвелла экспериментальным работам и в конечном счете к признанию Гельмгольцем теории Максвелла. При этом вырисовываются отдельные этапы деятельности Гельмгольца в области электродинамики:

- 1/ Эпизодические работы до 1869 года.
- 2/ Систематические упорные исследования в области электродинамики от 1870г. до 1875г.
- 3/ Продолжение этих исследований в 1881г.
- 4/ Последние незаконченные работы 90-х годов.

Первый этап начинается работой "О сохранении силы" в 1847 году и кончается исследованием электрических колебаний в 1869-м году.

Закон сохранения и превращения энергии стал исходным пунктом всех дальнейших исследований Гельмгольца в области электродинамики. Он играл роль первой точки опоры в лабиринте существовавших в то время разных теорий. Кроме того, эта работа уже содержала в зародыше проблематику, которой Гельмгольц позже занимался. В частности здесь имеется в виду исследование

"незамкнутых токов" и проблема нецентрального характера электродинамических сил.

В дальнейшем теория электродинамики В.Вебера стояла в центре внимания Гельмгольца прежде всего потому, что она противоречила представлениям о действии центральных сил. Дискуссия о теории Вебера была развернута Гельмгольцем не только для решения спора о верности разных теорий, но, кроме того, для проверки общепринятых тогда механических воззрений в естествознании. В результате этой дискуссии Гельмголец остался на механической позиции.

В 50-х годах Гельмголец впервые приступил к экспериментальным исследованиям в области электродинамики. Относящиеся к этому периоду работы характеризуются разработкой частных теоретических проблем и непосредственной экспериментальной проверкой полученных результатов. В этих работах Гельмголец раскрывается как тонкий экспериментатор и опытный математик.

Непосредственным поводом для этих работ стали физиологические исследования. Тематическая связь между этими работами и работой "О сохранении силы", однако, указывает на влияние также чисто физических интересов на выбор тем. Нельзя характеризовать эти работы только как вспомогательные исследования для решения физиологических задач, без учета последовательности рассматриваемых в них самостоятельных физических проблем.

Электродинамические работы Гельмгольца в первой половине 70-х годов носят прежде всего теоретический характер. Они связаны с поисками наиболее правильной среди существовавших тогда теорий электродинамики.

При анализе работ этого периода до сих пор учитывалась только восьмая глава первой статьи Гельмгольца по теории электродина-

мики, в которой устанавливалась теория совместного существования дальнедействующих и близкодействующих сил.

Нужно однако заметить, что все исследования Гельмгольца, с целью решить спор в пользу той или иной теории, до 1875 года базировались на представлении только о дальнедействующих силах.

До 1875-го года Гельмгольц стоял на позиции потенциальной теории Ф.Неймана. На эту основу и опирались опыты Гельмгольца и Шиллера, которые опровергли гипотезу о существовании концов токов.

Теория Гельмгольца, которая наряду с дальнедействующими силами также учитывала близкодействующие силы поляризации среды, в начале не играла роли в теоретических работах Гельмгольца. Разработав ее в 1870г., он только в 1881г. вернулся к ней.

Эта теория для Гельмгольца не представляла собой самостоятельную теорию электродинамики. По часто употребляемому им методу, Гельмгольц здесь построил теорию такого общего вида, что она соответствовала обеим основным концепциям. Такая теория должна была помогать в решении спорных вопросов, указывая на возможности экспериментальной проверки правильности теорий.

В частности эту теорию Гельмгольца можно характеризовать следующим образом: Теория Гельмгольца наряду с дальнедействующими силами предполагает близкодействующие силы поляризации. Таким образом учитывается воздействие промежуточной среды на электрические процессы. Дальнедействующие между зарядами силы, однако, играют первичную роль. Поляризация вызывается именно этими силами.

Гельмгольц сравнивает электрические процессы в различных диэлектриках с такими же процессами в неполяризуемой пустоте.

Максвелл сравнивает их с процессами в эфире, т.е. в поляризуемой среде. По Гельмгольцу при $\chi = 0$ останутся только дальнедействующие силы. При $\chi \rightarrow \infty$ результаты теории Гельмгольца совпадают с результатами теории Максвелла.

Теория Гельмгольца, как и теория Максвелла, содержит в себе ток смещения в чистом эфире. Так как сравнивались отдельные теории без учета разных гипотетических основ, до сих пор существовало мнение, что согласно теории Гельмгольца нет тока смещения в чистом эфире.

Согласно теории Гельмгольца, как и согласно теории Максвелла, существуют электромагнитные поперечные волны, которые распространяются с конечной скоростью. При $\chi_0 \gg 1$ в теории Гельмгольца такие волны распространяются в эфире также со скоростью, равной скорости света в эфире.

Кроме поперечных электрических волн из теории Гельмгольца следует существование продольных электрических волн. Они исчезают при $\chi_0 \rightarrow \infty$.

В предположении, что $\chi_0 \rightarrow \infty$, результаты теории Гельмгольца совпадают с результатами теории Максвелла. В этом предельном случае энергия, находящаяся в среде, очень велика по сравнению с энергией зарядов. В таком случае, однако, исчезает физический смысл исходных гипотез.

Система уравнений Гельмгольца при применении их, например, Гольдгаммером к проблемам оптики дала правильные результаты именно при этом предельном случае. Таким образом, собственные результаты теории Гельмгольца в конечном счете опровергли его исходные физические гипотезы.

Теория Гельмгольца играла роль некоторой вспомогательной переходной ступени, которая позволила физикам принять по-

зиции теории Максвелла, настолько противоположной привычным взглядам, что было бы трудно постичь ее без всякого связующего звена.

Продолжение электродинамических исследований в 1881г.

Экспериментальные исследования, наряду с теоретическими работами, привели Гельмгольца в течение 70-х г. к убеждению, что не остается другого исхода, кроме присоединения к воззрениям Фарадея. Поскольку, однако, еще не было решающих экспериментальных доказательств теории Максвелла, Гельмголец и в 1881г. не видел необходимости покидать почву своей теории существования далекодействующих и близкодействующих сил. Здесь Гельмголец, однако, уже приходит к выводу, что электрические процессы в диэлектрике можно объяснить только близкодействием. Основная его теория здесь осталась только как возможность, маловероятная, но еще не целиком опровергнутая опытом.

Последние незаконченные работы 90-х годов.

В последних своих исследованиях Гельмголец исходит из теории Максвелла. В своих незавершенных работах 90-х годов он стремится уточнить эту теорию или применить ее к отдельным проблемам оптики. Эти работы показывают, что в последние годы своей жизни Гельмголец шел в первом эшелоне развивающейся электродинамики. Он впервые выводит формулы Максвелла, используя принцип наименьшего действия, и исследует, каким предположкам должны удовлетворять механические свойства эфира, чтобы было возможно вывести теоретически все следствия электромагнитной теории Максвелла.

