

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Журнал основан в 1880 году Электротехническим (VI) Отделом Русского Технического Общества

Адрес Редакции и Конторы:

I. МОСКВА, 66, Гороховская 23.
Телеф. 72-48 и 1-57-19.

II. ЛЕНИНГРАД, Проспект 25 октября,
д. 6, кв. 7. Тел. 590-08.

Орган Всесоюзного Электротехнического Об'единения, Главного Электротехнического Управления, Всесоюзных Электротехнических Съездов, Центрального Электротехнического Совета, Научно-Технического О-ва Электротехников и Русского Электротехнического Комитета МЭН.

Февраль 1930 г.

№ 3

Февраль 1930 г.

Содержание

Природа электрического тока	127	Хроника	175
А. П. Кудрявцев — Саморегулирование работы электрических машин на тепловозах с электрической передачей	138	Стандарты	178
Инженеры А. Г. Неметерсон, Н. Н. Попов,		Библиография	180
Ф. А. Самиль и Л. Л. Энгесон — Новейшие гидроэлектрические станции Швеции	142	Kirzgefassste Wiedergabe des Heftinhaltes	183
Бюллетень № 43 (№ 3—1930 г.) Отдела Электрификации		Новые издания	183
Главэлектро	156		
Из книг и журналов	162		
		ИНФОРМАЦИОННЫЙ ОТДЕЛ Акц. О-ва ЭЛЕКТРОИМПОРТ	
		Сименс - Шуккерт — Теплосиловая станция „Норд“, в Лейпциге	213

ПРИРОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

THE NATURE OF ELECTRIC CURRENT

(Discussion held in the Polytechnical Institute of Leningrad).

От редакции. Наука об электричестве и магнетизме, развиваясь притерпела стадии, обычные для всех отделов физики. Накопление экспериментальных данных требовало обобщения их, сведения к возможно малому количеству основных положений. При этом в теоретической физике, занимающейся обобщением результатов экспериментальных физических исследований, обнаружились два основных течения. Одна группа физиков рассматривает все физические процессы, происходящие в некоторой среде, которая и передает воздействия одного физического тела на другое. Вторая группа ученых сводит физические процессы к взаимодействию физических тел на расстоянии большом или малом, осуществляя без участия какой-либо промежуточной среды. Большинство современных физиков разделяет последнюю точку зрения. Особенно широкому распространению в настоящее время идеи действия на расстоянии благоприятствует накопление огромного по своему об'ему опытного материала, требующего об'единения хотя бы и чисто формального. Однако, и число сторонников, так называемой, „английской школы“, не удовлетворяющей чисто математическим описанием физических процессов и стре-

мящейся проникнуть в механизм их, не так мало. Одним из коренных вопросов, где особенно ясно выступает разница во взглядах двух школ, является вопрос о природе электрического тока.

В Ленинградском Политехническом Институте в течение декабря, января и февраля был организован ряд бесед по этому вопросу, в которых приняли участие крупнейшие физики, сторонники того и другого взгляда, и наши философы-диалектики. В выступлениях, участвовавших в собеседовании, чрезвычайно ярко выразили стремления и аргументы обеих школ. Учитывая громадный интерес бесед, редакция решила поместить на своих страницах подлинную их стенограмму. Редакция остановилась на помещении, именно, стенограммы, а не изложения содержания бесед, считая, что всякая обработка могла бы незаметно исказить мысли выступавших. В настоящем номере помещается первая беседа, остальные будут печататься в следующих номерах. Редакция охотно предоставляет место на страницах журнала физикам и электрикам, которые пожелают высказать по обсуждаемому вопросу.

Первая беседа на тему «Природа Электрического Тока» состоявшаяся
13 декабря 1929 г.

А. Ф. ИОФФЕ.—Позвольте открыть сегодняшнее собрание. Как вы знаете, оно посвящено обсуждению тех новых и очень любопытных взглядов, которые создались у В. Ф. Миткевича по отношению к основной структуре электромагнитных явлений. Когда лет 50 тому назад создалась теория Максвелла, то оказалось, что вопросы электромагнитных явлений раз и навсегда разрешены. Имеется

уравнение, и дальнейшая задача—разрешать только вытекающие отдельные и частные случаи, самая же основа—существование поля—математическим языком раз и навсегда выражена. Затем, эта теория, в отличие от предшествующего способа описания электромагнитных явлений, перенесла центр тяжести на рассмотрение того, что совершается вокруг заряженного тела, вокруг тех тел, которые имеют

или в которых движется заряд. Центр тяжести этой теории заключается в том электромагнитном поле, которое окружает источник, вызывающий это явление и которое, строго говоря, распространяется в бесконечность. До Максвелловской теории интересовались электричеством, интересовались магнетизмом, как источниками этих явлений, и теми телами, которые их создавали, и в которых они концентрировались. Теория Максвелла перенесла интерес от этих тел к окружающей их среде, в то электромагнитное поле, которое там создавалось. Нигде не отказываясь от теории Максвелла и достигнутых ею больших обобщений и положительных результатов, появилась в ее рамках и как ее дополнение или видоизменение электронная теория, которая, не отрицая существования электромагнитного поля, больше интересуется теми источниками, которые эти поля создают, тогда как Максвелловская теория, с другой стороны, не опровергая того, что какой-то источник поля есть, не считает нужным им заниматься. Так как все интересующие нас явления могут быть достаточно объяснены тем, что вокруг зарядов происходит, то произошло обратное возращение интереса к этим источникам зарядов. Те большие успехи экспериментальной физики, тот нарастающий ряд новых открытий, новых фактов, которые последовали в рамках электронной теории, все время поддерживают интерес в этом направлении. Сам электрои, как источник всех электрических явлений, является все более и более конкретным по образу и подобию наших тел, построенных нами маленьких телец, шариков, у которых диаметр и радиус был хорошо рассчитан, и которые представляют собой такие шарики, или по поверхности, или внутри заполненные электричеством, с резкими границами, определенных размеров. С этими шариками оперировали и до последних лет. Казалось, что в них самая интересная часть вопроса. В. Ф. Миткевич, в отличие от этого направления, все время продолжает развивать тот взгляд на это явление, который обясняет явления, и описание их производят при помощи окружающего этот заряд электромагнитного поля. Нельзя сказать, что бы между этими двумя точками зрения были бы противоречия, но есть разные устремления, разные области интересов. За последние несколько лет, как вы знаете, и электроны сами по себе, из этих твердых замкнутых определенных шариков, начали расплыватьсь, и сейчас таких твердых электронных шариков у нас нет больше. Шарики расплылись, и они охватили все пространство, как и то электромагнитное поле, которое раньше от самого шарика отделялось. В этом острота противоречия между заряженным электрическим шариком и электроном и электромагнитным полем, которое от этого электрона отлично, и которое его окружает; острота этого противоречия опять начинает исчезать, потому что и сам электрон потерял свои границы и отделился, и его, во всяком случае, геометрически, территориально уже нет. Сегодняшнее наше рассмотрение этого вопроса мы предполагали вести таким образом, что сначала В. Ф. Миткевич изложит основные свои взгляды, которые расширили электромагнитную теорию Максвелла и указают возможность их нового расширения и чрезвычайно продуктивного приложения, еще более ценного в большой области явлений. Затем Я. И. Френкель изложит другую точку зрения, ту, которая наиболее привычна в современной физике, которая, главным образом, сейчас в большинстве работ в области чистой физики используется. Затем, я надеюсь, что мы воспользуемся присутствием П. С. Эренфеста, который может изложить свою точку зрения, а затем В. К. Лебединский примет участие и изложит свои взгляды, а дальше посмотрим, как наша дискуссия развернется.

В. Ф. МИТКЕВИЧ.— Темой нашей сегодняшней беседы является природа электрического тока. Вопрос идет, по моему мнению, о том, чтобы выяснить основные, принципиально не отъемлемые, свойства всякого электрического тока и отмежеваться от вторичных проявлений, которые могут иметь место, а могут и отсутствовать. В одном, я думаю, все будут согласны, а именно, что ток есть некоторое электромагнитное явление. Когда мы говорим об электрическом токе, мы часто понимаем этот термин лишь в узком смысле слова. Этот смысл называется отголосками старой точки зрения, которая, исходя из представления об электрических жидкостях, вне движения этих "жидкостей" не усматривала ничего существенного в явлении электрического тока. Максвелл, руководившийся идеями Фарадея, совершенно определенно указывал, что необходимо шире трактовать понятие об электрическом токе. Для того, чтобы привести несколько слов из Максвелла и Фарадея на эту тему, я позволю себе прочесть следующие

строки из своей книги „Физические Основы Электротехники“ (стр. 258):

«Максвелл, особенно обстоятельно анализировавший многие следствия, вытекающие из кинетической природы тока, и опиравшийся при этом на идеи и опыты Фарадея между прочим, так выражается по поводу движений электромагнитного характера, которые происходят в системе (двух) токов: „...Эта движущаяся материя, какова бы она ни была, не ограничивается объемом проводников, несущих два тока, но, вероятно, простирается по всему пространству, окружающему их“¹⁾. Сам Фарадей, относившийся с большой осторожностью к представлениям об электрическом токе, вытекающим из идеи об электрических жидкостях, склонен был видеть в проводнике, несущем ток некоторую „ось“—„axis of power“, относительно которой как-то ориентированы электрические и магнитные силы действующие в цепи²⁾. В высокой степени характерно что Фарадей, открывший законы электролиза и тем самым казалось бы, давший убедительное доказательство тому, что представление о движении электричества внутри проводника, несущего ток, имеет непосредственное отношение к действительности, все же устремляет свой взор в пространство вне проводника, когда в связи с явлениями электромагнитной индукции ищет ответа на вопрос об основных и характерных свойствах электрического тока. В какой степени Фарадей склонен был отвлечься от обычных представлений об электрическом токе, свидетельствуют ниже следующие слова: „Из двух предположений, весьма обычно принимаемых в настоящее время, о магнитных жидкостях и об электрических токах, первое необходимо признать ошибочным, а быть может и оба ошибочны“³⁾.»

В дальнейшем я буду стремиться понимать под электрическим током вообще электромагнитный процесс, происходящий в той области пространства, где находится и тот, в узком смысле слова, ток, о котором мы часто говорим по старой привычке. Основные общие характеристики всякого электрического тока я попытаюсь сейчас изложить в виде нескольких положений:

Положение 1. В той области пространства, где имеет место электрический ток, сосуществуют магнитные силы и электрические силы. Магнитная сила H и электрическая сила E сосуществуют, как некоторые неразрывно связанные между собою стороны электромагнитного процесса. Это всегда обязательно должно быть в любом частном случае тока. Иногда нам кажется, что в данной области пространства, занятой электромагнитным процессом, мы наблюдаем только магнитное поле. Иногда, в других случаях нам кажется, что в некоторой области мы наблюдаем только электрическое поле. Но всегда есть участки области, занятой процессом электрического тока, в которых сосуществуют в том же месте и H , и E .

Положение 2. $\int J \cos \alpha dS = 0$. Это есть прин-

цип замкнутости всякого электрического тока. Он гласит, что ток есть некоторый процесс, происходящий в замкнутом контуре. Это — принципиальное положение Максвелловской теории, которое выражается вышеупомянутым математическим соотношением: интеграл, распространенный по произвольной замкнутой поверхности от полного тока, проходящего сквозь отдельные элементы этой поверхности, равен нулю. Через J мы обозначаем плотность полного тока, α есть угол между плотностью тока и нормалью к поверхности в данной точке, dS — элемент поверхности. Итак, полный электрический ток сквозь любую замкнутую поверхность, какую бы мы ее ни выбрали, всегда равен нулю. Это положение имеет особо важное значение, равно как и положение 3.

Положение 3. $\int B \cos \alpha dS = 0$. Это есть

принцип замкнутости магнитного потока. Магнитные линии, которые Фарадей понимал, как физические, реально существующие элементы магнитного потока, всегда принципиально замкнуты. Никаких концов магнитных линий в природе не существует и ни в каком опыте мы не можем их обнаружить. Какие бы преобразования ни претерпевал магнитный поток, магнитные линии, его составляющие, всегда образуют замкнутые контуры. В вышеупомяну-

¹⁾ Maxwell, Treatise on El. and Maga., Vol II, § 572.

²⁾ Faraday, Experimental Researches in Electricity, §§ 517, 1642, 3269.

³⁾ Faraday, Experimental Researches in Electricity, § 3303.

денном соотношении интеграл магнитной индукции распространяется по всей произвольной поверхности s . В $\cos \beta$ есть нормальная составляющая индукции в данной точке поверхности. Итак, полный магнитный поток сквозь любую замкнутую поверхность, какой бы формы она ни была, всегда равен нулю.

Положение 4. $\oint H \cos \beta dl = I$. Это есть за-

кон магнитодвижущей силы: линейный интеграл магнитной силы, взятый вдоль любого контура, равен полному электрическому току, протекающему сквозь произвольную поверхность, ограниченную этим контуром. $H \cos \beta$ есть тангенциальная составляющая магнитной силы в месте расположения элемента контура dl . Я опускаю коэффициент 4π , чтобы не осложнить соотношение лишним коэффициентом, т. е. я применяю единицы Хевисайда. Итак, мерой тока, проходящего сквозь некоторую поверхность, может служить линейный интеграл магнитной силы, взятый по контуру, ограничивающему данную поверхность. Следовательно, безразлично, говорим ли мы о токе или о магнитных силах поля тока. Если мы будем брать линейный интеграл вдоль магнитных линий, которые являются принципиально замкнутыми контурами, то можно просто написать:

$$\oint H dl = I.$$

Положение 5. Причины сцепления магнитного потока и электрического тока (рис. 1). Пятое положение я считаю полезным здесь установить. Оно несомненно общепризнано и общеизвестно. Оно касается характера тесной связи магнитного потока и тока. Магнитный поток и ток, с ним связанный, сцепляются как звенья цепи. Это всегда две стороны одного и того же электромагнитного процесса.

Положения 4 и 5 особенно существенны в моих построениях, касающихся природы электрического тока. Они

свидетельствуют о чрезвычайно интимной связи магнитного потока с током. Как бы магнитный поток ни был выражаем, но если только он имеет место, обязательно есть и ток, ибо линейный интеграл, взятый вдоль контура любой магнитной линии, ни в коем случае не равен нулю, а обязательно имеет конечное значение, т. е. указывает на

наличие тока. Какие бы другие признаки электрического тока мы ни рассматривали, они не имеют универсального значения; наличие же магнитного потока всегда и неизменно свидетельствует о том, что есть ток. Обратно, если есть ток, то есть и магнитный поток, и мы не в состоянии в настоящее время говорить о токе, не связанном с магнитным потоком. Повторю, это две стороны одного и того же электромагнитного процесса.

Теперь я разберу несколько простейших примеров, на которых моя общая точка зрения на процесс, называемый нами электрическим током, выявляется довольно просто. Возьмем в виде первого примера самый обычный случай тока, случай проводникового тока в некоторой замкнутой цепи (рис. 2).

Мы знаем, что с контуром тока связан магнитный поток, который сцепляется так, как это было выше указано, и как это схематически изображено на рис. 2. Итак, в пространстве вокруг проводника имеются магнитные линии, направление которых определенным образом связано с направлением тока (правило штопора). Мерой тока мы обычно считаем количество электричества, протекающего в единицу времени через поперечное сечение проводника. С современной точки зрения принято мыслить, что это есть количество электричества, переносимого в ионном и электронном процессе. Часть проводника (рис. 2) может быть первого класса, часть второго класса. Вместе с движением ионов и электронов, которое в данной цепи имеет место, в этой цепи появляется добавочный процесс теплового характера. Благодаря движению ионов и электронов в данной проводниковой цепи, энергия какого-то упорядоченного движения, имеющего место в электромагнитном процессе, превращается в энергию беспорядочного теплового движения (джоулево тепло). На этом простейшем примере я остановлюсь, между прочим, для того, чтобы подчеркнуть одно, в высшей

степени, важное соотношение, относящееся к электрической энергии тока. Это соотношение справедливо для всех случаев тока, но здесь, в примере линейного проводника, оно выражается простейшим образом. Электрокинети-

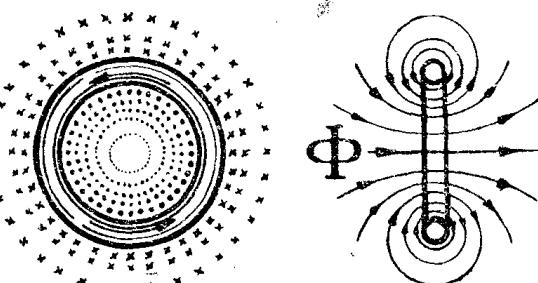


Рис. 2.