Экспериментальные исследования Гельмгольца и его школы.

В работе показано, что Гельмголец и его школа принимали

значительное участие в экспериментальном подтверждении теории Максвелла. Причем эти исследования тесно были связаны с теоретическими работами Гельмгольца.

Экспериментальные исследования были сосредоточены прежде всего на трех темах:

1. Исследования электрических колебаний и
Исследования свойств диэлектриков ;
2. Экспериментальная проверка разных теорий дальнего действия
3. Опыты по определению скорости распространения электромагнитных волн.

В диссертации прежде всего излагается влияние Гельмгольца на Больцмана, Шиллера и Зилова при определении диэлектрических постоянных материалов в разных агрегатных состояниях. До сих пор мало обращалось внимания на то, что работы всех трех физиков, на которых ссылался Максвелл, были тесно связаны с берлинской лабораторией.

В работе показывается, что Гельмголец с 1873г. до 1875г. постепенно развивал основные идеи опытов, которые должны были подтвердить существование концов разомкнутых токов. Основываясь на этих предложениях, Шиллер был в состоянии доказать отсутствие действий таких концов. Наряду с Шиллером сам Гельмголец производил такие опыты. Он пришел другим опытным путем к тем же отрицательным результатам. До сих пор в научной литературе учитывались только эксперименты Шиллера.

Связь электродинамических исследований русских физиков с работами Гельмгольца в области электродинамики:

В диссертации излагается влияние Гельмгольца на русских физиков Н.Н.Шиллера, П.А.Зилова, Р.А.Колли и Д.А.Гольд-

гаммера. До сих пор в научной литературе этот вопрос не был освещен.

Связи оказались разными у разных физиков. Можно характеризовать их общими чертами следующим образом:

Н.Н.Шиллер теснее других русских ученых примыкал к позициям Гельмгольца в области электродинамики. Методы его экспериментальных работ непосредственно опираются на исследования Гельмгольца. Его теоретические выводы в первой половине 70-х годов почти тождественны с мнением Гельмгольца. Он не признавал себя сторонником Максвелла, хотя своими исследованиями принимал участие в экспериментальном подтверждении электромагнитной теории Максвелла.

П.А.Зилов с самого начала своей научной деятельности был сторонником электромагнитной теории Максвелла. Несмотря на это, Зилов в своих теоретических изложениях частично опирается на теоретические взгляды Гельмгольца, сравнивая электрические процессы в диэлектриках с соответствующими процессами в неполяризуемой среде. Кроме того Гельмголец советовал Зилову выбрать те или иные темы исследования и методы их решения. Зилов ссылался на работы Гельмгольца, поскольку их результаты частично совпадают с теорией Максвелла, и выполнял предложенные Гельмгольцем исследования, потому что они соответствовали его собственным интересам в экспериментальном подтверждении теории Максвелла.

Хотя Колли работал в лаборатории Гельмгольца и предмет его исследований был очень близок к работам Гельмгольца, у него не обнаруживаются такие тесные и непосредственные связи с Гельмгольцем, как у других, названных только что русских физиков

Косвенная связь состоит в последовательности работ Вейльмгольца, Шиллера, Колли и Герца в области электрических колебаний.

Д.А.Гольдгаммер исходит в своей работе "Электромагнитная теория света" из теории Гельмгольца в то время, когда сам Гельмгольц уже покинул эту позицию. Во всех других своих работах Гольдгаммер стоит на позиции теории Максвелла.

Следует предположить, что сравнение обеих теорий послужило ему прежде всего для собственной ориентации в области электродинамики. Его результаты теоретической обработки оптических явлений на основе теории Гельмгольца опровергли гипотетические основы этой теории, показывая, что совпадение с опытными данными наблюдается только при $\chi \rightarrow \infty$.

ПРИЛОЖЕНИЕ I х/

Грац, I ноября 1872г.

Высокочтимый господин
Тайный советник!

Теперь я занимаюсь описанием экспериментальных исследований, которые я провел в Вашей лаборатории ¹⁾ до сих пор я был все время занят другими работами. Теперь я вижу, что забыл отметить толщину обеих позолоченных пластинок конденсатора Кольрауша. Хотя она и не особенно важна для моих опытов, все же мне хотелось бы указать ее, придерживаясь принципа, описывать все по возможности точно. Я был бы Вам поэтому очень благодарен, если бы Вы могли дополнительно сообщить мне эту величину. Конечно, само собой разумеется, что большая точность не нужна; было бы совершенно достаточно определить ее масштабной линейкой с точностью примерно до половины миллиметра. Я также не отметил расстояние между делениями шкалы электрометра Томсона; мне кажется, оно составляет один миллиметр. Хочу также попросить Вас обеспечить проверку, не ошибаюсь ли я.

Здесь в Граце я продолжил мои исследования; ²⁾ именно я хотел решить вопрос, зависит ли изменение емкости конденсаторов при помещении между пластинками слоев разных материалов действительно от электризации мельчайших частиц этих материалов или только от того, что электричество воздействует через эти материалы по-другому, чем через воздух. В первом случае незаряженные предварительно шарики из серы, эбонита и т.д. должны

х/ Все письма из "Наследства Гельмгольца", хранимого в архиве Германской Академии Наук в Берлине.

I) Цифры в тексте относятся к комментариям в конце приложения.

были бы притягиваться наэлектризованным телом^я, именно только вследствие диэлектрической поляризации их мельчайших частиц без электризации вследствие проводимости, точно так, как кусок мягкого железа под действием магнита, у которого в свою очередь поляризуются только его мельчайшие частицы. В последнем случае не было бы причины для притяжения. Такое притяжение действительно наблюдалось и имело интенсивность почти соответствующую вычисленной заранее; я вычислил ее из диэлектрической постоянной по формулам, аналогичным формулам для вычисления притяжения шарика из мягкого железа по постоянной намагничивания.

Еще кое-что я должен рассказать Вам. До сих пор у меня было мнение (мне кажется, и Вы тоже высказали такое же мнение, когда я был в Берлине), что по теории Максвелла о тождественности света и электричества диэлектрические постоянные, определенные мной, должны были быть равными показателям преломления. Когда я теперь величины всех диэлектрических постоянных свел в таблицу, меня поразило, что они даже немного отклоняются от показателей преломления, но одновременно^я заметил, что они всегда были приблизительно равны квадратам показателей преломления. Как молния меня пронзила мысль, не следовало ли из теории Максвелла последнее, потому что скорости распространений всегда бывают пропорциональны квадратному корню из величины силы. Я проверил это в сочинениях Максвелла, и, действительно, там можно было ясно прочитать, что диэлектрическая постоянная должна быть пропорциональна квадрату показателя преломления (магнитная постоянная индукции предполагается для всех этих материалов почти равной единице), так что я должен видеть в моих опытах подтверждение теории Максвелла.

Я хочу выразить Вам мою самую теплую благодарность за присланные отгиски Ваших работ, а именно тех, которые опубликованы в журнале Борхардта⁽³⁾, которые невозможно достать в продаже. Все-таки очень удобно иметь постоянно под руками отгиски важных работ. Что же касается ответа Вебера⁽⁴⁾ на Ваши возражения, то я уже раньше убедился в том, что он основывается на недоразумении, поскольку Вебер предполагает действие только одной отдельной электрической частицы, а противоречие выступает в том случае, когда определенное количество электричества действует на другое. Нельзя ли доказать опытами, что электричество не имеет инертной массы, или, по крайней мере, что эта инертная масса не может перешагнуть некоторый очень незначительный предел. Эта масса кажется мне очень невероятной.

Надеюсь на Вашу благосклонность в выполнении моих высказанных в начале просьб и остаюсь глубоко уважающий Вас,

Ваш покорнейший

Людвиг Больцман.

Грац I Стейермарк

Гейнрихштрассе № 3 x)

нижний этаж слева.

x Частично опубликовано в /157, стр.201/

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Грац 20 ноября 1872г.

Высокочтимый господин

Тайный советник!

Выражаю Вам самую теплую благодарность за передачу данных, о которых я просил для пополнения моей статьи .

Я также прошу передать мой сердечный привет Вашим обоим ассистентам, господам доктору Веберу ⁽⁵⁾ и Глану ⁽⁶⁾ и, кроме того, благодарность первому за любезно произведенные для меня измерения. Точность, с которой он проводил наблюдения при этом, была гораздо большей, чем я просил.

Ваш совет, при исследовании притяжения диэлектрического шарика быстро менять положительное и отрицательное электричество, как я думаю, окажется очень полезным. Этот метод не только гораздо больше подходит для опровержения возражений, чем тот, который я применял до сих пор (у меня электричество действовало иногда более, а иногда менее продолжительное время), но, вероятно, ~~еще~~ с его применением мне даже удастся определить диэлектрическую постоянную более точно, чем это возможно с конденсатором. Последний метод прежде всего имел бы то преимущество, что он не содержит ничего теоретически невычислимого, как, например, влияние края обкладок конденсатора. Как только мое время и, главным образом, обстоятельства позволят это (во время курса лекций в местном институте невозможно работать из-за отсутствия помещений), я хочу приняться за установку соответствующей аппаратуры.

Может быть, Вам любопытно, что профессор Теплер ⁽⁷⁾ воплотил с некоторыми изменениями мои мысли, которыми я делил-

ся с Вами в прошлом году, построив сирену с несколькими рядами отверстий, однако, не кругообразных, а какой-то другой формы, вычисленной заранее. Хотя аппарат выполнен еще в очень сыром виде, все же благодаря ему возможно довольно хорошо демонстрировать разные положения о сочетании звуков. И если бы удалось производить его немного более совершенным и не слишком дорогим, он, наверно, годился бы для применения при чтении лекций.

С глубоким уважением,

Ваш благодарный

Людвиг Больцман.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Вена 26 февраля 1874г.
II Большое Шперльгассе 21
3 этаж дверь № 20

Высокочтимый господин
Тайный советник!

Позвольте одновременно представить Вам подробное сообщение о моих диэлектрических исследованиях⁽⁸⁾. Ваша идея быстро заряжать, попеременно положительно и отрицательно, проводящий шарик, который действует на диэлектрический, оказалась очень плодотворной. На странице II моего изложения об электростатическом действии на расстоянии я упоминал о том, что идея была сообщена мне Вами в письме, и думаю, что Вы довольны тем, как я это сделал. Я занимался исследованием диэлектрических свойств газов и кристаллических тел, когда перевод в Вену вдруг прервал мои работы. Я здесь профессор математики, предмета, который был для меня всегда более чужим, чем физика: мое желание ~~получить~~ получить место, где в моем распоряжении имелся ^{бы} физический кабинет для моих работ, кажется, неосуществимо. Но все-таки я убежден в том, что такая должность была бы для меня более подходящей, чем профессура по математике, которая очень часто отвлекает меня от физических работ.

Я также занимаюсь исследованиями трения воздуха, для чего хочу поставить аппаратуру, подобную маленькому электromетру Томсона, который Вы показали мне в Берлине и который Вы использовали для исследований гальванической поляризации. Так как я

нигде не мог найти описание этого прибора, Вы сделали бы мне большое одолжение, сообщив, где можно найти его, или описав в нескольких словах внутреннее устройство аппарата, которое я не видел в тот раз.

С глубоким уважением.

Ваш покорнейший
Людвиг Больцман.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Вена 21 апреля 1874г.

Высокопочтимый господин

Тайный советник!

Приношу Вам самую большую благодарность за описание маленького гальванометра Томсона и за Ваши поздравления. Сфера моей деятельности здесь, в Вене, более обширна, и скоро я наверно привыкну к настоящему предмету моих лекций, которые, однако, ~~сейчас~~ требуют относительно много времени, потому что до сих пор я мало занимался чистой математикой и потому что последняя мне не так симпатична, как непосредственное исследование природы - физика.

Что касается моего материального положения, то оно обеспечено, пока я продолжаю вести холостой образ жизни, но зарплата была бы очень мизерной для чрезмерно дорогого города, если бы мне захотелось быть не только физиком, но и немного человеком.

Я с нетерпением ожидаю опытов в области спорных вопросов электродинамики, потому что у меня еще нет соображений о возможности преодоления практических трудностей, которые, как кажется, противостоят этим опытам. После долгих бесполезных опытов во время пасхальных каникул мне ~~и~~ в конце концов удалось определить диэлектрическую постоянную воздуха и шести других газов ⁽⁹⁾, и Вам, наверно, также будет интересно узнать, что для всех них великолепным образом подтвердилось отношение Максвелла между диэлектрической постоянной и показателем преломления света.

С совершенным почтением, Ваш покорнейший
Людвиг Больцман.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Вена УШ Флориан-гассе 2

13.2.1875г.

Высокоуважаемый господин

Тайный советник!