ческая энергия тока, которая равна $\frac{1}{2} L^2 I^2$ есть ничто иное, как энергия магнитного поля, связанного с током. Эта энергия магнитного поля равна интегралу: $\int \frac{1}{2} \mu H^2 dr$, при чем интегри-

рование производится по всему объему, в котором проявляется процесс электрического тока. Тут подчеркиваю, что магнитное поле и энергия, им привносимая в систему, играет весьма существенную роль в процессе тока.

В качестве второго примера, я возьму другой крайний случай, именно, чистый ток смещения, представление о котором введено в науку Максвеллом. Рассмотрим электромагнитный комплекс, который является квантом излучаемой энергии. Здесь опять встречается электрический ток. Этот второй пример касается токов, которые распространены в природе гораздо более, чем токи проводниковые, рассмотренные в примере первом. Наша аудитория, например, залита этими токами смещения, о которых я сейчас буду говорить. С точки зрения Пойнтинга квант электромагнитной энергии можно изобразить таким образом. Допустим, что мы имеем некоторое магнитное поле (рис. 3), которое движется со скоростью c , имеющей совершенно определенное физическое значение (скорость света). Магнитные линии мы, как указано выше, должны рассматривать замыкающимися в пространстве. В данном случае, мы должны мыслить их замыкающимися в пределах того объема, который занят электромагнитным комплексом. Вместе с тем, везде, где есть движущееся магнитное поле, там же наблюдаются и электрические силы, вообще говоря, перпендикулярные к магнитным. Для простоты, мы будем рассматривать случай движения квант электромагнитной энергии в, так называемой, "абсолютной пустоте". Картина распределения магнитных и электрических сил схематически показана на рис. 3. Как, в данном случае, ток будет сцепляться с магнитным потоком? Этот ток есть ток электрического смещения, который будет иметь место везде, где изменяется электрическое смещение. На рис. 3 схематически показано распределение тока электрического смещения — I_p . Этот ток будет замыкаться по сторонам. Будем иметь замкнутый ток, сцепляющийся на подобие звеньев

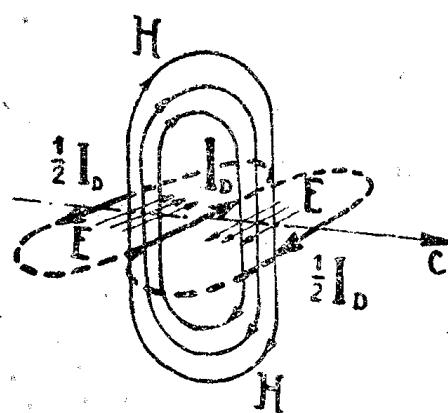


Рис. 3.

цепи, с элементами магнитного потока. Плотность тока смещения в каждой точке есть производная смещения по времени. Если электрическое смещение не изменяется, ток нет, если изменяется, то ток есть. Я сказал, что мы рас-

сматриваем этот пример в условиях „абсолютной пустоты“, лишенной обычной материи. Здесь нет ни ионов, ни электронов, наличие которых иногда нам кажется существенно необходимым для того, чтобы возникал ток. Совершенно отвлекаясь от обычной материи, мы имеем полностью основные явления, характеризующие электромагнитный процесс, называемый электрическим током. Подчеркиваю, мы имеем случай тока в „абсолютно пустом“ пространстве лишенном какой бы то ни было обычной материи, и это один из самых распространенных случаев электрического тока в природе.

В качестве третьего примера я возьму, в дополнение к предыдущему, более примитивный случай чистого тока смещения. Представим себе перпендикулярно плоскости чертежа некоторый железный сердечник, в котором может возникать магнитный поток (рис. 4). Допустим, что этот

поток изменяется, и при этом $\frac{d\Phi}{dt} \neq \text{Const}$. Опять дело происходит в „абсолютной пустоте“, никакой матери нет. Мы здесь можем иметь изменяющееся электрическое поле и совершенно определенные токи смещения, замыкающиеся вокруг железного сердечника. В данном случае, направление этих токов смещения будет зависеть от того, возрастает ли или убывает поле. На рис. 4 показано направление тока смещения, соответствующее возрастанию магнитного потока, идущего от нас. Подчеркиваю, мы имеем случай электрического поля и тока в среде, абсолютно лишенной ионов и электронов.

Наконец, рассмотрим четвертый пример на комбинацию проводникового тока и тока смещения. Представим себе цепь частью проводникового, частью емкостного характера, т. е. допустим, что мы имеем некоторый разрыв проводниковой цепи, и в месте разрыва некоторую емкость (рис. 5). Допустим далее, что в данной цепи действует некоторая изменяющаяся электродвижущая сила, которая может вызвать ток. Это самый обычный случай электрического тока, который в технике переменного тока на каждом шагу встречается. В этом случае мы опять оговоримся, что рассматриваем систему в „абсолютной пустоте“. Мы имеем одновременно два рода тока: ток проводниковый, который связан с движением ионов и электронов, и ток, протекающий в, так называемой, „абсолютной пустоте“, при полном отсутствии ионов и электронов. Если представим себе некоторую поверхность S , перпендикулярную линиям тока смещения, то полный ток смещения сквозь эту поверхность, конечно, как раз будет равняться току проводниковому, который проходит через любое поперечное сечение проводниковой цепи. Итак, здесь две категории тока: ток, связанный с движением ионов и электронов, и ток, не связанный с движением ионов и электронов. В случае, когда имеем движение ионов и электронов, выделяется джоулево тепло, которое является, так сказать, вторичным признаком процесса тока, ибо при той же силе тока, в зависимости от природы вещества, от сопротивления электрическому току, являющемся коэффициентом, показывающим способность материи пе-

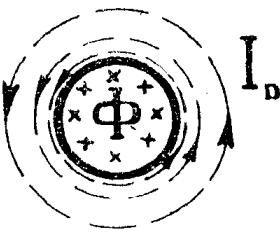


Рис. 4.

щающуюся непрерывно, как линейная функция времени. То же самое можно было бы иметь и в случае, изображенном на рис. 4. Чистый ток смещения, в этом случае, можно сделать постоянным, если производную магнитного потока подобрать так, чтобы она являлась линейной функцией времени. Мы получили, таким образом, постоянный ток смещения. Этот постоянный ток может длиться достаточно долго: час, месяц, год. Если, например, возьмем возрастание электродвижущей силы на милливольт в секунду, то хватит на несколько лет. Миллион секунд будет соответствовать тысяче вольт. Безгранично долго пропускать постоянный ток смещения мы не можем, конечно, но это в рассматриваемых случаях (рис. 4 и 5) не существенно. Так или иначе, здесь течет постоянный ток со всеми своими свойствами. В случае, изображенном на рис. 5, он течет частью по проводнику, где он связан с движением ионов и электронов, частью через диэлектрик, „абсолютную пустоту“, где он связан с непрерывно изменяющимся электрическим смещением. Итак, совершенно ясно, что если электрический ток есть такой процесс, который может существовать и в условиях полного отсутствия материи, в „абсолютной пустоте“, то отсюда следует, что принципиального значения в вопросе о природе электрического тока наличие ионов и электронов не имеет. Движение ионов и электронов в проводниковой части цепи представляет собою, конечно, важное обстоятельство, которое известным образом ориентирует движение энергии в системе. По мысли Фарадея, проводник, по которому течет ток, играет роль своего рода „оси“ в энергетической сущности явления тока. Мы пользуемся проводниками при электрической передаче энергии, чтобы надлежащим образом направлять поток электромагнитной энергии, которая при этом движется по диэлектрику, окружающему проводник, но не внутри проводника, где текут электроны. В процессе передачи энергии движение ионов и электронов играет лишь пассивную роль. Вообще же, ток может существовать и при полном отсутствии обычной материи. Что движение ионов и электронов, совершенно упорядоченное относительно какой-нибудь поверхности, само по себе далеко не составляет полного электрического тока

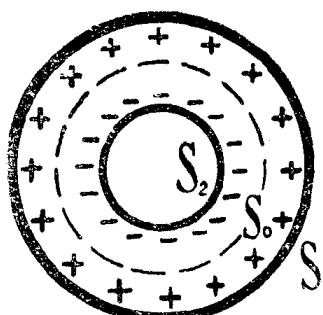


Рис. 6.

сквозь эту поверхность — это совершенно ясно, но я позволю себе еще иллюстрировать это элементарным примером такого рода. Представим себе опять „абсолютную пустоту“. Возьмем некоторую полую проводящую сферу S_1 . Поместим внутри нее концентрично другую сферу S_2 , тоже проводящую металлическую, подобранную из соответствующего материала. (Рис. 6). Построим мысленно некоторую сферическую поверхность S_o (пунктирная линия), охватывающую внутреннюю сферу и разделяющую совершенно обе проводящие сферические поверхности. Представим себе теперь, что мы зарядили внутреннюю сферу S_2 , создали разности, потенциалов между двумя проводящими поверхностями. На момент мы можем для этого сделать отверстие в наружной сфере S_1 , прорвать в него соответствующий провод, потом вынуть провод и закрыть отверстие. Допустим, внешняя сфера S_1 заряжена положительно, а внутренняя сфера S_2 — отрицательно. В процессе возникновения этого внутреннего электрического поля имеет место изменяющееся электрическое смещение. После установления поля, все может далее оставаться сколь угодно долго неизменным. Затем представим себе, что в некоторый момент внутренняя сфера S_2 , скажем, нагреется до належащей температуры (это можно сделать). Она начинает испускать электроны, вся поверхность начинает излучать электроны, как в какомнибудь вакуумном приборе. Очевидно, эти электроны начнут направляться к положительно заряженной сфере S_1 . Мы будем иметь равномерный, совершенно однородный поток электронов сквозь поверхность S_o . Продолжается это до тех пор, пока не исчезнет электрическое поле и соответствующее электрическое смещение и во все время этого течения электронов сквозь поверхность S_o , полный электрический ток сквозь эту поверхность будет равен нулю, так как одновременно с током переноса электронов мы имеем обратный по направлению ток электрического смещения. Ток смещения и ток переноса электронов сквозь поверхность в сумме равняются нулю. Они обратны по знаку. Повторяю, само по себе движение ионов и электронов еще нико-

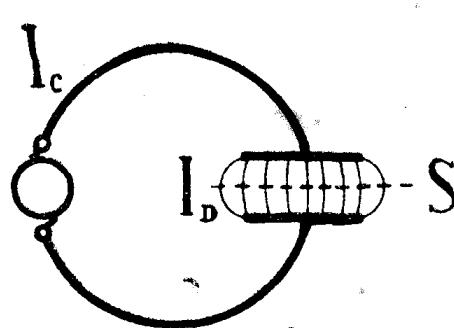


Рис. 5.

рерабатывать энергию электромагнитного поля в энергию беспорядочного теплового движения, выделяется большее или меньшее количество тепла в единицу времени. В рассматриваемом примере можно себе представить, что по данной смешанной цепи течет постоянный ток. Для этого необходимо лишь взять электродвижущую силу, изменя-

не говорит о полном токе. Необходимо, вообще говоря, учитывать изменение электрического смещения. Это имеет принципиально важное значение. Вопрос о том, каким образом при движении элементарных зарядов исчезает имеющаяся в среде деформация электрического смещения, был давно уже разобран Дж. Дж. Томсоном, который явился продолжателем учения Максвелла и пытался развить некоторые вопросы, освещенные у Максвелла недостаточно. Дж. Дж. Томсон дал ряд примеров, наглядно иллюстрирующих процесс исчезнования деформации смещения под влиянием движения элементарных зарядов. Итак, в рассматриваемом опыте (рис. 6), который я мысленно произвожу, наряду с движением электронов, которые я принимаю во внимание, мы имеем непрерывно изменяющееся электрическое смещение. Как только есть движение ионов и электронов, обязательно имеет место изменение электрического смещения, и это изменение происходит таким образом, что ток переноса и ток смещения обратны для каждого элемента поверхности S_0 . Если бы мы в наружной сфере S_1 снова сделали отверстие, опять сквозь него подвели со стороны провод к внутренней сфере и применили некоторую внешнюю электродвижущую силу, которая способна была бы поддержать начальную разность потенциалов между сферическими поверхностями и возобновлять разрушающую движением электронов часть электрического смещения, то можно получить конечной величины ток сквозь поверхность S_0 . Итак, совершенно ясно, с точки зрения Максвелла, а также и Дж. Дж. Томсона, который в сущности только развил мысли Максвелла, что процесс электрического тока сквозь поверхность S_0 связан с непрерывным разрушением и возобновлением электрического смещения. Ток убывающего смещения и ток переноса ионов или электронов в сумме дают пуль, а непрерывное восстановление смещения дает тот ток смещения, который фактически является основным явлением в процессе тока, и которое в численном отношении, конечно, точно выражается количеством электричества, перенесенного электронами или ионами. В единицу времени разрушается такое количество смещения, какое определяется перенесением элементарных электрических зарядов, и в случае установившегося режима (при постоянном токе) такое же количество электрического смещения вновь воссоздается. При неустановившемся режиме, в этом отношении получается расхождение. Если при установившемся режиме мы попытаемся описать это явление, говоря, что сила тока, проходящего сквозь поверхность S_0 , измеряется количеством электронных зарядов, проносимых в секунду через эту поверхность, это математически верно, но это искажено, если будем рассматривать с точки зрения существа дела. Формально все совершенно верно, никаких разногласий нет, и колossalная практика показывает, что мы смотрим правильно с точки зрения математических соотношений. Но существа дела не таково, и, конечно, совершенно также по Максвеллу и по Дж. Дж. Томсону надо рассматривать и случаи прохождения тока по металлическому проводнику. Максвелл определенно говорит о том, что электрическое смещение, которое создается в металлическом проводнике за счет внешнего источника, непрерывно ослабевает. Во всех примерах тока, разобранных мною выше, фактически был и электрический ток, и магнитный поток. Связь между ними покоятся на реальных данных. В случае сферических поверхностей (рис. 6), когда еще не был создан режим действительного тока сквозь поверхность S_0 , а имеются лишь противоположно заряженные поверхности, не сообщенные ни с каким внешним источником, никакого магнитного потока, сцепляющегося с полным электронным током сквозь поверхность S_0 не было, и принципиально, геометрически, это было бы немыслимо.

Я кончаяю, мне много говорить не приходится. Из всего того, что я изложил, вытекает следующее. Основные свойства всякого электрического тока, свойства которых должны нам непосредственно указывать на природу явления, называющегося электрическим током и понимаемого в широком смысле электромагнитного процесса, основные свойства сводятся к магнитному потоку и току электрического смещения, с ним сцепляющемуся. Если по каким-либо соображениям точка зрения Максвелла и Дж. Дж. Томсона на природу процесса, происходящего в проводниковой цепи, не приемлема, и мы сочтем полезным трактовать его с иной точки зрения, если мы попытаемся свести механизм проводникового тока только к движению ионов и электронов, как к первичному явлению, то различные токи (ток проводниковый и ток смещения) проходят обязательно по разному: в проводниковой цепи так, в цепи

тока смещения иначе. В таком случае, остается единственный общий для всех случаев электрического тока и всегда неизменный основной признак тока,—магнитный поток. Больше я пока ничего не могу сказать.