Две работы, недавно проведенные в Вашей лаборатории, представляют для меня особенный интерес. Одна из них - работа господина Шиллера (10). В конце моей статьи "О некоторых поправках, которые были учтены в моих опытах по электростатическому дальнему действию диэлектрических тел" (11), один экземпляр которой я позволяю себе послать Вам бандеролью одновременно с этим письмом, я высказал мнение о том, что необычайно малая величина диэлектрических постоянных Шиллера следует из того, что он не учитывал поправок, относящихся к промежуткам, которые остаются между пластинками конденсатора и изолирующей пластинкой. В том случае, если я ошибаюсь, мне было бы очень интересно узнать, каким образом господин Шиллер вносил эти поправки, которые я считаю необходимыми. Я прошу извинить меня за то, что я с этим обращаюсь непосредственно к Вам. Я это сделал потому, что мне не известно, где господин Шиллер находится в настоящее время. Вторая работа, которая имеет для меня специальный интерес, это работа доктора Неезена (12). Вначале я думал, что из опытов этого господина следует, что упругое последствие должно выражаться через $a^{-bt} + c$, но теперь я вижу, что уже второй ряд разностных чисел, наблюдаемых им, представляет собою ряд почти постоянных чисел, а следовательно эти числа так же хорошо можно будет изображать любой другой формулой с тремя произвольными постоянными. Некоторые опыты показали мне, что эти числа

гораздо лучше изображаются формулой, которую я вывел в своей работе "К теории эластичного последствия"⁽¹³⁾ и оттиск которой я позволяю себе также послать Вам. Более подробно об этом я написал господину Неезену. Не сможете ли Вы побудить господина доктора Неезена проверить мои формулы немного подробнее; в таком случае мне было бы очень любопытно узнать результат.

Я еще позволю себе послать Вам третью статью о различии диэлектрических постоянных кристаллической серы по разным направлениям,⁽¹⁴⁾ и остаюсь

с глубоким уважением,

Ваш покорнейший

Людвиг Больцман.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Иена 17.7.1862.

Высокоуважаемый господин
профессор !

Податель этих строк - господин Константин Рачинский,⁽¹⁵⁾ профессор физики в Москве, который хочет провести следующую зиму в Гейдельберге с целью физических исследований. Выше названный находится в большой дружбе во мной со времени пребывания его в течение нескольких месяцев в Иене, и потому я весьма рекомендую его Вашей любезности. При этом пользуюсь случаем, в конце концов, хотяис опозданием, и письменно поблагодарить Вас за большую любезность, которую Вы и Ваша глубокоуважаемая супруга оказали мне прошлой осенью во время моего, к сожалению, очень короткого пребывания в Гейдельберге.

Одним из моих самых искренних желаний является желание получить возможность еще раз хорошо поучиться в Гейдельберге или поработать под личным вдохновляющим влиянием физиолога, который владеет методами естественных исследований, в какой бы области он их не предпринимал, в такой же степени, как Вы, кто является гордостью и вызывает зависть у современников. Но, к сожалению, я слишком рано стал рабом кафедры.

В заключение я попрошу Вас искренне кланяться от меня Вашей супруге и остаюсь с повторной просьбой благосклонно встретить моего любезного русского друга.

С глубоким уважением,

Ваш

Альберт Бецольд¹⁶⁾

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Лейпциг, 4 ноября 1859г.

Высокоуважаемый господин
профессор!

Возможно, что я знаком Вам по моей ранней работе или, возможно, по имени моего отца; поэтому я позволяю себе послать Вам прилагаемую заметку и копию негатива, на котором я получил изображение электрического разряда в его разных стадиях в виде искры. Непосредственное доказательство существования колебаний, о которых в заметке не упоминается, я вижу в переменной последовательности более сильного и более слабого максимума света на каждом полюсе - явление, которое можно наблюдать наилучшим образом, если рассматривать снимки не на очень близком расстоянии.

Одновременно я хотел попросить Вас, высокоуважаемый господин профессор, любезно ответить мне на один вопрос. Как мне известно, Вы были первым, кто ^{по}предложил существование таких колебательных разрядов. Несмотря на это, если исключить математические выражения, сама идея могла бы быть старше, так как некоторые более ранние наблюдения, едва ли можно объяснить без принуждения как-либо по-другому. Я был бы исключительно обязан Вам, если бы Вы сообщили мне, что Вам известно об этом.

Эссельбах, которого я недавно встретил в Берлине и который вернулся из экспедиции на Красное море, в ближайшее время прибудет в Англию на предприятие Сименса и Гальске; он просил меня настоятельно кланяться Вам.

Осмеливаясь рассчитывать на любезный прием, остаюсь с глубоким уважением

Ваш В.Феддерсен 17)

Комментарии к письмам

1. Речь идет о работе /87; 1873/.
2. Boltzmann, Ludwig. (1844-1906). 1896 Проф. теорети. физики в Граце, 1873 проф. математики в Вене, 1876-89 проф. эксперим. физики в Граце. Работал в 1871г. несколько месяцев у Гельмгольца в Берлине.
3. Вероятно речь идет о /118/ и /121/.
4. Weber, Wilhelm (1804-1891).
5. Weber, Heinrich Friedrich (1843- 1912). Работал с 1871-1873г. у Гельмгольца в Берлине. С 1875г. проф. теоретич. и технической физики в Цюрихе.
6. Glan, Paul (1846-1898). С 1875г. доцент и позже проф. физики в Берлине.
7. Töpler, August (1836-1912), 1869 проф. физики в Граце, 1876 проф. физики в Техническом вузе в Дрездене.
8. Относится к работе /88; 1873/.
9. Смотрите: /89; 1874/.
10. Шиллер, Николай Николаевич (1848-1910).
11. /90; 1874/
12. Neesen, Friedrich (1849-1923). Заметка Больцмана относится к работе Неезена: Die elastische Nachwirkung bei Torsion. Ann.d.Phys. 153, 1874.
13. Zur Theorie der elastischen Nachwirkung.
Wien.Ber. 70, 1874.
14. /91; 1874/.

15. Рачинский, Константин Александрович

(1838-1909)

/ в 1862г. Рачинский не был профессором/

16. Bezold, Albert (1836-1868)

1859-1865 проф. медицины в Иене.

17. Feddersen, Wilhelm (1832-1918)

ЛИТЕРАТУРА

1. Генри Д. Колебательный разряд. Из предистории радио М.-Л., АН СССР, 1948.
2. Герман → Гельмгольц. Публичные лекции, чит. в Имп. Моск. ун-те, в пользу Гельмгольцовского фонда, М. 1892.
3. Гольдгаммер Д.А. О влиянии магнитного поля на физические свойства металлов, особенно на их электропроводность. М., 1888.
4. Гольдгаммер Д.А. Наши сведения об эфире. Казань, 1890.
5. Гольдгаммер Д.А. Электромагнитная теория света. (Докторская диссертация). Казань, 1891.
6. Гольдгаммер Д.А. О теориях Максвелла, Казань, 1892.
7. Гольдгаммер Д.А. К электромагнитной теории света, Казань, 1892.
8. Гольдгаммер Д.А. Профессор Слугинов и "Электромагнитная теория света", Казань, 1893.
9. Гольдгаммер Д.А. Памяти учителя А. Kundt . Казань, 1894.
10. Гольдгаммер Д.А. Памяти проф. А.Г.Столетова. Казань, 1897.
11. Гольдгаммер Д.А. Наука и истина М., 1904.
12. Грановский Б.Л. Герман Гельмгольц - его жизнь и работа. Старокадомская Е.Л. М. Сосиздат РСФСР "Московский рабочий". 1930.
13. Грузинцев А.П. Герман фон Гельмгольц в его последних произведениях. Харьков, 1895.
14. Дуков В.М. Роль русских физиков в развитии учения об электромагнитном поле в XIX веке. Дис. М., 1951г.
15. Дуков В.М. Развитие теории электромагнитного поля в трудах русских физиков до опытов Герца. У.Ф.Н.г. XIX вып. 4, М. 1953.
16. Дуков В.М. Роль понятия конвекционного тока в развитии физики. Труды инст. Ист. естеств. и техн. т.43, М., АН СССР, стр.112, 1961г.
17. Дюбуа-Реймон Э. Герман Гельмгольц. Спб., 1900.
18. Зернов В.Д. Герман Гельмгольц. М.-Л., Гос.изд.1925.
19. Зилов П.А. Отчет П.А.Зилова. Отчет и речь, произнесенные в торжественном собрании Имп. Моск. ун-те 12 янв. 1877г. М. 1877, стр.121.

20. Зилов П.А. Влияние среды на электродинамическую индукцию. (Предварительное сообщение) Спб, 1877.
21. Зилов П.А. Отчет П.А.Зилова. Отчет и речь, произнесенные в торжественном собрании Имп.Моск. ун-те 12 янв. 1878г. М., 1878, стр.41.
22. Зилов П.А. Опытное исследование диэлектрической поляризации в жидкостях (магистерская диссертация) М., 1878.
23. Зилов П.А. Опытное исследование магнитной поляризации в жидкостях. (Докторская диссертация) М., 1880.
24. Зилов П.А. Курс физики, вторая часть: звук, свет, электричество. Варшава, первое изд. 1896, третье изд. 1900.
25. История естествознания в России, т.2. М., изд. АН СССР, 1960.
- 26 Клейн Ф. Лекции о развитии математики в XIX столетии, часть I. М.Л., ОНТИ, 1937.
27. Колли Р.А. Исследование одного случая работы гальванического тока. (магистерская диссертация). Спб. 1875г.
28. Колли Р.А. О поляризации в электролитах, Спб., 1878.
29. Колли Р.А. О законе сохранения энергии. Казань, 1879.
30. Колли Р.А. О существовании пондероэлектрокинетической части энергии электромагнитного поля. Казань, 1881.
31. Колли Р.А. Сообщение о заграничной поездке. Собр. протоколов заседаний секции физико-математич. наук общества естествоиспытателей при Имп Каз. ун-те. т.1, с апреля 1880 по май 1883 года. Казань, 1883.
32. Колли Р.А. О нескольких новых методах изучения электрических колебаний и о некоторых их приложениях. Казань, 1885.
33. Колли Р.А. О нескольких новых методах изучения электрических колебаний и о некоторых их приложениях (дополнение). Казань, 1886.
34. Колли Р.А. Снаряд для наблюдения медленных электрических колебаний. К теории снаряда Румкорфа. Спб., 1891.
35. Колли Р.А. Схранение энергии. Публичные лекции, читанные в Имп.Моск.ун-те в пользу Гельмгольцовского фонда, М., 1892, стр.13.

36. Косоногов И.И. Николай Николаевич Шиллер, его жизнь и научная деятельность. Спб., 1911.
37. Кудрявцев П.С. История физики, т.П, М., гос.уч.пед.изд.1956
38. Кудрявцев П,С. Разработка русскими физиками XIX века проблем максвелловской электродинамики. Вопросы истории естеств. и техн. Вып.3, 1957, стр.197.
39. Кузнецов Б.Г. Принципы классической физики. М., АН СССР, 1958.
40. Кузнецов Б.Г. Франкфурт У.И. К истории закона сохранения и превращения энергии. Труды инст. ист.естеств. и техн. том.28, М., АН СССР 1959, стр.339.
41. Кузнецов Б.Г. Эволюция электродинамики. М., АН СССР, 1963г.
42. Лазарев П.П. А.Г.Столетов. Собр.соч. т.1, М., АН СССР, 1957, стр.756.
43. Лазарев П.П. Гельмгольц. М., АН СССР, 1959.
44. Лебедев В. Электричество, магнетизм и электротехника в их историческом развитии. М.Л. Объед. научн.-технич. изд. 1937.
45. Максвелл Дж.К. Динамическая теория электромагнитного поля. Избр.соч.по теории электромагнитного поля. Москва, Гостехиздат, 1954, стр.250.
46. Максвелл Дж.К. Трактат об электричестве и магнетизме. Избр. соч.по теории эл.магнит. поля, М., Гостехиздат. 1954, стр.345.
- 46а. A treatise on electricity and magnetism. Dover, 1954.
47. Максвелл Дж.К. Электричество в элементарной обработке. Киев, 1886 (оригинал был опубликован в 1881г).
48. Максвелл Д.К. Герман Людвиг Фердинанд Гельмгольц. Речи и статьи. М.Л., Гостехиздат, 1940.
49. Метц Г.Г. Hermann v. Helmholtz. Одесса, 1892.
50. Отчет и протоколы физико-математического общества при Имп. ун-те св.Владимира за 1894 год. Киев, 1895.
51. Планк М. Введение в теоретическую физику. Часть 3: Теория электричества и магнетизма. М.Л., Гос.техн. теоретиздат.1933.