Я. С. ФРЕНКЕЛЬ. В. Ф. Миткевич в своем докладе поставил слишком узкие рамки для вопроса, который должен был сегодня трактоваться; поэтому я позволю себе выйти за пределы этих рамок. Прежде всего я позволю себе рассмотреть вкратце тот вопрос, который излагал только что В. Ф. В сущности, в его изложении я никакой новой теории электрического тока не нашел, а нашел только новое название для явления, никем не отрицающегося. Дело сводится к тому, что две разные вещи называются одним именем. Именно, ток конвекционный, который рассматривается, как движение электрических зарядов, и ток смещения, который раньше во времена Максвелла и Фарадея рассматривался тоже, как процесс движения в эфире, а ныне рассматривается просто, как переменное электрическое поле. Конечно, можно назвать током переменное электрическое поле, как это здесь написано, и, вместе с тем, назвать током другой процесс, связанный с переносом электричества и полный ток, т. е. сумму этих двух токов определить магнитным потоком; его окружающим. Это просто терминология и терминология неудобная, потому что всякая терминология должна быть, по возможности, однозначна, т. е. различным понятиям должны соответствовать различные термины. Я считаю, что психологический корень этого отожествления лежит в воззрениях Фарадея и Максвелла на природу электрического смещения, как на некоторую деформацию эфира, а, следовательно, и на переменное электрическое поле, как на некоторое движение в эфире. Но поскольку мы ныне об эфире не говорим, такое сближение является просто неудобным смещением двух разных понятий. Кроме того, такое смещение, в случае чистого тока смещения, представляет собой подчинение понятия электрического поля понятию магнитного поля. Я не вижу оснований для того, чтобы процесс изменения электрического поля во времени рассматривать не как таковой, а лишь с точки зрения сопутствующего ему в окружающем пространстве магнитного поля. Подобное подчинение электрического поля магнитному, тем менее, обосновано, что мы знаем обратный процесс, когда переменное магнитное поле создает электрические силовые линии. С точки зрения той теории, которую защищает В. Ф., нужно сказать, что переменное магнитное поле представляет собой магнитный ток, измеряемый электрическим потоком, который его окружает. Я хочу теперь рассмотреть другой вопрос, своеобразно освещаемый старой школой английских физиков—Максвелла, Пойнтинга и Томсона, к которой примыкает и В. Ф. Эта школа придает преобладающее значение процессу, совершающемуся вне проводника, а не движению материальных частиц в проводнике. Она склонна рассматривать последнее, как вторичное или второстепенное явление, а первичным и наиболее существенным считать процесс, происходящий вне проводника, процесс, связанный с существованием вне проводника электрического и магнитного поля. Эта школа не останавливается на введении понятия электрического или магнитного поля. Она до некоторой степени пытается материализовать это поле, изображая его при помощи силовых линий и пытаясь трактовать эти силовые линии, как непосредственную физическую реальность. Любое силовое поле можно изображать системой линий, переводимых с таким расчетом, чтобы направление их совпадало с направлением поля, а густота определяла интенсивность последнего. Нечего говорить, во многих случаях это представляется чрезвычайно удобным. Можно ли, однако, трактовать силовые линии, как определенные квази-материальные индивидуумы, как это делает В. Ф. в своем описании явлений индукции. Я считаю, что подобная материализация магнитных и электрических силовых линий совершенно недопустима,—именно, потому что эти линии ни суть реальное образование, а лишь продукт нашего воображения. Мы не можем говорить о том, как перемещаются эти линии в пространстве, как они движутся. Представим себе, напр., магнитное поле, создаваемое некоторым неподвижным магнитом, и начертим силовые линии. Перенесем теперь магнит в другое место и снова начертим магнитные силовые линии. Можем ли мы отожествить определенную силовую линию, скажем, № 1 в одном положении соответствующую ей в другом? Если можем, то это означает, что линии существуют, как нечто реальное, если не можем, значит, линии не существуют, как нечто реальное. Когда

мы рассматриваем поступательное движение магнита, то, поскольку дело касается производимого этим движением индукционного эффекта в каком-нибудь неподвижном контуре, мы можем себе представить, что все силовые линии перемещаются без деформации, параллельно самим себе, вместе с магнитом. В этом случае, можно было бы отожествить те или иные линии в различные моменты времени. Если мы, однако, рассмотрим магнит, вращающийся вокруг своей оси, то вопрос этот потеряет смысл. В известном опыте Фарадея, описанном в учебнике В. Ф., ток, который получается в перпендикулярном к магниту диске, равен нулю, если диск неподвижен. При вращении же диска в нем получается ток, совершенно не зависящий от того, вращается ли при этом магнит или нет. Ток получается в самом магните. С точки зрения материализации магнитных силовых линий мы получаем неразрешимую проблему: почему в одном случае (поступательного движения) магнитные силовые линии увлекаются магнитом, а в другом (вращательного движения) не увлекаются им? И далее: каким образом движутся магнитные силовые линии в общем случае произвольного движения магнита. Эти проблемы принадлежат к типу—весьма распространенному в прошлом—фактивных физических задач („Scheinproblem“ немцев). Мы часто становимся жертвой такой неправильной постановки вопроса, которая приводит нас к фактическим задачам. Я позволю себе привести следующий грубый пример. Можно поставить себе вопрос: есть ли у черта хвост или нет. Этот вопрос в свое время ставился, обсуждался и решался в том или ином смысле. Мы знаем, однако, что прежде, чем решать его, нужно поставить вопрос, а есть ли черт на самом деле, или же мы сами его выдумали. Точно так же обстоит дело с вопросом о том, двигаются ли магнитные силовые линии или они остаются в покое. Прежде, чем решать его, нужно поставить вопрос, имеются ли в природе силовые линии, или же мы сами их выдумали для наглядного описания магнитного поля. Материализация силовых линий, характерная для старой английской школы, является своего рода „материализацией духа“, потому что поле является только „духом“. Реальность, подлинной материи являются наэлектризованные частицы, ионы и электроны, а магнитные силовые линии, это—продукт нашего собственного воображения, вводимый нами для удобства и наглядности. Отказавшись от этой материализации магнитного поля, мы можем, однако, поставить другой вопрос, именно, вопрос о реальности магнитного поля, как результата или сущности электрического тока. Как должно мыслить явления электрического тока, как явления, происходящие в пространстве, окружающем проводник, или же как явление движения зарядов в самом проводнике? Является вопрос, какая точка зрения лучше, удобнее, полнее: точка зрения поля или точка зрения материи. Материю мы рассматриваем, как источник поля и как его приемник, т. е. объект его воздействия. Материя, это то, что поле производит, на что оказывает действие. С этой точки зрения, материя является и как бы первичным образованием, а поле представляет собой своего рода посредника между частицами материи. Это относится к любому силовому полю. Возьмем, например, поле тяготения, которое создает землю и луну. Можно себе представить, что земля притягивает луну, или же притягивается последней, при чем оба тела действуют друг на друга непосредственно через разделяющую их пустоту (действие на расстоянии). С другой стороны, можно себе представить, что действие земли на луну осуществляется косвенным путем. А именно, земля создает поле тяготения, а последнее уже действует на луну. Обе точки зрения—непосредственного действия земли на луну или действия ее через посредство поля—совершенно эквивалентны, и сказать, которая лучше или хуже, нельзя. Это вопрос эстетического вкуса, а иногда математического удобства. Впрочем, в одном отношении описание действия земли на луну, при посредстве поля уступает другому описанию этого действия, как непосредственного действия, без торгового агента, каким является поле. А именно, если мы хотим рассматривать движение луны вокруг земли, то нам недостаточно определить действие, которое производит земля на луну, непосредственно или через создаваемое ею поле. Нам нужно знать, как под влиянием данной силы движется луна. Это вопрос механический, совершенно не входящий в рамки теории поля. Теория Максвелла и Фарадея описывает поведение поля, изменение электромагнитных смещений в пространстве и во времени, при данном начальном состоянии и при данном движении электрических зарядов—электронов, являющихся его источниками, но она совер-

шенно не говорит, как эти электроны должны двигаться. Эти вопросы должны быть решены особым путем, они выходят из рамок электромагнитной теории и составляют содержание механики. Правда, законы движения электронов можно установить также и с точки зрения теории поля. Для этого нужно представить себе электрон в виде маленького шарика, элементы которого оказывают друг на друга определенную силу; можно показать на основании уравнений поля, что при ускоренном движении эта сила имеет характер торможения, т. е. инерции. Нужно допустить далее, что эта сила, с которой действует на электрон создаваемое им самим поле, есть не что иное, как сила инерции. С этой точки зрения, масса электрона имеет электромагнитное происхождение. Электрон движется таким образом, что внутри него возникают силы, как раз уравновешивающие действующие на него внешние силы. Можно показать, что этот принцип эквивалентен принципу сохранения энергии в той формулировке, которая получается, если энергию связывать с полем. Следовательно, уравнения механики могут быть выведены из принципа сохранения энергии электромагнитного поля. Однако, таким образом, мы не получаем дискретности материи. Мы не можем объяснить, почему материя состоит из отдельных электронов. Кроме того, принцип сохранения электромагнитной энергии может выполняться только в среднем для об'ема, занимаемого целым электроном, но не будет выполняться для отдельных элементов электрона. Практически эта задача обоснования механики электрона, как дискретной единицы материи, при помощи электромагнитной теории, пока что не выполнена и, мне думается, не выполнена потому, что эта дискретность материи связана тесным образом с теорией квантов, которая лежит за пределами рассматриваемых до сих пор вопросов. Поэтому, я думаю, что, если рассматривать материальные частицы не только с точки зрения их взаимодействия, но также и с точки зрения движения, которое этим взаимодействием вызывается, то мы должны считать эти материальные частицы основной, физической реальностью, так сказать, бытием, а поле вторичной надстройкой, так сказать, сознанием. Более того, я сказал бы, нашим сознанием, так, как это мы вводим понятие о поле, чтобы удобнее описать действие, производимое частицами друг на друга. Гипертрофирование значения поля является в сущности антропоморфизмом. Создатель теории поля, Фарадей не мог себе представить действия на расстоянии. Он полагал, что мы можем мыслить себе только действия, осуществляющиеся и передаваемые непосредственным соприкосновением, на подобие действий, производимых нашими руками. И для того, чтобы действие между удаленными наэлектризованными телами или электрическими токами не являлось непосредственным, нужно было привести щупальцы от одного тела к другому. Этими „щупальцами“ служили в концепции Фарадея силовые линии или „трубки“, которые у него были связаны с представлением об эфире, как передающей э.-м. действия среде. Это представление об эфире сделалось еще более реальным, когда выяснилось, что все электромагнитные действия передаются от одного тела к другому не мгновенно, но с конечной скоростью, равной скорости света (для передачи которого эфир был введен в физику Тьюрингом). Если трудно себе представить возможность мгновенного действия на расстоянии, то еще, казалось бы, труднее допустить возможность действия на расстоянии, передающегося с конечной скоростью: с точки зрения наших обыденных представлений необходимо ввести материальную среду, через которую действие распространяется от слоя к слою путем соприкосновения. Вы знаете, что вопрос этот в течение последних 20 лет подвергся весьма обстоятельному исследованию, и что физики, в конце-концов, пришли к заключению, что введение промежуточной материальной среды совершенно излишне, что она ничего не объясняет и только запутывает явления, выдвигая ряд фактических проблем. Интерпретация физических явлений приобретает гораздо более простой характер, если отказаться от представления о материальной среде, передающей электромагнитные действия, и примириться с принципом относительности времени, введение которого составляет заслугу Эйнштейна. Я не собираюсь забираться здесь в область теории относительности, я хочу в заключение лишь резюмировать свои соображения. Во-первых, на материализацию силовых линий следует смотреть, как на нечто, безусловно, недопустимое. Во-вторых, отказ от этой материализации еще не означает отказа от представления об электромагнитном поле, как о некоторой реальности. Я думаю, однако, что мы должны считать фундаментальной реальностью не поле,

но материю, т. е. движение и взаимодействие материальных частиц, а электромагнитное поле рассматривать, как вспомогательную конструкцию, служащую для более удобного описания этого взаимодействия. Наконец, я полагаю, что оно представляет собой дальнодействие, которое мы никаким образом не должны сводить к какому-то действию, и близкодействию, осуществляющемуся через какую-либо промежуточную материальную среду или при помощи материализованных силовых линий.

В. Ф. МИТКЕВИЧ. В словах Я. И. Френкеля я услышал упрек, что не коснулся того, чего мог бы коснуться. Я с удовольствием поговорю об этом еще в другой раз. Я не мог размениваться на детали и коснулся вопросов самых главных. Хотя вы, Яков Ильич, простите за шутку, призвали на помощь даже черта с хвостом или без хвоста, но основные вопросы, касающиеся природы тока, Вами не освещены. Я все-таки позволю себе категорически спросить: может ли ток идти через „абсолютную пустоту“, настоящий ток со всеми свойствами тока?

Я. И. ФРЕНКЕЛЬ. А что Вы называете настоящим током со всеми свойствами тока?

В. Ф. МИТКЕВИЧ. Я хочу определенно узнать: при полном отсутствии материи мыслим электрический ток или немыслим? Я бы просил прямо ответить и на следующий мой вопрос: Допустим, в „абсолютной пустоте“ идет ток по проводнику; где электрокинетическая энергия этого тока распределена,—внутри проводника или вне? Если электрокинетическая энергия тока находится вне проводника, как нас заставляет это считать Максвелл, которого Вы должны признать и признаете и с выводами которого Вы не можете не считаться, то это одно, а, если электрокинетическая энергия замкнутого проводникового тока находится внутри проводника, то это совсем другое. Сформулирую сущность моего вопроса иначе. В „абсолютной пустоте“, будет ли она называться как угодно, эфир, физическая ли пустота, так в этой „абсолютной пустоте“, в некотором элементе об'ема „абсолютной пустоты“, может заключаться некоторое количество электромагнитной энергии или не может? Я может быть говорю, по Вашему мнению, не на тему, не о тех вопросах, которые может быть и вызвали Ваше возражения, но я об них не говорю, это вопросы деталей, важно установить основное положение: может ли энергия электромагнитного процесса содержаться в „абсолютной пустоте“ или нет? Это есть основной вопрос, а остальные пока не относятся к нашей теме „Природа электрического тока“.

Я. И. ФРЕНКЕЛЬ. Разрешите мне ответить на первый вопрос, а именно, может ли существовать в пустоте электрический ток? Прежде всего, ответьте мне на вопрос, что такое электрический ток. Я его определяю, как конвекционный ток, т. е. как количество электричества, протекающее в единицу времени, через данное сечение. Вы его определяете, как сумму конвекционного тока и тока смещения, который есть, просто-напросто, переменное электрическое поле. С точки зрения Вашего определения тока, ток в пустоте (т. е. при полном отсутствии движущихся электрических зарядов) возможен, а с моей точки зрения—невозможен. Я подчеркиваю, что в этом вопросе разница терминологии, а не физических точек зрения.

В. Ф. МИТКЕВИЧ. Так что, с Вашей точки зрения, ток через пустоту итти не может, он через пустоту не идет?

Я. И. ФРЕНКЕЛЬ. Второй вопрос, где находится энергия тока, в нем самом или в окружающем пространстве. Правильнее считать, что она находится в окружающем пространстве, но это в той же мере относится и к энергии электрических зарядов. Если имеете наэлектризованный шар и ставите вопрос, где находится энергия этого шара, то на этот вопрос можно дать два ответа. С точки зрения непосредственного действия элементов этого заряда друг на друга, без торгового посредника, которым является поле,—с этой точки зрения энергия нигде не находится, представляя собой нелокализованную физическую величину. С точки зрения непосредственного действия электронов друг на друга, энергия их нигде не сосредоточена. Точно так же нельзя сказать, где находится энергия взаимодействия луны и земли—на земле, луне или между ними. Можно, однако, на те же вопросы смотреть иначе. Можно преобразовать энергию наэлектризованного шара в форму интеграла, распространенного по всему пространству. Тогда,

вместо обычного выражения $\int E^2 dv$, мы будем иметь другое выражение $\frac{1}{8\pi} \int E^2 dv$. При этом, можно сказать, что энергия находится всюду, во всем пространстве. Аналогичным образом, и в таком же самом смысле, можно сказать, что энергия электрического тока находится либо нигде, либо во всем пространстве,—в зависимости от того, рассматриваем ли мы взаимодействие между движущимися зарядами, как непосредственное действие, пропорциональное величине зарядов и их скоростям, или же рассматривается это взаимодействие при помощи промежуточного понятия поля. Последний вопрос В. Ф. Миткевичу. Если, по Вашему, током называется переменное электрическое поле, то почему Вы не хотите назвать магнитным током, переменное магнитное поле? Оно создает вокруг себя электрические силовые линии, которыми и можно измерить „силу“ магнитного тока.

В. Ф. МИТКЕВИЧ. Разрешите ответить. Я хочу сказать, что я вовсе не против понятия магнитного тока, введенного Хивисайдом. Я в нем не нуждаюсь в своих построениях, но, конечно, не возражаю против него. Мне совершенно ясно, что, с точки зрения Я. И. Френкеля, электрический ток идет только по проводнику, через физическую пустоту он не идет. Что касается вопроса о локализации энергии, то я узнал, что можно и так рассуждать, и этак, а как думает Я. И. Френкель, он не сказал. Может ли быть энергия в „пустоте“ или нет,—вопрос остается открытым.