52. Полак Л.С. Вариационные принципы механики, их развитие и применение в физике. М., Гос. изд. физ.-мат. лит. 1960.
53. Попов В.Н. Очерк развития физиологии. Спб., 1894.
54. Розенбергер Ф. История физики, том.3, часть I-2. М.Л., Гос.тех. теоретич. изд. 1935.
55. Сеченов И.М. Герман Гельмгольц как физиолог. Русская мысль. 1894, кн.ХП, стр.28.
56. Слугимов Н.П. Об ученых трудах проф.Р.А.Колли.Казань, 1892.
57. Соколов И.А. Памяти Д.А.Гольдгаммера, УФН т.3, вып.4, 1928
58. Спасский Б.И. История физики, т.2, М., изд.Моск.ун-та, 1964г.
59. Столетов А.Г. Обзор теории электричества. Собр.соч.т.1, стр.11. М.Л., Гостехиздат 1939.
60. Столетов А.Г. Обратный вывод основного электродинамического закона. Собр.соч.т.1, стр.151, М.Л., Гостехиздат, 1939.
61. Столетов А.Г. Исследование о функции намагничивания мягкого железа. Собр.соч. т.1., М.Л., Гостехиздат. 1939, стр.81.
62. Столетов А.Г. Физические лаборатории у нас и за границей. Собр. соч., т.П, М.Л., Гостехиздат 1941.
63. Столетов А.Г. Колли Р.А. → Собр. соч.т.П, стр.407. М.Л., Гостехиздат, 1941.
64. Столетов А.Г. Герман Гельмгольц. Биографический очерк и общая харак-ка в: Г.Ф.Гельмгольц. Публичные лекции. М., 1892.
65. Столетов А.Г. Гельмгольц и современная физика.(резь). М. 1895.
66. Тепляков Г.М. Из истории возникновения Московской школы физиков. Дисс. Москва, 1955г.
67. Тимирязев А.К. Очерки по истории физики в России. М., Гос. учебно-пед.изд. 1949.
68. Тимирязев К.А. Столетов А.Г. → Собр.соч. т.1, стр.5, М.Л., Гостехиздат, 1939
69. Томсон В. О переходящих электрических токах. Из предистории радио. М.Л., АН СССР, 1948, стр.247.

70. Феддерсен В. Материалы к познанию электрической искры. Ann. d. Physik. 103, 69, 1858, цитаты по: Из предистории радио. М.Л., АН СССР, 1948.
71. Феддерсен В. Об электрическом разряде лейденской банки. Ann. d. Phys. 116, 132, 1862. Из предистории радио. М.Л., АН СССР, 1948.
72. Франкфурт У.И. Электродинамика Гельмгольца и ее эволюция. Вопр. ист. естеств. и техн. т. 14, 49, 1963.
73. Хвольсон О.Д. Опыты Герца и их значение. Из предистории радио. М.Л., АН СССР, 1948.
74. Шебуев Г.Н. Письменный разбор сочинений Д.А. Гольдгаммера "Электромагнитная теория света, Казань, 1891", Ученые записки им. Каз. Университета. Казань, 1893, Книга третья, (мая-июль), стр. 13.
75. Шиллер Н.Н. Замечание об индуктивных токах в разомкнутых проводниках. Труды второго съезда русск. естествоисп. в Москве. Ч. II, Москва, 1871, стр. 36.
76. Шиллер Н.Н. Заметка об индуктивных токах в разомкнутых проводниках. Математ. сборник т. 6, стр. III. Москва, 1872.
77. Шиллер Н.Н. (рецензия). Некоторые экспериментальные исследования над электрическими колебаниями. ЖРФХО, (физ. отдел, т. 6, вып. 9, стр. 189).
78. Шиллер Н.Н. Опытное исследование электрических колебаний. Магист. дисс. М., 1874г.
79. Шиллер Н.Н. Колли Р.А. Опыт над электродинамическим действием поляризационного тока. ЖРФХО, (физ. отдел, т. 7, 179, 1875).
80. Шиллер Н.Н. Отчет за 1872-1873гг. Отчет и речь, произнесенные в торжественном собрании Имп. Моск. ун-та 12-го января 1875 г. М., 1875, стр. 54.
81. Шиллер Н.Н. Отчет и речь, произнесенные в торжественном собрании Имп. Моск. ун-та 12-го января 1876 г. М., 1876, стр. 45.
82. Шиллер Н.Н. Электромагнитные свойства концов разомкнутых токов и диэлектриков. Киев, 1876г.
83. Шиллер Н.Н. Отзыв о сочинении магистера физики Д.А. Гольдгаммера под заглавием "электромагнитная теория света". Киевск. университет. Известия, т. 6, I, 1893.
84. Шиллер Н.Н. Характеристика личности и научных трудов покойного проф. А.Г. Столетова. Киевск. унив. известия, т. 12, I, 1896.

85. Bezold W. Hermann von Helmholtz.
Leipzig, 1895.
86. Boltzmann L. Resultat einer Experimentaluntersuchung
über das Verhalten nicht leitender
Körper unter dem Einflusse elektrischer
Kräfte.(Vorläufige Mitteilung)
Wiss. Abh. Bd.1, S.403.
Leipzig,1909.
87. Boltzmann L. Experimentelle Bestimmung der Dielektri-
zitätskonstanten von Isolatoren.
Wiss. Abh. Bd.1, S. 411.
Leipzig,1909.
88. Boltzmann L. Experimentaluntersuchung über die elektro-
statische Fernwirkung dielektrischer
Körper.
Wiss. Abh. Bd.1, S.472.
Leipzig, 1909.
89. Boltzmann L. Experimentelle Bestimmung der Dielektri-
zitätskonstanten einiger Gase.
Wiss. Abh. Bd.1, S.537.
Leipzig, 1909.
90. Boltzmann L. Über einige an meinen Versuchen über
die elektrostatische Fernwirkung di-
elektrischer Körper anzubringende
Korrekturen.
Wiss. Abh. Bd.1, S.556.
Leipzig, 1909.
91. Boltzmann L. Über die Verschiedenheit der Dielektri-
zitätskonstanten des kristallisierten
Schwefels nach verschiedenen Richtungen.
Wiss. Abh. Bd. 1, S.587.
Leipzig, 1909.
92. Boltzmann L. Experimentaluntersuchung über das Ver-
halten nicht leitender Körper unter
dem Einflusse elektrischer Kräfte.
Wiss. Abh. Bd.1, S. 607.
Leipzig, 1909.
93. Boltzmann L. Vorlesungen über Maxwells Theorie der
Elektrizität und des Lichts.
2. Bd., Leipzig, 1893.
94. Boltzmann L. Über Maxwells Elektrizitätstheorie.
Populäre Schriften.
Leipzig, 1905.
95. Broda E. Ludwig Boltzmann. Mensch, Physiker,
Philosoph.
Wien, 1955.
96. Colley R. Über die Existenz einer dielektrischen
Polarisation in Elektrolyten.
Ann.d.Phys. 15, 94, 1882.