П. С. ЭРЕНФЕСТ!). Я так плохо по-русски говорю, что наверное вы просто будете смеяться. Я должен сказать, что я учился, и как преподаватель должен учить, о чем сегодня говорили, и мне кажется, что сильно облегчает то обстоятельство, что у нас приняты различные символы для этих двух различных токов, о которых Миткевич и Френкель говорят. Один есть ток проводимости, тот, который мы видим внутри металла, внутри электролита и даже внутри электрического разряда в газе, по крайней мере, если мы немного закроем наши глаза, если будем не очень точно смотреть, если будем смотреть макроскопично, а не на отдельные электроны. Почти во всех технических вопросах мы очень часто имеем дело с, так называемым, током проводимости, но очень приятно, что мы теперь привыкли в технике каждый день работать с током смещения, потому что именно в радио-телефонии этот ток смещения играет, как в бегущей волне, громадную техническую роль. Прячно, что это не философический вопрос. Просто вы платите за этот ток столько-то и за этот столько-то. Если радио-телефония разовьется еще больше, то мы просто в конце месяца будем платить счет за ток проводимости и счет за ток смещения. Мы так привыкли в наших уравнениях всегда писать эти два тока, как простую сумму, т. е. если мы имеем плохие проводники и через них идет очень скоро меняющийся ток, мы в нашем уравнении прямо привыкли считать, что это будут одинаковые величины. Если имеем обычный ток в металлическом проводнике,—это будет счет очень высокий,—а это счет к радио очень маленький. Сумма этих токов—это есть та штука, которая зацепляется магнитным полем. Если в радио я изучаю поле, то я исключительно имею дело с этим током смещения, а если я имею дело внутри антенны (а я учился в школе и, должен сказать, и сам учил многих учеников), то ток проводимости играет большую роль. Кроме того, мы знаем, что если смотреть микроскопично, то там будем опять по другому говорить, потому что думаем об электронах, которые двигаются, и я очень люблю Максвелла, если можно считать электрические силовые линии, потому что Френкель очень правильно говорит, что во многих случаях это очень полезно. Мы привыкли в наших уравнениях всегда забывать эти два сорта тока, которые в самых простейших случаях мы видим. Один ток—проводимости, конечно, только в медной проволоке, другой—ток смещения около антенны и в световой волне. Но часто бывают и случаи, когда в наших уравнениях оба члена встречаются. Я думаю, что спор будет иметь другую форму, если Миткевич из своих понятий, которые очень приятны, потому, что уютно с ними работать в том случае, когда их можно применять безошибочно, что Миткевич может дать

!) Редакция не сочла себя вправе внести изменения в песенку правильные, с точки зрения русского языка, построения фраз профессора Лейденского Университета П. С. Эренфеста, принимавшего участие в беседах, боясь внести искажение в его мысли.

далнейшее развитие своей мысли, проанализировав определенным экспериментом. Всегда оказывается, что один метод дает одно предсказание, второй метод — другое, а эксперимент решает. В теперешний момент эти две точки зрения Френкеля и Миткевича эквивалентны, т. е. нет возможности опытным путем решить, но это *вовсе* не гарантирует, что при дальнейшем развитии этих двух понятий между ними не будет расхождения. Может быть мы будем мертвыми и погорят решат, кто из обоих прав. Я чувствую, что вы — Миткевич и Френкель, в самом деле одинакового мнения.

В. К. ЛЕБЕДИНСКИЙ. Когда Я. И. Френкель говорил, он немного уже вывел тему из того круга, который очертил В. Ф. Миткевич. Это совершенно понятно, потому что нельзя, на самом деле, думать, что то, что В. Ф. Миткевич нарисовал, это есть В. Ф.; то что он нам сказал мало значимо по сравнению с тем, что нам представляется, когда мы слышим про его взорвания в общем об'еме. У Я. И. Френкеля явилась мысль, что нужно еще то присоединить, что он вообще о взглядах В. Ф. Миткевича знает, чтобы то, что начертил В. Ф., было ясно. Это совершенно правильно, и я хочу еще расширить нашу тему, чтобы выяснить, как кажется мне. Если мы хотим что-либо до конца уяснить, мы все глубже и глубже вдумываемся. Из всех утверждений, которые Я. И. Френкелем сделаны, видно, что он различные места нашей науки считает разговором о *несуществующем*, т. е., например, все громадные трактаты многих авторов, говорящих — иногда с большой картинностью — о поле, считают теорией *несуществующего*. Здесь виден необычайно строгий критерий того, что в науке следует принять, как учение о действительно существующем, и что из ее содержания в действительности не существует. Когда он говорит об электроне, он чувствует, что мы стоим на почве реальности. Тот или другой вид электрона — это реальность, в которую можем все больше углубляться. Когда же В. Ф. говорит о поле, как о своем знакомом предмете, он ощущает такую же реальность. В. Ф. Миткевич есть мыслитель, который не с такой необычайно строгой меркой подходит к вопросу о том, что называется реальностью. Те вещи, которые Я. И. Френкель считает не реальными, а они трактуются в науке, Я. И. Френкель считает, что они происходят не из научных тенденций. У него является мысль, что это, например, необходимость в торговом агенте, т. е. не научная. Такая критика наших познаний сопряжена вот с чем: если на самом деле мы скажем, что критик совершенно прав, что все учение о поле есть учение о фикции, о том веществе, которое не может быть нигде констатировано, как переносимое (он считает это общим критерием понятия реальности: если не можем констатировать, что вещь переносима, значит она не существует), если выбросим поле из нашей реальности, тогда, действительно, как сказал Максвелл, мы в величайшей пустыне будем жить, потому что какую долю всего мира занимают электроны. Во вторых, я не знаю, как можно говорить спокойно, например, о полях, и в то же время, что это нереальная вещь, и продолжать о них говорить. Я себе представляю, что у всякого человека есть моменты одного состояния его мыслительной способности и другого противоположного состояния. В одни дни человек, так сказать, отрешается от критики реальности, а в другие — у него более отрицающее состояние мысли. Это я еще понимаю, но все время признавать полную нереальность вещи и ею заниматься, этого я себе не представляю: как можно не раздваиваясь, заниматься в технике вещами, которые считаешь нереальностью, все время о них подсчеты и предсказания делать, проекты черговать. Такая система мысли человека чрезвычайно обескураживает. Но не думайте, что этими словами я хочу уверить молодежь, что поля существуют, а сам внутри себя относясь к этому понятию совершенно отрицательно. Относительно теории поля наблюдается удивительная вещь. Когда была только электротехника сильных токов, магнитные силовые линии были ходовым материалом, и всякий электротехник сильных токов о них говорил. Когда началась радиотехника, то электрические силовые линии выступили вперед и всякий радиоспециалист чрезвычайно часто оперирует с электрическими силовыми линиями, потом соединяя их с магнитными в электромагнитное излучение. Когда электротехники сильных токов говорили о магнитных силовых линиях, мало кто думал, есть ли эфир или нет. Когда же стали говорить радиоспециалисты об электрических силовых линиях, то эфир стал обычным словом. Терменовский инструмент — этот радиоприбор — и его связали с эфиром. В Берлине была

произнесена такая фраза, что Термен играет именно на том же эфире, через который передается радиотелефон. Удивительно выпукло мысль об эфире встал перед всеми людьми, когда они заговорили об электрических силовых линиях. Я этого объяснять не могу, но очевидно можно найти какую-то причину в человеческом уме, чтобы объяснить такую странность. В этих словах я переходжу к вопросу об эфире, т. е. чрезвычайно расширяю все предыдущие. Позвольте напомнить однако, что В. Ф. Миткевич неоднократно говорил — пустота — хотите, называйте ее эфиром. Я. И. Френкель совершенно не признает эфира, он ему не нужен, и передача действия на расстояние, даже потребовавшая известное время, все-таки не требует понятия об эфире. Тут я совершенно согласен с Я. И. Френкелем: электрические силовые линии не заставляют обязательно признавать эфир и магнитные, как мы видели, тоже, а, следовательно, по-моему, эфир мало нужен. Мне кажется, что вовсе не плох выход такой, что это самое образование, называемое электрическим и магнитным полем, может находиться в пустоте и имеет свою собственную реальность.

А. Ф. ИОФФЕ. Последние замечания В. К. Лебединского больше были связаны с выступлением Я. И. Френкеля, чем с выступлением В. Ф. Миткевича. Здесь были некоторые недоразумения и, вероятно, Я. И. Френкелю придется сказать несколько слов. Позвольте мне теперь занять Ваше внимание. Я постараюсь, наоборот, не расширять рамки, а сузить в тех пределах, которые поставил В. Ф. Миткевич, и исходить из того, на что В. Ф. Миткевич хочет получить ответ от нас. П. С. Эренфест и Я. И. Френкель совершенно ясно высказали, что вопрос в том, говорить ли о токе смещения и о токе проводимости и сумму их называть общим током, или говорить, что одно есть ток, а другое есть производная индукция по времени, и их сумма связана с магнитным полем; в этом много больше, чем терминологию, увидеть нельзя. Собственно, эта сторона сводится к тому, что есть два представления, которые опять имеют некоторое общее проявление, а именно, и то и другое являются создателями магнитного поля и, с этой точки зрения, они сходны. Их общее проявление можно назвать „явлением, вызывающим вокруг себя магнитные поля“, — это длинное название, или можно сказать — „ток“ — это короткое название. Ток есть явление, создающее вокруг себя магнитное поле. Это, повидимому, то, что В. Ф. Миткевич подразумевает под словом ток. Всякий ток создает магнитные поля, это вытекает из его определения. Оба явления суть токи, потому что оба вызывают вокруг себя магнитные поля, и они обладают теми свойствами, что сумма их подчиняется простому соотношению и мыслима, как сумма двух величин. Можно, конечно, взять две величины и сложить их. Эта сумма имеет то преимущество, что она входит в простое соотношение, с нею приходится оперировать. Почему ее не назвать одним словом и сразу остановиться на слове „ток“? Эта сторона вопроса дело терминологии и вкуса. Я бы сказал, что Я. И. Френкель очень осторожен, он не хочет употребить здесь слово „ток“, а хочет исходить из соображений логических. Так как ясно, что природа явлений здесь различна, то понятно, что ему не хочется два совсем разных явлений назвать одним словом. Можно исходить из исторических соображений и это назвать током. Для Я. И. Френкеля это ничего не значит, а для меня это многое значит и поэтому мы с удовольствием и дальше будем пользоваться словом „ток“. Это другая противоположная точка зрения. Наконец, можно исходить из того (и позвольте мне перейти к этому), что мне кажется является суть дела. В. Ф. Миткевичу представляются два тока не по историческим мотивам, а по сути дела. Первое его представление, что и в том и в другом случае дело не только в этих двух буквах *H* и *E*, которые имеют один общий признак магнитные поля, но и в том, что этот общий признак есть суть самого тока. Есть магнитные поля, — есть и ток, и он проявляется так или иначе. Мне кажется, что в той части, которую В. Ф. Миткевич выделил из области своих идей, он хочет сосредоточить внимание на вопросе о механизме электрического тока, о природе электрического тока. Это то, что собственно на деле представляет ток. И в том, и в другом случае надо говорить о токе. Правда, есть маленько различие: тут электроны бегают, а там не бегают, но это есть побочное явление, которое может быть здесь, а может и не быть. И, наконец, может быть и в том и в другом случае но к току имеет маленькое отношение, а суть есть магнитные поля, его окружающие. Позвольте сказать, как этот

вопрос мне представляется, если так его поставить: что является сутью электрического тока? Я стою на точке зрения, прямо противоположной точке зрения В. Ф. Миткевича, и вот почему. Возьмем такой пример. Может быть он покажется вульгарным, не относящимся к делу, но, мне кажется, что он более или менее характерен. Я поймал медведя, и медведь меня не пускает; мой спутник скажет, что медведь поймал меня, а не я поймал медведя. У нас две различные точки зрения на одно и то же явление. Можно ответить на вопрос, кто правильнее описал это явление. Надо для этого посмотреть, что дальше будет. Если хорошо описаны все дальнейшие явления при помощи моей гипотезы, что я поймал медведя—это очень хорошо. Если, наоборот, окажется, что я с медведем направился к нему в берлогу—этим еще лучше объясняться, что медведь меня поймал. С этой точки зрения, т. е., что меня поймал медведь, можно обяснить, почему я не послушался моего спутника и не привел к нему медведя, а, наоборот, сам пошел к нему в берлогу; дело в том, что медведь меня держит, а не я его. Если мое тело несколько раздалось, и вошли в него когти медведя, это тоже будет хорошее описание, но, опять-таки, в данном случае, не совсем все ясно. Здесь есть одна точка зрения для всех описанных явлений, мне более удобная, чем другая, хотя логически нельзя сказать, что когти вошли в мое тело, или мое тело раздалось и когти вошли в него. Мы будем описывать всю эту совокупность явлений с одной точки зрения, а не с другой. Кто здесь медведь, а кто здесь человек. Мне кажется, что это зависит от того, как вы будете рассматривать. С точки зрения движения зарядов в случае электролита, это определяется легко, столько-то есть зарядов, столько-то тормозится. Из совокупности всего этого материала, касающегося ионов и электронов, мы вычисляем и обычно довольно правильно вычисляем, как пойдет ток и будем говорить, что при этом токе будет соответствующее ему магнитное поле, если говорить только о токе. Эта точка зрения обясняет, почему там ток идет и как идет и где идет, и величину этого тока позволяет вычислить. Эта точка зрения позволяет предсказывать и описывать явление тока. С точки зрения магнитного поля я не вижу, что он может дать, если имеется и задана какая-то разность потенциалов. Если пойдет ток, то будет соответствующее ему магнитное поле. Если я это магнитное поле знаю, то знаю, какой ток его создал, знать это магнитное поле можно первично через ток. В этом случае для меня не будет сомнения, я скажу, что медведь есть электрический заряд, который движется и тянет за собой неизбежное магнитное поле. Я думаю, наиболее цenna точка зрения В. Ф. Миткевича не в этой области, а в обяснении явления электромагнитной индукции, которая В. Ф. Миткевича интересует, и в которой и заключается центр тяжести всего того, очень интересного развития Максвелловской теории, которое он произвел, но которое не изложил сегодня. В случаях электромагнитных явлений гораздо удобнее исходить из первичного магнитного потока и мало интересоваться тем, как этот поток был создан этими зарядами ионов и электронов. Получается магнитный поток, а что дальше происходит это уже, ясно, описывать гораздо лучше при помощи магнитного поля. Здесь всего удобнее говорить о поле, потому что оно есть активное и вызывающее все дальнейшее. Поле создается первичным моментом движения. Если есть первое движение зарядов, то второе будет им созданное магнитное поле. Это в случае стационарного тока, когда на этом дело кончается, но все интересные случаи не к этому относятся, все интересные вопросы лежат в области переменного поля и тока. Главный интерес не в создании магнитного поля движением зарядов, а в том, что это магнитное поле дальше производит. На первую стадию можно не обращать внимания. Насколько я понимаю В. Ф. Миткевича, это очень продуктивная, фундаментальная точка зрения на изучение самих магнитных потоков, которые дальше и производят разные явления. Вернувшись назад, эта точка зрения пытается показать, что и в этой стадии, где мы привыкли считать магнитное поле результатом тока, можно и здесь говорить с большой пользой о магнитном потоке, а ток не рассматривать. Этот взгляд в области индукции ползен и продуктивен и ему придается универсальное значение, распространяющееся и на ту область, где до сих пор считалось наоборот. Мне кажется, что здесь это наоборот и должно остаться. Такова моя точка зрения на этот вопрос.

Д. А. РОЖАНСКИЙ. Я выступаю здесь не потому, что я хочу внести хоть что-нибудь новое в обсуждение вопроса, а просто потому, что получилась записка, в кото-

рой меня просят высказаться, очевидно, как сидящего за этим столом. Вероятно, интересно знать, что думают физики по этому поводу. Разрешите мне прежде сказать несколько слов совершенно не по существу. Когда я слушал В. Ф. Миткевича, я не мог себе представить, что возразит по этому поводу Я. И. Френкель. Все, что говорил здесь В. Ф. Миткевич, было так ясно, понятно, и так вошло в наше сознание, как физиков, что возразить против этого вряд ли кто нибудь мог по существу. И когда Я. И. Френкель выступил, мне казалось, что он будет в очень затруднительном положении, но Я. И. Френкель нашел что сказать, хотя он выступил не против того, что говорил В. Ф. Миткевич. Тогда я стал понимать в чем дело и пришел к убеждению, что, так сказать, за кулисами того, что здесь говорил В. Ф. Миткевич, есть нечто, о чем можно спорить. Когда мы слышали здесь об электрическом токе в изложении В. Ф. Миткевича, мы могли не думать о реальности его. В самом деле, полный электрический ток представляется известной абстракцией. Для того, чтобы дойти до такого представления электрического тока, нужно было пройти длинную дорогу научной абстракции, в результате которой получилось представление о токе через пустоту. Для того, чтобы составить ясное представление о таком понятии, нужно, конечно, обладать известной способностью к логической абстракции. Эта абстрактность заставляет меня усомниться в пользе спора о том, что является реальным: ток по терминологии В. Ф. Миткевича, или ток по терминологии Я. И. Френкеля. Но обратимся к примеру, который привел здесь В. Ф. Миткевич; может быть в этом примере и заключается разгадка сущности спора. В. Ф. Миткевич рассказал о красивом опыте, в котором происходит движение электронов, и нет магнитного поля: по терминологии В. Ф. Миткевича здесь нет тока. Если только полный ток является реальностью, значит в этом опыте ничего реального не происходит, а, между тем, несомненно, что движутся электроны, т. е. материальные частицы. Там, где нет электрического тока, с точки зрения В. Ф. Миткевича, там все же может происходить нечто вполне реальное и, следовательно, в этом примере приходится говорить о реальности неполного, электронного тока. Я считаю, что можно говорить и о реальности электромагнитного поля, распределенного в пространстве, но, в конце концов, нас больше всего интересует и нам всего важнее знать, как действует это поле на то, что называется материей в обычном смысле слова, т. е. на электроны и протоны. Это самое важное, самое существенное, с чем физикам в настоящее время приходится иметь дело. всякая современная проблема упирается в эту проблему—объяснить соотношение, которое существует между материей и внешним полем, например, светом, который проходит через пустоту. В конце концов, именно материа является такой реальностью, такую вещью, с которой мы в действительности имеем дело; и она является той реальностью, которая, в некоторых случаях, может двигаться, но не создает электрического тока, по терминологии В. Ф. Миткевича.

В. Р. БУРСИАН. Мое положение точно такое же, как и Д. А. Рожанского, но может быть еще труднее в том отношении, что я никогда отродясь никакой философией не занимался. Позвольте сказать следующее относительно вопроса реальности и нереальности. В радиотелеграфии, например, реальностью является то, что в Берлине кто-то что-то поет, а мы здесь испытываем удовольствие или неудовольствие. Это есть реальность. Для большей научности можно сказать так, что делается опыт передачи и в передаточной станции здесь кто-то нажимает кнопку, а в приемной станции, в Иркутске, амперметр отклоняется. Это является реальностью. Наукой является то, что Д. А. Рожанский может на бумаге вычислить и сказать, что амперметр отклонится на столько-то делений (плюс минус неизбежная погрешность). Это есть наука и, по моему, задача ее и заключается в том, чтобы уметь производить эти вычисления и производить их верно. Вот, что от нас требуется. Это цель достигается с каждым годом все более и более хорошо, и более и более точно. Если бы 200 лет тому назад предложили бы какому нибудь физику сделать вычисления по вопросу о радиотелеграфии, и если бы он не отказался, то применил бы единственный тогда известный закон Кулона „действия на расстояние“ и наврал бы, ибо об электромагнитном поле и сложных законах его распространения тогда никакого разговора не было. Фарадей и Максвелл создали учение об этом поле, т. е. указали, какие именно вычисления нужно производить, чтобы получить более верные результаты. Для того, чтобы преодолеть

людям, как производить эти вычисления, т. е. заставить их принять эту теорию, нужно было дождаться много лет, что прежние представления не реальны, а вот есть поле, поле есть реальность. Что Максвелл это придумал, есть признак его гениальности. Чтобы заставить других людей думать так, нужно было говорить, что все старое ни к чорту не годится. Нужно было дискредитировать „действие на расстояние“ и насытить пространство образами векторов электромагнитного поля. Недостаточно было вначале даже согласия с опытом (предсказание теорией электромагнитных волн и их действительное обнаружение в опытах Герца). Между формалистикой теории и реальностью опыта нужно было вставить образную картину—картину физического эфира, носителя этого поля. Вычисления электромагнитной теории это есть решение уравнений с частными производными, и, в известных пределах (макроскопические явления), никто против их правильности сейчас не протестует; в них стоят буквы E и H , о которых говорил В. Ф. Миткевич; с ними мы оперируем (часто даже на глазок) с полной уверенностью в правильности результатов, и известно, какой громадный круг технически важных явлений обнимается электромагнитной теории Максвелла. Затруднения возникли в теории движущихся тел; после некоторых исканий формальное разрешение задачи оказалось очень просто: к формалистике Максвелла нужно было прибавить преобразование Лоренца, сами же уравнения Максвелла остались по существу неизменными, так же как и в дальнейшем этапе развития теории—в электронной теории. Но представление о реальности тех или иных представлений тут уже оказалось немного поколебленным. Представление об эфире, так много способствовавшем усвоению формалистике теории Максвелла, здесь оказалось непригодным, а потому и вредным. Когда оказалось, что расчеты по формулам принципа относительности и проще и дают более верный результат, чем те, которые основаны на представлениях о том или ином поведении эфира, то многие стали утверждать: есть формулы и эти формулы верные, мы верим им и пользуемся ими, а говорить о том, что формулы существуют в эфире, это не верно. Они существуют на бумаге, а не в эфире. Кроме того, в изложениях электронной теории указывается, что можно проинтегрировать в общем виде уравнения Максвелла, в которых фигурируют буквы H и E и рассматривать их интегралы φ и A , которые означают скалярный и векторный электромагнитные потенциалы. Для них можно написать формулы, аналогично формулам старой теории дальнодействия, но только с запаздыванием. Поскольку следствия теории Максвелла оправдались на опыте, и суть теории—это запаздывание, можно излагать теорию (как это делает, например, Я. И. Френкель), исходя из элементарных законов дальнодействия, но включая, сюда запаздывание. Хотя это не соответствует истории, но можно начинать изложение теории с этих элементарных законов, получить из нее следствия и указать на то, что эти следствия совпадают с опытом. Это принципиально ничем не будет отличаться от изложения электростатики, где тоже исходят из закона Кулона, с той только разницей, что там легче проверить элементарный закон на непосредственном опыте. Возвращаясь к основному вопросу дискуссии, что реально: i_n или i_o , которое есть сумма i_n и производной $\frac{dE}{dt}$, то я не могу вам ответить. Реально то, что можно описать те действия, которые оказывает одна электрическая система на другую. Если с одной системой происходит нечто, то другая может дать взрыв или искру, и я должен уметь это предвидеть. Это достигается теорией, в которой имеются в качестве включенных в нее понятий оба тока, и спор, по-моему, идет о словах. Другое дело, когда идет разговор о целесообразности того или иного изложения, имеющего целью научить людей производить те вычисления, которые умеет производить наука. Тут выступает на сцену другая, очень существенная сторона вопроса: легко научить можно только таким вещам, которые оказываются достаточно наглядными, и таким неоспоримым преимуществом обладают картины силовых линий. Ввиду их наглядности, приходится ими постоянно пользоваться и тем самым внушать веру в их реальность, веру, в которую я сам не верю.

П. Л. КАЛАНТАРОВ. Являясь учеником В. Ф. Миткевича, я, конечно, всецело разделяю его взгляды. В. Ф. Миткевич не изложил сегодня полностью своих идей, а поставил вопрос только о токе смещения. Я. И. Френкель отрицает необходимость обобщения явлений тока проводимости и тока смещения и считает более полезным, рас-

сматривать эти явления, как принципиально различные. С точки зрения В. Ф. Миткевича, обобщение понятий о двух составляющих полного тока—токе проводниковом и токе смещения,—играет первостепенную роль, на что с достаточной ясностью и указал В. Ф. Миткевич. В. Ф. Миткевич всегда подчеркивает, что магнитное поле есть единственный неотъемлемый признак электрического тока и поэтому, по мнению В. Ф. Миткевича, магнитное поле является главным признаком существования электрического тока, позволяющим обобщать ток проводниковый и ток смещения. А, ведь, мы должны признать, что наука делает шаг вперед, если удастся свести два, казалось бы, принципиально различных явления к одному. И так магнитные вихри, с которыми часто В. Ф. Миткевич оперирует, о которых он говорит, что, сократившись до молекулярных размеров, они представляют собой электроны, являются весьма крупным обобщением. В этом обобщении и лежит та большая ценность идей В. Ф. Миткевича, которая может в значительной мере способствовать успеху науки об электричестве и магнетизме. Пользуясь тем, что здесь собрались многие выдающиеся физики, я хотел бы узнать их мнение относительно последней теории Дж. Дж. Томсона о структуре света, в которой он оперирует с электрическим квантовым кольцом, аналогичным магнитному вихрю В. Ф. Миткевича. Этот вопрос мне хочется выяснить, так как, повидимому, математический анализ задачи о движении этого кольца можно легко приложить к магнитному вихрю.

Я. И. ФРЕНКЕЛЬ. В. К. Лебединский говорит, что нельзя оперировать фикцией. Можно привести бесчисленное множество примеров того, что, оперируя с фикциями, можно получить верные результаты. Такой фикцией я считаю материализованные электрические и магнитные силовые линии. Что касается электрического и магнитного полей, которые мы всегда представляем себе при помощи таких материализованных линий, то их я не называю фикцией и фикцией не считаю. Вопрос о том, реально ли магнитное поле, для меня остается открытым. Я не знаю, как сложатся обстоятельства в дальнейшем развитии теории материи, в связи с теорией квантов и волновой механикой. Возможно, что там электромагнитные поля приобретут большую реальность, чем сейчас. Большая или меньшая реальность, это понятие не совсем ясное. В настоящее время для нас понятие электромагнитного поля не существует. Тем, кто чувствует себя неуютно в пустыне, где вкраплены электроны, тем не возбраняется говорить, что якобы пустоты заполнены электрическими и магнитными силовыми линиями, это ничего существенного к нашим реальным знаниям не прибавляет. Однако, возможно, что в дальнейшем развитии физики соотношение между полем и материей сложится иначе. Это дело будущего. В заключение несколько слов по поводу сообщения т. Калантарова. Во первых, по поводу того, что токи проводимости и смещения обединяются на том основании, что они имеют общий признак, а именно, магнитное поле. Но ведь, с другой стороны, ток проводимости обнаруживается по ряду других специфических для него признаков, а не только по своему магнитному полю. Магнитное поле не является существенным реактивом на ток. Считая магнитное поле первичной реальностью, а ток—его спутником, Вы тем самым пытаетесь, так сказать, „дискредитировать“ электрическое поле тока смещения, образующее сущность, считаете его менее существенным, чем магнитное. На это Вам будут возражать все радио-специалисты, для которых электрическое поле столь же реальное явление, как и магнитное, и при этом еще более существенное. Что касается работы Томсона, то она значения не имеет, потому что все попытки классическим образом получить кванты давали всегда плачевые результаты, и в данном случае не лучше, чем до сих пор.

П. Л. КАЛАНТАРОВ. Каким образом, Я. И., Вы считаете возможным определить наличие тока в сверхпроводнике? Что является, по Вашему мнению, реактивом на ток в этом случае?

Я. И. ФРЕНКЕЛЬ. Пока ток течет в сверхпроводнике, Вы не можете его обнаружить, иначе, как при помощи магнитного поля. Стоит, однако, подогреть сверхпроводник, чтобы ток можно было обнаружить по его тепловому действию.

П. Л. КАЛАНТАРОВ. Но тогда магнитное поле не исчезнет, т. е. единственным общим явлением в этих случаях будет магнитное поле.

Я. И. ФРЕНКЕЛЬ. Джоулево тепло является столь же хорошим реагентом на ток.

А. Ф. ИОФФЕ. Может быть на этом вопросе не будем останавливаться. Я думаю, что Вы здесь затронули один существенный момент, относительно того, что ток не определяется одним только магнитным полем. Конечно, Вы лучше всего видите, есть ли ток:—вставьте уголь в медную коробку и пропустите ток, если Вы увидите покраснение угли, выделяется медь, ток внутри проходит. Собственно, в вольтамметре измеряются другие совершенно явления, чем магнитное поле, это несомненно. Странно, что ни одного такого факта не было упомянуто, когда был разговор о происходящем реальном процессе при электрическом токе. Вероятно, подразумевалось, что все это и без того понимается. Я напоминаю, что при электрическом токе медь выделяется и двигается.

П. Л. КАЛАНТАРОВ. В. Ф. Миткевич говорит, что магнитные вихри, сокращаясь, превращаются в электроны. И к явлениям электролиза теорию магнитных вихрей можно применить также успешно, как и чисто электролитическую теорию.

В. Ф. МИТКЕВИЧ. И в словах А. Ф. Иоффе я почувствовал некоторый упрек, будто бы я говорил не на тему. Я не выбирал этой темы. Ко мне обратились студенты и просили сказать о природе электрического тока. Я лично думаю, что ничего дурного не произошло, и если мы хотим говорить о природе тока, то с этого нужно было начать, потому что, не договорившись относительно некоторых принципиальных положений, нельзя дальше говорить о возможной картине электрического тока в разных случаях. Мне кажется, что я говорил на тему об основных свойствах электрического тока и, в конце концов, мне кажется, мы это и выяснили. Магнитное поле является всеобщим признаком тока А. Ф. Иоффе сказал: „Ток может выделять медь“. Я к этому добавлю: мало того, электрический ток развозит публику по городу и т. п. Он все, что угодно делает. Но мы анализируем все эти свойства тока и останавливаемся на неотъемлемых, наиболее принципиальных. Разрешите еще сказать по поводу прений. Тут как будто бы шел разговор о „пустоте“ в различных смыслах. Когда я говорил об „абсолютной“ или „физической пустоте“, я думаю, Вам ясно, Вы прекрасно сами понимаете, что я имел, конечно, в виду нечто находящееся в пространстве, где происходят электромагнитные явления. Быть может, это нечто есть сплошная материя эфир, быть может, надо представлять нечто вроде того, о чем В. К. Лебединский говорил—какие то отдельные физические элементы занимают об‘ем пространства. Я не совсем согласен с П. С. Эренфестом, который говорит, что по существу нет разногласий. Мне кажется, что они есть. Я не скажу, что мы часто спорим лишь о словах, как назвать этот ток, как назвать тот. Я думаю, что есть и известные принципиальные разногласия. Максвелловский ток идет всегда, как замкнутый ток. Тот же ток, о котором говорит Я. И. Френкель, есть ток разомкнутый. Далее, Максвелловский ток может ити в пустоте, а ток, который признает Я. И. Френкель не может. Дальше есть еще обстоятельство, которое имеет чрезвычайно важное значение в моих построениях и без выяснения которого очень трудно говорить о какой-либо дальнейшей попытке углубиться в картину электрического тока. Вопрос, который я здесь поставил, глубочайшим образом связан с вопросом о так называемой реальности или нереальности магнитных линий. Если говорить о реальности электронов, то в такой же мере законно говорить и о реальности магнитных линий. Считаю очень существенным вопрос о том, может ли в „абсолютной пустоте“ или в эфире, лишенном обычной материи, содержаться некоторое количество энергии или не может. Насколько я понял Я. И. Френкеля,—не может содержаться энергия в таком пространстве, лишенном материи. Или я не понял?

Я. И. ФРЕНКЕЛЬ. Я говорил: условно можно трактовать энергию, как сосредоточенную в пространстве.

В. Ф. МИТКЕВИЧ. Можно сказать, что есть, можно сказать, что нет. Это очень важно. Если я здесь говорю, что в некотором об‘еме „физической пустоты“ может заключаться энергия магнитного поля, то я могу говорить и о том, что здесь реальные магнитные линии есть. Я не отрицаю, электронов, электроны существуют, и я теснейшим образом связываю их с магнитными линиями. В заключение я позволю себе возразить В. Р. Бурсану. Я ду-

маю, что он напрасно обвиняет Максвелла, будто бы он ввел публику в заблуждение и, чтобы занятьнее было учить математике, надумал различные теории. Это вовсе не так.