97. Colley R. Über die in einem geschlossenen Stromkreise geleistete Arbeit äußerer Kräfte.
Ann.d. Phys. 16,39,1882.
98. Colley R. Nachweis der Existenz der Maxwell'schen elektromotorischen Kraft Y_{me} .
Ann.d.Phys. 17,55,1882.
99. Colley R. Über einige neue Methoden zur Beobachtung elektrischer Schwingungen und einige Anwendungen derselben.
Ann.d.Phys. 26,432,1885.
100. Colley R. Über einige neue Methoden zur Beobachtung elektrischer Schwingungen und einige Anwendungen derselben.
Ann.d.Phys. 28,1,1886.
101. Ebert H. Hermann v. Helmholtz.
Stuttgart, 1949.
102. Engels F. Dialektik der Natur.
Berlin, 1952.
103. Fröhlich J. Bemerkungen zu Maxwells elektromagnetischer Lichttheorie.
Ann.d.Phys. 160,97,1877.
104. Helmholtz A. Hermann v. Helmholtz. Ein Lebensbild in Briefen.
2 Bd. Berlin, 1929.
105. Helmholtz H. Über die Erhaltung der Kraft.
Wiss. Abh. Bd.1, S.12.
Leipzig, 1882.
- 105a Übersetzung:
О сохранении силы
М.Госизд., 1922
106. Helmholtz H. Messungen über den zeitlichen Verlauf der Zuckung animalischer Muskeln und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven.
Wiss. Abh. Bd.2, S.764.
107. Helmholtz H. Über die Methode, kleinste Zeiteile zu messen und ihre Anwendung für physiologische Zwecke.
Wiss. Abh. Bd.2, S. 862.
108. Helmholtz H. Über den Verlauf und die Dauer der durch Stromesschwankungen induzierten elektrischen Ströme.
Wiss. Abh. Bd.3, S. 554.
Leipzig, 1895.

109. Helmholtz H. Über die Dauer und den Verlauf der durch Stromschwankungen induzierten elektrischen Ströme.
Wiss. Abh. Bd.1, S.429.
110. Helmholtz H. Die Resultate der neueren Forschungen über tierische Elektrizität.
Wiss.Abh. Bd.2, S.886.
111. Helmholtz H. Ein Theorem über die Verteilung elektrischer Ströme in körperlichen Leitern.
Wiss.Abh. Bd.3, S.562.
112. Helmholtz H. Über einige Gesetze der Verteilung elektrischer Ströme in körperlichen Leitern mit Anwendung auf die tierisch-elektrischen Versuche.
Wiss.Abh. Bd.1, S.475.
113. Helmholtz H. Erwiderung auf die Bemerkungen von Herrn Clausius.
Wiss.Abh. Bd.1, S.76.
114. Helmholtz H. Über eine allgemeine Transformationsmethode der Probleme über elektrische Verteilung.
Wiss.Abh. Bd.1, S.520.
115. Helmholtz H. Über die physiologische Wirkung kurz dauernder elektrischer Schläge im Innern von ausgedehnten leitenden Massen.
Wiss.Abh. Bd.1, S.526.
116. Helmholtz H. Über elektrische Oszillationen.
Wiss.Abh. Bd.1, S.531.
117. Helmholtz H. Über die Gesetze der inkonstanten elektrischen Ströme in körperlich ausgedehnten Leitern. (Vorläufige Anzeige)
Wiss.Abh. Bd.1, S. 537.
118. Helmholtz H. Über die Theorie der Elektrodynamik.
Erste Abhandlung: Über die Bewegungsgleichungen der Elektrizität für ruhende leitende Körper.
Wiss.Abh. Bd.1, S. 545.
119. Helmholtz H. Vorrede zu: John Tyndall: Faraday und seine Entdeckungen.
Ins Deutsche übersetzt und herausgegeben von H. Helmholtz.
Braunschweig, 1870.
120. Helmholtz H. Über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektrodynamischen Wirkungen.
Wiss.Abh. Bd.1, S.629.

121. Helmholtz H. Über die Theorie der Elektrodynamik.
(Vorläufiger Bericht)
Wiss. Abh. Bd.1, S. 636.
122. Helmholtz H. Vergleich des Ampere'schen und Neumann'-
schen Gesetzes für die elektrodynamischen
Kräfte. (Vorläufige Anzeige)
Wiss. Abh. Bd.1, S. 688.
123. Helmholtz H. Über galvanische Polarisation in gasfreien
Flüssigkeiten.
Wiss. Abh. Bd.1, S. 823.
124. Helmholtz H. Über die Theorie der Elektrodynamik.
Zweite Abhandlung: Kritisches.
Wiss. Abh. Bd.1, S. 647.
125. Helmholtz H. Über die Theorie der Elektrodynamik.
Dritte Abhandlung: Die elektrodynamischen
Kräfte in bewegten Leitern.
Wiss. Abh. Bd.1, S. 702.
126. Helmholtz H. Kritisches zur Elektrodynamik.
Wiss. Abh. Bd.1, S. 763.
127. Helmholtz H. Versuche über die im ungeschlossenen
Kreise durch Bewegung induzierten
elektromotorischen Kräfte.
Wiss. Abh. Bd.1, S. 774.
128. Helmholtz H. Bericht betreffend Versuche über die
elektromagnetische Wirkung elektrischer
Konvektion, ausgeführt von Herrn Henry A.
Rowland.
Wiss. Abh. Bd.1, S. 791.
129. Helmholtz H. Studien über elektrische Grenzschichten.
Wiss. Abh. Bd.1, S. 855.
130. Helmholtz H. Über die auf das Innere magnetisch oder
dielektrisch polarisierter Körper
wirkenden Kräfte.
Wiss. Abh. Bd.1, S. 798.
131. Helmholtz H. Die neuere Entwicklung von Faradays
Ideen über Elektrizität.
Vorträge und Reden. Bd.2, S.251.
Braunschweig, 1896. 4. Aufl.
132. Helmholtz H. Über absolute Maßsysteme für elektrische
und magnetische Größen.
Wiss. Abh. Bd. 2, S. 993.
133. Helmholtz H. Bericht über die Tätigkeit der internati-
onalen elektrischen Kommission.
Verh.d.Phys.Ges.Berlin, Nov.1882.