Т. ГОРНШТЕИН. Сегодняшний спор по существу философский спор, но, вместе с тем, это также всетаки и физический спор, и именно потому, что я не считаю себя достаточно компетентной в физике, я не могу сейчас, не проработавши специально этого вопроса, занять определенную позицию в смысле решения основного физического вопроса. Дело в том, что философия здесь затрагивалась, прежде всего, постольку, поскольку здесь употреблялись общие категории, над которыми работает философия. Здесь шел вопрос о реальности, в частности о реальности электромагнитного поля и силовых линий. Но что такое реальность. В каком смысле понималась она основным докладчиком, тов. Миткевичем. Хочет ли тов. Миткевич примерить по об‘ективной действительности свои физические понятия или он хочет просто себе наглядно представить происходящий процесс (электрический ток). Мне казалось, что последнее. Но одно дело, что не все представимо наглядно, другое же дело—вопрос об об‘ективном, независимом от нас существовании явления. Тов. Френкель решительно выступавший против реальности силовых линий, считая их только нашим воображением, употребляя слово „материализация“, протестуя против материализации поля. У меня опять таки здесь возникает вопрос, о какой материализации говорит тов. Френкель: о материализации ли в физическом смысле этого слова. Это значило бы, что поле материализуется в том смысле примерно, что оно является такой физической материей, примерно, как электроны или протоны. Или здесь речь идет о материализации и в более широком смысле этого слова, в философском, т. е. признается существование независимо от нашего сознания об‘ективного мира, определенного в пространстве и времени. Следующий вопрос—это вопрос об „удобстве“, „уюте“, как выразился проф. Эренфест; по существу—вопрос об истине нашего познания. Тов. Френкель подчеркивает, что силовые линии есть наше воображение, удобное для наших физических построений. Мысль о физическом удобстве была и в выступлении тов. Иоффе, в его примере о медведе и человеке. Человек приходит и сообщает своему другу, что он поймал медведя, но привести его он не может, потому что медведь его непускает. Тов. Иоффе говорит, что это событие можно описать двумя способами или 1) медведь поймал человека, или 2) человек поймал медведя; но, в данном случае, удобнее описать, так, что медведь поймал человека. Мне кажется это неправильным. Здесь нет двух разных действительностей, которых можно описать двумя способами. Если человек говорит, что он поймал медведя, но тот его непускает, это просто неправильное описание действительности. Тов. Иоффе говорит, что в этом случае „удобнее“ описать так, что медведь поймал человека, а не наоборот. Но почему удобнее так описать. Только потому, что именно это описание соответствует действительно совершившемуся факту, а противоположное описание было бы просто неистинным. Вопрос удобного описания играет большую роль в рассуждениях физиков, но для того, чтобы избежать „неудобного“ и „неуютного“, надо знать, в чем заключается сущность „удобства“ и „уюта“. А сущность тут в соответствии об‘екту. Только в этом принципе уютности или удобства тех или иных описаний. Еще один вопрос привлек мое внимание. Тов. Френкель говорил, что энергия не локализуется в пространстве. Как это понять? Может быть нельзя энергию локализовать; в таком смысле как психическое явление не локализуется в пространстве. Что значит энергия вне пространства? Почему ее нельзя локализовать?

Я. И. ФРЕНКЕЛЬ. В зависимости от точки зрения можно ее локализировать, а может быть нельзя.

Т. ГОРНШТЕИН. В зависимости от точки зрения. Но что такое точка зрения? Точка зрения—это рассуждение тов. Френкеля и тов. Миткевича. Точка зрения—это суб‘ективное явление, но она определяется какой-то реальной действительностью. Вот здесь в данном споре тоже есть две точки зрения. Проф. Эренфест говорил, что сейчас это одинаковые точки зрения, но в будущем они могут разойтись. На меня производят спор такое впечатление, что здесь есть две разных точки зрения, но ни одному из них еще нельзя доказать достаточно убедительно. Потом, когда можно будет доказать, останется только одна точка зрения. Относительно одного явления не может быть двух истин. Будет одна какая-нибудь истина.

А. И. ИОФФЕ. Каждая точка зрения остается на некоторое время.

Т. ГОРНШТЕЙН. Конечно, это нравильно, но если в той точке зрения, которая отвергается, не было ничего истинного, тогда то, чем мы занимаемся, т. е. наука—это просто сказка, фантазия. Мы, философы-марксисты стоим на такой точке зрения, что в каждой научной теории есть доля настоящей истины. Наше познание относительно, но оно все приближается к полной абсолютной истине. Относительное познание отражает хотя и неполно, все таки какую то реальность. Оно выражает объективную истину, а не есть пустая фантазия. В заключение скажу, что я считаю, что философ не только то должен сказать, что я сказала. Но чтобы сказать больше, надо вникнуть глубоко в физическую сторону спора. Тогда, владея диалектическим методом, философ может сказать ценное и то существу физического спора. А вмешательство философии здесь вопреки тому, что думает тов. Бурсиан, необходимо. Недостаточно только уметь вычислить. Тов. Бурсиан вызвал здесь большое сожаление этим своим заявлением о том, что главное сде-

лать правильные расчеты. Без понимания основы явлений будут невозможны и правильные расчеты. Меня поразило также, что тов. Бурсиан говорит о том, что раньше закон выдумывают, потом он подтверждается опытом. Мне кажется, что это была не простая оговорка со стороны проф. Бурсиана, если проследить все его выступление в целом. На этом я кончу. Я не собиралась выступать сегодня, так как мы ожидали, что здесь выступит тов. Гессен. Но так как меня просили высказаться, то, экспромтом, не готовившись, я могла сказать только о том, что обратило мое внимание, как философа. Именно, об употреблении участниками сегодняшнего спора основных понятий, над которыми работает диалектический материализм, как понятия материи, реальности, истины.

А. Ф. ИОФФЕ. Позвольте исключить одно простое недоразумение. В. Р. Бурсиан сказал не то, что сначала пишется формула, а потом к ней делается опыт, который ее оправдывает; В. Р. Бурсиан говорил так, что когда излагают, пишут разные законы, которые получены были длинным путем, а затем говорит, что законы эти получены из опыта.

Саморегулирование работы электрических машин на тепловозах с электрической передачей

THE SELFREGULATION OF ELECTRIC MACHINES ON THE OIL ENGINE LOCOMOTIVES WITH ELECTRIC TRACTION.

A. P. Kudriawzew.

The author gives general argumentations for the construction methods of generator characteristics of the oil engine locomotives with electrical traction by selfregulation of generators on constant output. Hereby are considered: one case of direct different compounded generator and two variants of different compounded generator exciters. The last combinations are proposed by Prof. J. M. Hackel for the oil engine locomotive, type E-EL-H, being in construction in U. S. S. R.

При управлении тепловозом с электрической передачей, на обязанности поездного машиниста лежит поддержание на валу дизеля мощности, требуемой для движения тепловоза, и недопущение перегрузки двигателя, так как следствием ее является понижение скорости, а вместе с ними и мощности двигателя. Для управления тепловозом, при существующих контроллерных схемах, машинист может пользоваться: 1) регулированием подачи в двигатель топлива, 2) изменением приложенного к электродвигателям тепловоза напряжения. При движении поезда по волнистому профилю, когда режим тяги непрерывно меняется, машинист все время должен приспособляться к пути, устанавливая топливным регулятором необходимое наполнение дизеля, а контроллером—соответственное напряжение генератора. Таким образом, плавное ведение поезда в большей степени зависит от ловкости и опыта вожатого.

Чтоб облегчить работу поездного машиниста, исключить возможность перегрузки двигателя и свести к минимуму операции по управлению тепловозом, сосредоточив их, как на паровозе, в одном регуляторе,—уже на первом американском тепловозе, построенным машиностроительным заводом Валдвина, было введено саморегулирование работы электрических машин, т. е. поддержание при постоянной скорости, постоянной нагрузки на генераторе, независимо от силы тока в его якоре и напряжения на зажимах. Это осуществлялось автоматическим изменением поля генератора, обратно пропорционально его силе тока. Такой способ контроля электрических машин давал возможность обходиться без контроллера, а потому для управления тепловозом был оставлен один регулятор подачи топлива, чем управление тепловозом было уподоблено управлению паровозом.

В дальнейшем саморегулируемая схема была применена на автобусах с электрической передачей в Филадельфии, где она оказалась настолько удобной, что компания, эксплуатирующая автобусное движение, решила переделать на электро-передачу с автоматическим регулированием все имеющиеся в ее распоряжении автомашины. С таким же успехом автоматическая схема применена в канадских автомотрисах, обслуживающих пассажирское движение на участке Montréal-Ottawa. В виде первого опыта решено применить автоматическую схему и у нас в СССР на вновь строящемся, по проекту Тепловозного отдела Технологического института, тепловозе Э-ЭЛ-4.

Основания принципа саморегулирования. Во время работы тепловоза с электрической передачей приходится одновременно управлять работой трех ма-

шин: 1) двигателя внутреннего горения (дизеля), 2) генератора электрической энергии и 3) электродвигателя. Характеристики работы, т. е. зависимость между движением и нагрузкой у всех трех машин различны. Нагрузка каждой машины, с учетом потерь в самих машинах и в передаче в каждый момент времени одинакова: движение же не связано лишь с генератором, а электродвигатели тоже с колесами тепловоза.

Рассмотрим процесс совместной работы машин тягового вагона. Мощность, развиваемая на колесах тепловоза, в зависимости от силы тяги на ободах (F в kg) и скорости тягового вагона (v в km/h), может быть представлена в виде:

$$P_T = \frac{F \cdot v}{367} \text{ kW}$$

Так как предельная мощность тепловоза ограничена предельной мощностью дизеля, то при полной нагрузке дизеля для всех скоростей получим:

$$P_T = P_d \cdot \eta = \text{const},$$

где η полный к. и. д. электрических машин и передач.

Построив в координатах v и F характеристику тягового вагона в уравнениям [1] и [2], получим равнобокую гиперболу, которая по силе тяги ограничена сцепным весом тепловоза умноженным на его коэффициент сцепления с рельсом, $F_{max} = G_T \mu$, а по скорости—конструктивной скорости экипажной части. При этом мощность на ободах колес постоянна так же, как и соответственные мощности:

$$P_T = \frac{P_d}{\eta_i} = \text{const}, \quad \text{генератора } P_g = \frac{P_d}{\eta_i},$$

$$= \text{const} \text{ и дизеля } P_d = \frac{P_T}{\eta_i \cdot \eta_m \cdot \eta_g} = \frac{P_T}{\eta} = \text{const}, \text{ где } \eta_i \text{ к. и. д.}$$

передачи от электродвигателя к ведущим осям, η_m —к электродвигателю и η_g —к. и. д. генератора.

Если в уравнении [1] заменить P_T на P_g , то можно построить кривую постоянной мощности, характеризующую тяговую нагрузку генератора при постоянной скорости:

$$P_g = \frac{F \cdot v}{376} \cdot \frac{1}{\eta_i \cdot \eta_m} = \text{const}$$

Одновременно

$$P_g = V \cdot I,$$

где V —напряжение на зажимах генератора, а I —его тока.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Журнал основан в 1880 году Электротехническим (VI) Отделом Русского Технического Общества

Адрес Редакции и Конторы:

I. МОСКВА, Ильинка, Ипатьевский пер., д. 2,
помещ. 12, 1-й этаж. Телефоны: редакции 72-46,
конторы 1-57-19

II. ЛЕНИНГРАД, Проспект 25 октября,
д. 6, кв. 7. Тел. 590-08.

Орган Всесоюзного Электротехнического Об'единения, Всесоюзного Об'единения Энергетического Хозяйства, Всесоюзных Электротехнических Съездов, Центрального Электротехнического Совета, Научно-Технического О-ва Электротехников и Русского Электротехнического Комитета МЭН.

Апрель 1930 г.

№ 8

Апрель 1930 г.

Содержание

Вторая беседа на тему «Природа электрического тока»	337	Инж. Б. П. Навлов — О применении метода Гибсона определения расхода к напорным трубопроводам переменного сечения	364
Проф. А. А. Смурров — Устойчивость параллельной работы центральных электрических станций, соединенных линией электропередачи	351	Из книг и журналов	367
Инж. Л. М. Шицеровский и инж. Д. В. Ефремов. — Электродвижущая сила поля в расточке 2-х полюсного турбогенератора	359	Хроника	377
Инж. В. В. Новиков — Графическое решение некоторых вопросов, относящихся к цепям постоянного тока	363	Библиография	379
		Kurzgefasste Wiedergabe des Heftinhaltes	380
		БЮЛЛЕТЕНЬ АНЦ. О-ва ЭЛЕКТРОИМПОРТ	
		Метрополитэн-Виккерс—Охлаждение силовых трансформаторов	35

ПРИРОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

THE NATURE OF ELECTRIC CURRENT.

(2-nd Discussion, held in the Polytechnical Institute of Leningrad, on January 3 rd., 1930).

Вторая беседа на тему „Природа электрического тока“, состоявшаяся 3 января 1930 г.

М. А. ШАТЕЛЕН (Председатель). Разрешите считать собрание открытым. Слово предоставляется В. Ф. Миткевичу.

В. Ф. МИТКЕВИЧ.—Сегодня я буду говорить о деталях моих представлений, касающихся природы электрического тока. Я не мог этого сделать в первой нашей беседе потому, что мне необходимо было сосредоточить внимание на основных, принципиально неотъемлемых и общих свойствах тока. В прошлый раз Д. А. Рожанский сказал, что все, мною изложенное, было „так ясно и так вошло в наше сознание физиков, что, собственно говоря, возразить против этого вряд ли мог по существу“. Однако, из хода прений выяснилось, что это далеко не так. Оказалось, что далеко не все ясно и понятно. Оказалось, что у нас нет единомыслия в отношении основных взглядов на физические явления, и поэтому я вынужден сказать еще несколько слов для обоснования своих взглядов на природу электрического тока.

Когда мы говорим о природе какого-либо физического явления, мы, конечно, не должны обольщать себя мыслью будто бы нам, при современном состоянии физики, доступно проникновение во все детали того, что происходит в действительности. Это является лишь идеалом физики, отдаленным маяком, манящим исследователя. Практически же мы можем только медленно, шаг за шагом, приближаться к этой отдаленной цели. Ясно, что в такой, подчас очень трудной, работе мы можем и должны руководствоваться некоторыми точками зрения, возникающими в процессе

изучения явлений. Но эти точки зрения мы обязаны подвергнуть самой беспощадной критике, прежде чем дерзть на основе их создавать вероятную картину того, что происходит в действительности. Сверх того, если мы хотим рассуждать, как физики, мы должны понимать, что в действительности происходит не то или иное, в зависимости от нашей точки зрения, а нечто совершенно определенное и во всяком случае нечто, неподчиненное нашей точке зрения.

Чем же мы можем и должны руководствоваться при этой предварительной критике различных точек зрения на данное физическое явление? Единственный ответ, который, по моему мнению, можно дать на этот вопрос, заключается в том, что мы всегда должны прежде всего руководствоваться степенью физического смысла, присущего той или иной точке зрения. Я поясню сказанное классическим примером из области теории тяготения. Ньютона открыл закон всемирного тяготения и сформулировал его, затем он воспользовался им для математической разработки ряда вопросов, касающихся движения небесных тел. Достигнутые в области небесной механики результаты были таковы, что математик Ньютона мог бы в полной мере гордиться ими и получить полное удовлетворение. Но посмотрим, что думал физик Ньютон по поводу явления тяготения. Прежде всего нужно напомнить, что он в самой формулировке закона тяготения указывал, что „все происходит так, как будто бы тела притягиваются“. Дальше я позволю себе

прочесть отрывок из третьего письма Ньютона к Бентли, где он говорит следующее: „Что тяготение должно быть врожденным, присущим и необходимым свойством материи, так что одно тело может взаимодействовать с другим на расстоянии через простоту без участия чего то постороннего, при посредстве чего и через что их действие и сила могут быть передаваемы от одного к другому, — это мне кажется столь большим абсурдом, что я не представляю себе, чтобы кто-либо, владеющий способностью компетентно мыслить в области вопросов философского характера, мог к этому прийти. Тяготение должно обуславливаться каким-то агентом, действующим непрерывно, согласно известным законам“. Так сказал физик Ньютон. К сожалению, до последнего времени среди лиц, занимающихся физикой, нет достаточно ясного понимания этих слов физика Ньютона, и поэтому я позволю себе на элементарном примере показать, что мы должны разуметь под „абсурдом“, и в чем он заключается. Представим себе массу m_1 и массу m_2 (рис. 1). Пред-

положим, что эти массы действительно могут влиять друг на друга на расстоянии. Это значило бы следующее. Пусть некоторая поверхность S , совершенно замкнутая, окружает со всех сторон массу m_1 . Если кто-либо допускает, что масса m_1 действует на расстоянии на массу m_2 , то, следовательно, он считает возможным осуществление этого действия без того, чтобы какойнибудь физический агент в какой-либо части поверхности S проникал сквозь нее.

Конечно, это можно себе представить, если призвать на помощь спиритические или медиумические явления, но физики до последнего времени обычно этим не пользовались и обходятся без этого. Поэтому для всякого ясно, что физик не может говорить о такой схеме физического представления иначе, как о величайшем абсурде. Таким образом, математик Я. И. Френкель, подобно математику Ньютону, имеет законное право и иногда, быть может, должен при математическом рассмотрении вопросов из области электромагнетизма пользоваться идеей действия на расстоянии, но если Я. И. Френкель желает говорить, как физик, он должен помнить прочитанные мною золотые слова физика Ньютона, должен учитывать всю физическую абсурдность идеи действия на расстоянии и ставить *actio in distans* на надлежащее место.