134. Helmholtz H. Über die Beschlüsse der internationalen Konferenz für elektrische Maßeinheiten. Verh.d.Phys.Ges.Berlin, Mai 1884.
135. Helmholtz H. Über die Beratung des Pariser Kongresses betreffend die elektrischen Maßeinheiten. Elektrotechnische Zeitschrift, 2.Jahrg.1884 S. 482.
136. Helmholtz H. Über die physikalische Bedeutung des Prinzips der kleinsten Wirkung. Wiss.Abh. Bd.3, S. 203.
137. Helmholtz H. Zur Geschichte des Prinzips der kleinsten Wirkung. Wiss.Abh. Bd.3, S. 249.
138. Helmholtz H. Erinnerungen. Vorträge und Reden, Bd.1, S.3. Braunschweig, 1894. 4. Aufl.
- 138a Übersetzung in / 2 /
139. Helmholtz H. Das Prinzip der kleinsten Wirkung in der Elektrodynamik. Wiss.Abh. Bd.3, S.476.
140. Helmholtz H. Elektromagnetische Theorie der Farbenzerstreuung. Wiss.Abh. Bd. 3, S. 505.
141. Helmholtz H. Zusätze und Berichtigungen zu dem Aufsätze: Elektromagnetische Theorie der Farbenzerstreuung. Wiss.Abh. Bd.3, S.523.
142. Helmholtz H. Folgerungen aus Maxwells Theorie über die Bewegung des reinen Äthers. Wiss.Abh. Bd.3, S. 526.
143. Helmholtz H. Vorwort zu: H. Hertz. Die Prinzipien der Mechanik. Hertz H. Ges. Werke, Bd.3, S.VII. Leipzig, 1894.
- 143a Übersetzung in:
Герц. Г. Принципы механики.
М.,АН. СССР, 1959
144. Helmholtz H. Nachtrag zu dem Aufsätze: Über das Prinzip der kleinsten Wirkung in der Elektrodynamik. Wiss.Abh. Bd.3, S.597.
145. Helmholtz H. Vorlesungen über theoretische Physik. Bd. 4, 5. Leipzig, 1907, 1897.

146. Hertz H. Zum 31. August 1891.
Ges. Werke Bd.1. Leipzig, 1895.
147. Hertz H. Über die Beziehungen zwischen den Maxwell-
schen elektrodynamischen Grundgleichungen
und den Grundgleichungen der gegnerischen
Elektrodynamik.
Ges. Werke Bd. 1, S.84. Leipzig, 1895.
148. Hertz H. Untersuchung über die Ausbreitung der
elektrischen Kraft. Einleitende Übersicht.
Ges. Werke Bd.2. Leipzig, 1914.3.Aufl.
- 148a Übersetzung in:
Из предистории радио
М., АН СССР, 1948
149. Hertz H. Über sehr schnelle elektrische Schwingungen.
Ges. Werke Bd.2, S.32. Leipzig, 1914.3.Aufl.
150. Hertz H. Über Induktionserscheinungen, hervorgerufen
durch die elektrischen Vorgänge in
Isolatoren.
Ges. Werke Bd.2. S.102. Leipzig, 1914.3.Aufl.
151. Hertz J. Heinrich Hertz.
Erinnerungen, Briefe, Tagebücher.
Leipzig, 1927.
152. Hoppe E. Geschichte der Elektrizität.
Leipzig, 1884.
153. Kirchhoff G. Über die Bewegung der Elektrizität in
Drähten.
Wiss. Abh. S.131. Leipzig, 1882.
154. Kirchhoff G. Über die Bewegung der Elektrizität in
Leitern.
Wiss. Abh. S. 154. Leipzig, 1882.
155. Kirchhoff G. Z ur Theorie der Entladung einer Leydener
Flasche.
Wiss.Abh. S. 168.
156. Kleiner A. Mitteilung über eine von dem verstorbenen
Prof. J. J. Müller begonnene Untersuchung
über den Einfluß von Isolatoren auf
elektrodynamische Fernwirkung.
Ann. d. Phys. 156, 564, 1875.
157. Koenigsberger L. Hermann v. Helmholtz.
3 Bd. Braunschweig, 1902.
158. Kries J. Helmholtz als Physiologe.
Die Naturwissenschaft 35, 673, 1921.

159. Neumann F. Die Mathematischen Gesetze der induzierten elektrischen Ströme.
Ostwalds Klassiker 10. Leipzig, 1889.
160. Neumann F. Über ein allgemeines Prinzip der mathematischen Theorie induzierter elektrischer Ströme.
Ostwalds Klassiker 36. Leipzig, 1892.
161. Planck M. Das Prinzip der Erhaltung der Energie.
Leipzig, 1921. 4. Aufl.
- 161a Übersetzung:
Принцип сохранения энергии
М.Л. ТЮНТИ, 1938
162. Reiner J. Hermann v. Helmholtz.
Leipzig, 1905.
163. Siemens W. Über die elektrostatische Induktion und die Verzögerung des Stromes in Flaschendraht.
Ann.d.Phys. 102, 66, 1857.
164. Silow P. Über die Dielektrizitätskonstanten der Flüssigkeiten.
Ann.d.Phys. 156, 389, 1875.
165. Silow P. Über die Dielektrizitätskonstanten der Flüssigkeiten. Zweiter Aufsatz.
Ann.d.Phys. 158, 306, 1876.
166. Silow P. Experimentelle Untersuchungen über schwach magnetische Körper.
Ann.d.Phys. 1, 481, 1877.
167. Silow P. Experimentelle Untersuchungen über schwach magnetische Körper. 2. Teil.
Moskau, 1879.
168. Silow P. Experimentelle Untersuchung über schwach magnetische Körper. 3. Teil.
Ann.d.Phys. 11, 334, 1880.
169. Silow P. Notiz über schwach magnetische und diamagnetische Körper.
Ann.d.Phys. 16, 247, 1882.
170. Schiller N. Experimente über elektrische Schwingungen.
Ann.d.Phys. 152, 535, 1874.
171. Schiller N. Versuch über die elektrodynamische Wirkung des Polarisationsstromes.
Colley R.
Ann.d.Phys. 155, 467, 1875.

172. Schiller N. Versuche mit Stromenden und geschlossenen
Magneten. Brief an Helmholtz.
Monatsber.d.Königl.Preuss.Ak.d.Wiss. z.
Berlin. Juni 1875, S. 416.
173. Schiller N. Elektromagnetische Eigenschaften der
ungeschlossenen elektrischen Ströme.
Ann.d.Phys. 159,456,1876.
Berichtigung: Ann.d.Phys. 160,333,1877.
174. Weber W. Elektrodynamische Maßbestimmungen.
Leipzig, 1846.
175. Wien W. Helmholtz als Physiker.
Die Naturwissenschaft 35,694,1921.