Можно привести бесчисленное множество примеров когда при математическом рассмотрении какого-либо вопроса, какого-нибудь физического явления, мы представляем себе его не так, как оно происходит в действительности.

Это бывает математически удобно и совершенно законно в этом смысле. Я остановлюсь на нескольких элементарных примерах для того, чтобы пояснить свою мысль. Представим себе некоторую материальную точку, которая вдоль направляющей рейки перемещается по прямой линии из точки O в точку A (рис. 2). Это есть вполне определенный физический процесс. Математик

или теоретик механик совершенно законно применяет разложение этого перемещения на какие-либо составляющие, в частности можно как угодно провести одну ось, проходящую через точку O , и перпендикулярно к ней вторую ось, а затем перемещение материальной точки из O в A разложить на две составляющие по этим осям. Таких разложений существует бесчисленное множество. Все они абсолютно законны с математической точки зрения. Но из всех комбинаций разложения, которые все одинаково законны при математическом рассмотрении вопроса, единственное разложение, соответствующее действительности, есть такое разложение, при котором одна из осей проходит через

точки O и A . Тогда одна составляющая есть полное перемещение, а другая равна нулю.

В виде второго примера представим себе некоторое тело C , которое вращается вокруг оси O , перпендикулярной плоскости чертежа (рис. 3). Предположим, что угол поворота мы отсчитываем от неподвижного направления OA . Допустим, что тело C вращается в положительную сторону и делает a оборотов в секунду. Это есть действительное физическое явление. Математик или теоретик механик совершенно законно в известных случаях может рассматривать это вращение, как происходящее следующим образом. Одновременно с вращением в положительную сторону со скоростью a оборотов в секунду, можно представить себе еще добавочное вращение в ту же сторону со скоростью -10^n оборотов в секунду. Представим себе далее и одновременное вращение в другую сторону со скоростью -10^n оборотов в секунду. Результат от этого несколько не изменится, но в математическом исследовании это построение может оказаться полезным, и мы иногда пользуемся таким построением, при чем n может быть какое угодно число, может быть даже миллион, миллион миллионов, миллион в миллионной степени, все что угодно. Однако физически это не приемлемо, физически есть только определенное вращение, считаемое от направления OA . Физический смысл имеет только предположение, что $n = \infty$, а математический смысл имеет любое предположение.

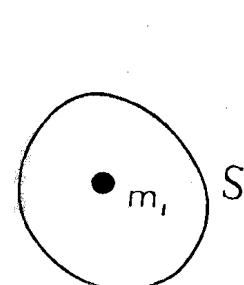


Рис. 1

Пусть некоторая поверхность S , совершенно замкнутая, окружает со всех сторон массу m_1 . Если кто-либо допускает, что масса m_1 действует на расстоянии на массу m_2 , то, следовательно, он считает возможным осуществление этого действия без того, чтобы какойнибудь физический агент в какой-либо части поверхности S проникал сквозь нее.

Конечно, это можно себе представить, если призвать на помощь спиритические или медиумические явления, но физики до последнего времени обычно этим не пользовались и обходятся без этого. Поэтому для всякого ясно, что физик не может говорить о такой схеме физического представления иначе, как о величайшем абсурде. Таким образом, математик Я. И. Френкель, подобно математику Ньютону, имеет законное право и иногда, быть может, должен при математическом рассмотрении вопросов из области электромагнетизма пользоваться идеей действия на расстоянии, но если Я. И. Френкель желает говорить, как физик, он должен помнить прочитанные мною золотые слова физика Ньютона, должен учитывать всю физическую абсурдность идеи действия на расстоянии и ставить *actio in distans* на надлежащее место.

Можно привести бесчисленное множество примеров когда при математическом рассмотрении какого-либо вопроса, какого-нибудь физического явления, мы представляем себе его не так, как оно происходит в действительности.

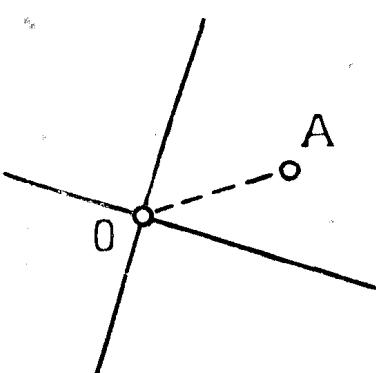


Рис. 2

Это бывает математически удобно и совершенно законно в этом смысле. Я остановлюсь на нескольких элементарных примерах для того, чтобы пояснить свою мысль. Представим себе некоторую материальную точку, которая вдоль направляющей рейки перемещается по прямой линии из точки O в точку A (рис. 2). Это есть вполне определенный физический процесс. Математик или теоретик механик совершенно законно применяет разложение этого перемещения на какие-либо составляющие, в частности можно как угодно провести одну ось, проходящую через точку O , и перпендикулярно к ней вторую ось, а затем перемещение материальной точки из O в A разложить на две составляющие по этим осям. Таких разложений существует бесчисленное множество. Все они абсолютно законны с математической точки зрения. Но из всех комбинаций разложения, которые все одинаково законны при математическом рассмотрении вопроса, единственное разложение, соответствующее действительности, есть такое разложение, при котором одна из осей проходит через

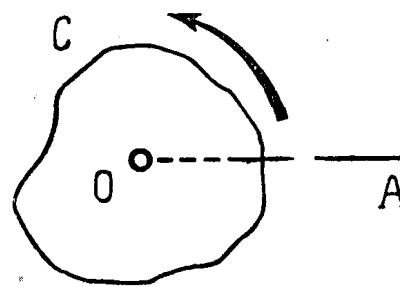


Рис. 3

Последний пример возьмем из области нам более близкой, из области теории магнетизма. Мы привыкли пользоваться представлением о магнитной массе. Представление о единице магнитной массы лежит в основании абсолютной электромагнитной системы единиц. Это есть, так сказать, законное использование фиктивного представления, которое является результатом математической трактовки вопроса, но никому из нас теперь и в голову не придет мысль, что магнитная масса в действительности существует. Это лишь величина, которую с большой выгодаю пользуются и должны пользоваться при математическом исследовании. Итак, некоторые точки зрения на данное физическое явление могут быть чрезвычайно плодотворными и ценными в математическом отношении и в то же время могут быть совершенно неприемлемыми в решении вопроса о том, что происходит в действительности.

Я перехожу теперь к теме нашей беседы, вернее сказать, нашего спора о природе электрического тока. Как совершенно определенно выяснилось в прошлый раз, здесь есть две, по моему мнению, совершенно непримиримые точки зрения. Первая точка зрения, — ее наиболее ярким выражителем является Я. И. Френкель, — отстаивает действие на расстоянии. Другая точка зрения, которую защищаю я, кладет в основу своих рассуждений участие промежуточной среды, среды окружающей центр или ось, вокруг которой ориентируется то или иное электромагнитное явление. Я не думаю, чтобы после того, что я уже сказал, необходимо было много говорить относительно физической состоятельности той или другой точки зрения, но все-таки я позволю себе добавить еще несколько слов. Если точка зрения простого действия на расстоянии является физическим абсурдом, то тем большим физическим абсурдом является точка зрения запаздывающего действия на расстоянии. Это есть ценный математический прием, придуманный Лоренцом. Прием этот может много дать при формальном описании электромагнитных явлений, но это, конечно, абсолютный физический абсурд. В дополнение к тому, что я здесь говорил относительно физической абсурдности идеи действия на расстоянии, представим себе, что у нас имеется некоторая система, способная излучать электромагнитную энергию. Допустим, что радиостанция A (рис. 4) в некото-

рый момент времени начинает генерировать очень мощное излучение, распространяющееся на колоссальное расстояние. Возьмем расстояние столь большое, что оно проходится электромагнитным излучением в десять лет, пока оно не дойдет до некоторого удаленнейшего радиоприемника *B*.

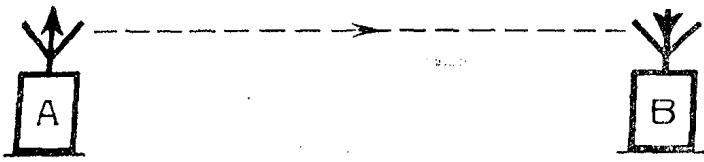


Рис. 4

Предположим, что после того, как радиостанция *A* уже поработала, мы ее совершенно уничтожим. Допустим, что радиоприемник *B* в момент излучения может даже не существовать и лишь потом, в конце десятого года, мы можем успеть построить приемную систему. Через десять лет излученная электромагнитная энергия будет принята системой *B*. А в промежутке, в течение десяти лет, где находится излученная энергия, где находится физический агент, который должен в конце концов воздействовать на приемник *B*? С точки зрения Я. И. Френкеля, и нигде. Такое объяснение физически не допустимо. Если мы рассуждаем, как физики, подобное объяснение мы должны квалифицировать, как полный абсурд, но при формально-математическом рассмотрении вопроса мы имеем законное право иногда так рассуждать. Как математик, Ньютона правильно пользовался теми положениями, которые, как физик, считал абсурдными.

В прошлый раз в словах Я. И. Френкеля я усмотрел некоторый упрек по адресу метода мышления Фарадея. Он сказал, что Фарадей „не мог себе представить действия на расстоянии“, и сказал это с некоторым оттенком осуждения. Я далек от мысли защищать Фарадея от нападок со стороны Я. И. Френкеля, но полагаю необходимым указать, что Фарадей потому именно и считается нами величайшим из физиков, что он в недосягаемой для других степени обладал способностью различать физически приемлемое от физически абсурдного. Поэтому то он и оказался способным обогатить науку рядом достижений, сделавших эпоху. Защищаемая мною точка зрения Фарадея, развитая далее трудами Максвелла, имеет все признаки физически состоятельной точки зрения. Конечно, возможно, что Фарадеево-Максвелловская точка зрения требует некоторых дальнейших уточнений и дополнений, но в общем она вполне может служить нам путеводной нитью при построении вероятной картины того, что происходит в действительности в том электромагнитном процессе, который мы сейчас разбираем.

В прошлый раз П. С. Эренфест, исходя из благородного побуждения примирить спорящие стороны, сказал: „В теперешний момент эти две точки зрения эквивалентны“. Да, конечно, они эквивалентны в математическом отношении, при математическом описании явления электрического тока, но ведь это вовсе не относится к теме нашей беседы. В то же время эти две точки зрения абсолютно не эквивалентны в отношении физического смысла. П. С. Эренфест предложил поставить специальный опыт — *experimentum crucis*, при помощи которого можно было бы решить, какая точка зрения правильна, какая ошибочна. Я не вижу никакого физического смысла в таком эксперименте. Он ни к чему не приведет. В виду математической эквивалентности этих двух точек зрения, конечно, любой эксперимент мы можем и должны описать и тем, и другим способом. Но совершенно ясно, что одна точка зрения при всей ее математической законности и ценности, является физическим абсурдом, а другая — физически состоятельна и вполне приемлема. Это совершенно очевидно уже теперь, и я поэтому очень возражаю против пессимизма П. С. Эренфesta, который сказал, что может быть нам придется умереть раньше, чем наш спор приведет к какому-нибудь заключению. Умирать не надо, надо жить! По моему, спор решается уже сейчас в плоскости простого здравого смысла.

А. Ф. Иоффе в своем выступлении сказал: „правильно понимаемая электронная теория должна являться дополнением и развитием Максвелловской теории“. Прекрасные слова, подписывающие под ними. При этом под правильным пониманием я подразумеваю полный учет всех тех следствий, которые вытекают из признания абсолютной физической абсурдности идеи действия на расстоянии. Когда этот полный учет будет осуществлен, тогда, конечно, не

будет противоречий между большими достижениями электронной теории и представлением Максвелла об электрическом смещении, которое явилось одним из базисов его физической теории.

Итак, в дальнейшем при рассмотрении вопроса о природе электрического тока, занимаясь физическим, а не математическим описанием, мы можем, мы обязаны считаться с Фарадеево-максвелловской точкой зрения, которая оказывается единственной физически состоятельной. Я буду основываться на том положении, которое вызвало особенно ожесточенный спор в прошлый раз, а именно, что в каждом элементе об'ема в пространстве вокруг проводника с током содержится некоторый запас энергии. Этот запас энергии мы не можем, рассуждая, как физики, не связывать с каким-то процессом, происходящим в этом же об'еме, при чем процесс должен быть таковым, чтобы картина его способна была более или менее охватить все стороны, все свойства электромагнитного поля. Делая попытку в этом направлении, Дж. Дж. Томсон в свое время воспользовался представлением о единичных трубках электрического смещения, называемых им Фарадеевскими трубками. Дж. Дж. Томсон вместе с Пойнтингом дал целый ряд чрезвычайно интересных построений, которые иллюстрируют с этой точки зрения процесс электрического тока в самых разнообразных случаях. Все это необычайно изящные картины, помогающие очень глубоко проникнуть в тонкости процесса электрического тока. С точки зрения Дж. Дж. Томсона и Пойнtinga, магнитное поле надо представлять себе, как форму нашего восприятия движущихся Фарадеевских трубок. Однако, эта точка зрения приводит в целом ряде случаев к непреодолимым трудностям. С этой точки зрения, например, чрезвычайно трудно уяснить существование магнитного поля вокруг сверхпроводника, по которому течет ток. Далее, с этой точки зрения чрезвычайно трудно объяснить магнитное вращение плоскости поляризации света и т. д. Ввиду этого я сделал попытку обратиться к магнитному полю и положить именно его в основание картины этого физического процесса, который является носителем энергии в случае электрического тока. Здесь я обратился к старым, мало использованным, работам Максвелла, в которых он трактует вопрос о вероятной природе магнитного поля. К этому же вопросу он обратился, и довольно основательно его еще раз разобрал, в одной из последних глав второго тома своего Трактата. Проанализировав открытое Фарадеем явление магнитного вращения плоскости поляризации света, и в полном соответствии с некоторыми ранее высказанными идеями Вильяма Томсона (Кельвина) Максвелл пришел к необходимости утверждать, что в магнитном поле мы имеем дело с каким-то вращением. В каждом элементе об'ема магнитного поля мы имеем такое вращение, при чем это вращение совершается вокруг оси, совпадающей с направлением вектора магнитной силы. Идея по этому пути, мы вместе с Максвеллом приходим к заключению, что физическое магнитное поле, воспринимаемое нами, как магнитный поток, должно состоять из некоторых вихревых нитей. Отдельные математические работы, которые Максвелл посвятил исследованию этого вопроса, анализируют представление о магнитных вихревых нитях. В этом отношении невольно напрашивается сближение Максвелловских вихревых нитей с Гельмгольцевскими замкнутыми вихревыми нитями в идеальной жидкости. Целый ряд основных свойств тех и других в значительной мере совпадает. Таким образом, мы подходим к некоторой конкретизации мысли Фарадея о „physical lines of force“, о физически существующих магнитных линиях. В своих работах Максвелл очень обстоятельно исследовал вопрос о возникновении электрического смещения при движении магнитных вихрей и показал, что на почве представления о магнитных вихрях имеется возможность очень простого и естественного подхода к об'яснению возникновения деформации электрического смещения при движении магнитных вихревых нитей. Таким образом, беря в основу дальнейших рассуждений физически существующие магнитные линии, понимаемые мною, как магнитные вихри, мы имеем в своих руках нечто, способное охватить весь комплекс электромагнитных явлений, и в этом я вижу большую ценность такого представления.

Пользуясь представлением о магнитных линиях, как реально существующих элементах магнитного потока, я в ряде своих последних работ подверг обследованию свойства магнитного потока. Мне удалось предвидеть и обнаружить на опыте две составляющие магнитного потока взаимной индукции. Поток взаимной индукции мы обычно выражаем через $M_i i_1$, где i_1 — ток в первичной цепи,

а M_n — нормальный коэффициент взаимной индукции. Я установил, что есть некоторая другая составляющая, которая выражается через $-M_a \frac{di_1}{dt}$, т. е. через первую производную тока по времени. Существование этой аномальной составляющей потока взаимной индукции есть необходимое следствие основного Фарадеевского представления о магнитном потоке, как о совокупности реально существующих замкнутых магнитных линий. Через M_a я обозначил аномальный коэффициент взаимной индукции. Таким образом, полный поток взаимной индукции, сцепляющийся со вторичной цепью, получает следующий вид:

$$\Phi_2 = M_n i_1 - M_a \frac{di_1}{dt}.$$

Далее я предвидел и обнаружил на опыте вторую составляющую электродвижущей силы взаимной индукции. Нормальная составляющая выражается, как известно, через $e_n = -M_n \frac{di_1}{dt}$; аномальная же составляющая выражается

соотношением $e_a = M_a \frac{d^2 i_1}{dt^2}$, т. е. выражается через вторую производную первичного тока по времени. Это опять-таки непосредственно следует из основных представлений Фарадея. Полная электродвижущая сила взаимной индукции во вторичной цепи, при условии постоянства геометрических координат, выражается, следовательно, так:

$$e_2 = -M_n \frac{di_1}{dt} + M_a \frac{d^2 i_1}{dt^2}.$$

В связи с указанными результатами я с тем большим правом в своих дальнейших построениях буду пользоваться представлением о магнитных линиях, как исходных элементах при обяснении явлений, происходящих в электромагнитном поле.

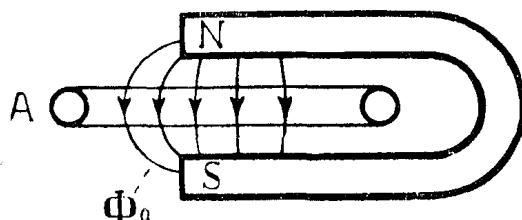


Рис. 5

Рассмотрим теперь возникновение электрического тока при некоторых простейших условиях. Представим себе замкнутый проводящий контур A , перпендикулярный плоскости чертежа (рис. 5). Положим, что сначала в нем нет еще никакого тока, при чем имеется некоторый постоянный магнит M , с соответственным магнитным потоком Φ_0 , исходящим из северного полюса в южный и пронизывающим данный контур проводника A . Допустим далее, что проводник A будет сделан из свинца. Приведем его теперь в состояние сверхпроводимости, т. е. сделаем $R = 0$. Затем удалим магнит M и унесем его хотя бы на бесконечность, оставив на месте проводник. Опыт показал, и это есть величайшее открытие Камерлинг-Оннеса, что в проводнике A индуцируется ток, который в силу отсутствия Джоулева эффекта сохраняется очень долго, практически неопределенно долго. Когда мы такой ток получим, убрав магнит, мы будем иметь вместо внешнего потока Φ_0 , сцеплявшегося ранее с данным контуром A , некоторый поток самоиндукции Φ_s . Поток Φ_s можно схематически изобразить так, как это представлено на рис. 6. Мы будем иметь в сверхпроводящем контуре самый настоящий электрический ток, который при условии стационарности явления можем обнаружить, только по наличию потока Φ_s , могущего, например, воздействовать на поднесенную магнитную стрелку. Правда, в прошлый раз Я. И. Френкель несколько усомнился в нашем праве утверждать, что здесь мы получаем ток. Я. И. Френкель сказал, что „пока ток течет в сверхпроводнике, вы не можете его обнаружить“, и что ток можно констатировать по выделению Джоулева тепла в случае, если поднять температуру проводника¹⁾. Я утверждаю, что Камер-

линг-Оннес, который открыл явление сверхпроводимости и умер раньше указания Я. И. Френкеля своего способа, обнаруживал обычно существование тока в сверхпроводнике именно по воздействию на другую магнитную систему. Другого рационального способа нет, кроме констатирования потока Φ_s .

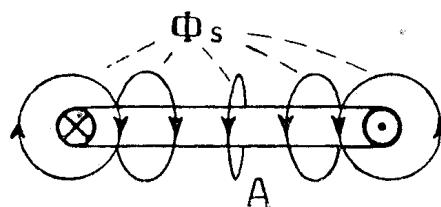


Рис. 6

Я. И. ФРЕНКЕЛЬ.—Я этого способа не отрицаю.

В. Ф. МИТКЕВИЧ.—Камерлинг-Оннес Вашим способом не пользовался! Я. И. Френкель сомневался, имеем ли мы право на основании существования только магнитного поля говорить, что ток есть. Если он продолжает сомневаться в этом, я приведу еще следующий элементарный пример, который должен его убедить окончательно в том, что в случае неизменной сверхпроводящей цепи, мы имеем настоящий ток со всеми его характерными свойствами. Представим себе некоторый трансформатор T_1 , повышающий напряжение, и другой трансформатор T_2 , понижающий (рис. 7). Пусть первый трансформатор (T_1) питается от некоторой электрической станции какой угодно мощности. Трансформаторы соединены линией передачи CD . Высоковольтную линию передачи и связанные с нею обмотки трансформаторов T_1 и T_2 мы можем сделать из сверхпроводника и передавать от C к D энергию хотя бы за тысячу километров. Эта схема не является чем-то вымышленным, чего нельзя было бы осуществить на практике. Ее можно осуществить, если только располагать достаточными средствами. Можно ли в этом случае сомневаться и при отсутствии какого-либо нагревания проводов линии CD в том, что по линии течет ток, самый настоящий переменный электрический ток, переносящий энергию, как в обыкновенной линии передачи, и даже лучше, так как потери будут отсутствовать? Только это отличие и будет, не будет Джоулева тепла, которое является вторичным признаком в процессе тока, но основной признак—магнитное поле, в данном случае переменное, несомненно будет иметь место.

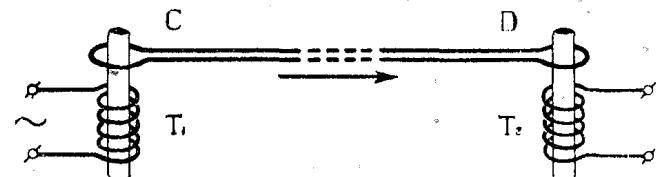


Рис. 7

Теперь рассмотрим, как можно представлять себе процесс возникновения тока в сверхпроводнике A (рис. 5) после того, как мы начнем удалять магнит M в сторону. Мы должны написать уравнение полной электродвижущей силы, возникающей в процессе электромагнитной индукции, таким образом:

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} - Ri = 0,$$

так как $R = 0$. Через Φ мы обозначаем полный магнитный поток, сцепляющийся с данным сверхпроводящим контуром A . Следовательно имеем:

$$\Phi = \Phi_0 + \Phi_s,$$

где Φ_0 есть поток, создаваемый сквозь контур A магнитом M , и Φ_s — поток самоиндукции. Таким образом получаем:

$$-\frac{d(\Phi_0 + \Phi_s)}{dt} = 0,$$

откуда:

$$\Phi = \Phi_0 + \Phi_s = \text{const},$$

Я. И. ФРЕНКЕЛЬ. Пока ток течет в сверхпроводнике, Вы не можете его обнаружить; способ такой: стоит только подогреть сверхпроводник.

(Примечание В. Миткевича).

¹⁾ В подлинной неисправленной стенограмме первой беседы о природе электрического тока значится следующее:

П. Л. КАЛАНТАРОВ. Каким образом, Яков Ильич, Вы считаете возможным определить наличие тока в сверхпроводнике? Что является, по Вашему мнению, реактивом на ток в этом случае?

т. е. полный поток Φ , состоящий, вообще говоря, из двух потоков: внешнего магнитного потока Φ_o , сцепляющегося с данным контуром, и потока самоиндукции Φ_s , есть некоторая постоянная величина, есть некоторый поток, который всегда неизменно должен сцепляться с нашим контуром, какой бы операции мы его не подвергали. Когда исчезает внешний поток Φ_o , в начале полностью составлявший поток Φ , на его место возникает поток самоиндукции Φ_s , но таким образом, что всегда в количественном отношении полный поток, сцепляющийся со сверхпроводником, есть некоторая постоянная величина. Как же можно представить себе самый процесс возникновения этого потока самоиндукции, который как раз в точности равняется ушедшему внешнему потоку Φ_o ? Кстати, я напомню, что всегда, решительно всегда, даже при конечном сопротивлении, полный поток самоиндукции ни в коем случае не бывает больше полного числа сцеплений с потоком основного электромагнитного генератора. Следовательно, то же самое имеем всегда, только явление обычно бывает не доведенное до предела. Возвращаемся теперь к сверхпроводящему контуру A . Исходя из предположения о физически существующих магнитных линиях, считаясь с их свойствами, о которых я уже говорил и о которых еще раз напомню, а именно: принимая во внимание, что они образуют принципиально замкнутые контуры и абсолютно не могут быть разорваны, каким бы деформациям они не подвергались, наконец, считаясь с тем, что при удалении магнита M внешние магнитные линии никак не могут¹⁾ пройти сквозь тело сверхпроводника A , мы элементарно просто приходим к выводу, что в процессе перемещения магнита M никаким способом невозможно расцепить контуры магнитных линий этого магнита, принципиально замкнутых и сцепляющихся с контуром проводника, принципиально тоже замкнутым, иначе, как путем отпочкования некоторых магнитных звеньев от основного магнитного потока Φ_o . Подобное отпочкование является одним из примеров тех преобразований магнитного потока, которое я рассматривал в некоторых своих работах. Иначе физически этого об'яснить нельзя. Вот схема такого преобразования для одной магнитной линии (см. рис. 8). Допустим, что наш проводник A удаляется от магнита M , или магнит удаляется от него в направлении, указанном стрелкой на рис. 8. Некоторая внешняя магнитная линия потока Φ_o , которая была сцеплена с контуром A потому, что вначале мы ее сцепили, в процессе деформирования должна принять вид, представленный на рисунке, и дальше путем слияния точек C и D происходит отпочкование самостоятельного магнитного звена подобно тому, как это рисуется в привычной для всех радиотехников схеме отщнуровывания линий электрического поля. Таким образом, тот факт, что вместо магнитных линий, сцепляющихся с контуром и образующих часть внешнего потока Φ_o , появились линии потока самоиндукции Φ_s , можно физически об'яснить только тем, что от каждой магнитной линии внешнего потока Φ_o отпочковывается одно магнитное звено и нанизывается так, как это схематически показано на рис. 8. Отпочковавшиеся магнитные звенья, нанизанные на контур A , равномерно распределяются по всему контуру. Иного физического об'яснения нельзя себе представить, если пытаться исходить из Фарадеевской точки зрения. Итак, в процессе возникновения тока в рассматриваемом сверхпроводнике на этот сверхпроводник нанизываются магнитные звенья. В полном смысле слова, эти магнитные звенья являются носителями той энергии, которая присуща контуру с током в данном случае, и, следовательно, они должны быть рассматриваемы как выразители основных сторон процесса, называемого нами электрическим током. Энергия магнитных звеньев потока самоиндукции Φ_s есть вся та энергия, которую контур с током в данном случае обладает. Каждое отдельное звено магнитного потока самоиндукции является элементарным носителем энергии этого тока. Вне магнитного поля никакого другого центра, содержащего энергию тока, мы не можем себе представить. Я показал, что если рассчитать энергию единичной трубы магнитной индукции, то мы получим очень простое выражение:

$$a_1 = \frac{1}{2} i,$$

¹⁾ Исходя из Максвелловских дифференциальных уравнений электромагнитного поля, не трудно показать, что во всех точках внутри сверхпроводника неизменно сохраняется соотношение:

$$H = \text{const.}$$

(Примечание Б. Миткевича).

т. е. эта энергия равна половине силы тока, связанного с данной трубкой магнитной индукции. Этому соотношению я придаю смысл энергетического определения силы тока, которое я позволю себе выписать рядом с другими соотношениями:

$$1) i = \frac{dq}{dt} = \frac{d\left(\int D \cos \alpha ds\right)}{dt},$$

$$2) i = \oint H dl,$$

$$3) i = \int H^2 dv.$$

Мы, следовательно, для силы тока имеем, во-первых, соотношение, указывающее, что сила тока равняется скорости протекания электричества или производной по времени от полного электрического смещения через поперечную поверхность, через которую мы рассчитываем ток. Далее мы

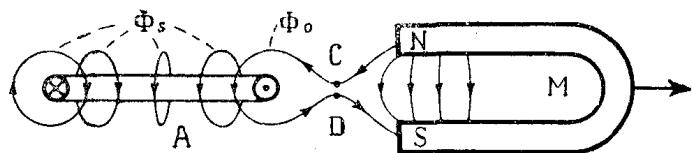


Рис. 8

имеем электромагнитное определение силы тока. Именно, ток i равняется линейному интегралу магнитной силы вдоль контура замкнутых магнитных линий, связанных с данным током. Наконец, можно дать энергетическое определение: ток есть интеграл $\int H^2 dv$, распространенный по

всему об'ему единичной трубы магнитной индукции, где $\frac{1}{2} H^2$ есть энергия единицы об'ема. Мне представляется, что это последнее соотношение имеет большой физический смысл и может лежать в основу выбора системы единиц так же, как и обычные соотношения.

Раз образовавшийся в сверхпроводнике электрический ток может существовать неопределенно долго, поскольку ничто не меняет запаса энергии этого тока. Другими словами, энергия магнитного потока самоиндукции и сам ток остаются неизменными потому, что сопротивление равно нулю, потому что сверхпроводник не обладает способностью преобразовывать упорядоченное движение электромагнитного процесса в беспорядочное тепловое движение. Представим себе теперь, что мы этот сверхпроводник нагреваем, т. е. переходим к случаю конечного сопротивления. Температура делается больше критической, $R \neq 0$. Проводник теперь приобретает способность перерабатывать электромагнитную энергию в тепловую, и эта способность возникает в тот момент, когда начинается по всему сечению проводника движение свободных электронов. С этим движением свободных электронов мы должны связывать возникновение Джоулева тепла. В конце-концов через некоторое время ток прекратится, как это всегда бывает в случаях цепи с конечным сопротивлением. Энергия, запасенная в системе в форме магнитной энергии, превратилась в Джоулево тепло. Ток прекратился, и поле, о котором я сейчас говорил, кажется нам исчезнувшим. Видимым образом оно уходит совершенно, и мы не обнаруживаем его никаким обычным способом. Как себе нужно представлять возникновение тепла внутри тела проводника тепла, эквивалентного энергии существовавшего до этого магнитного поля? Если стоять на точке зрения Фарадея—Максвелла и продолжать утверждать, что энергия электрического тока есть именно энергия магнитного поля этого тока, то, конечно, процесс появления тепла в теле проводника мы можем и должны, оперируя с реально существующими магнитными звеньями, являющимися носителями энергии, вполне определено понимать, как результат входления в тело проводника со всех сторон этих магнитных звеньев. Совершенно естественно с фарадеевской точки зрения, что замкнутые магнитные линии стремятся сократить свой контур. Итак, магнитные линии сокращаются в процессе исчезновения поля в случае, когда $R \neq 0$, т. е. сопротивление конечно, входят в тело проводника и отдают ему свою энергию. Пока магнитные линии охватывают целиком проводник, энергия, присущая каждому магнитному звену, совершенно одинакова, каковы

бы размеры звена ни были, так как со всеми магнитными звенями сцепляется в этом случае полный ток. Но когда в процессе исчезновения поля некоторые магнитные звенья начинают проникать внутрь, энергия каждого такого, вошедшего внутрь, магнитного звена будет зависеть от размера, потому что ток, охватываемый этим звеном, будет меняться, и в пределе, когда звено сократится до предельно малого размера, энергия практически вся будет отдана веществу проводника. Как обстоит дело в смысле распределения тока по сечению такого проводника в процессе исчезновения тока, будет ли здесь ток все время равномерно ослабляться по всем элементам сечения, или будет какая-то неравномерность? С точки зрения, которую я развиваю, совершенно очевидно, что магнитные звенья должны сокращаться симметрично, поскольку проводник симметричен. В конце-концов они где-то ликвидируются у оси проводника. Последние магнитные звенья должны как бы погибнуть в центре проводника. Можно, следовательно, сказать, что электрический ток при таком прекращении его будет в конце-концов замирать на оси проводника. Мы получим то, что академик Л. И. Мандельштам называл обратным скин-эффектом. В 1927 г. появилась математическая работа, которую проделал по мысли и под руководством Л. И. Мандельштама З. Либин, показавший, что при прекращении тока наблюдается обратный скин-эффект, состоящий в том, что в конце процесса ток будет сконцентрирован на оси проводника. Это же самое можно рассматривать, как элементарное следствие моей точки зрения. Мне было очень приятно узнать, что тот же результат был математически получен и из основных уравнений электромагнитного поля.

Прежде чем идти дальше, я укажу, что нет никакой трудности в том, чтобы с рассматриваемой точки зрения представить себе установившийся постоянный ток. Когда мы, например, имеем какую-нибудь динамомашину, в которой генерируется энергия и которая замкнута на цепь с полезным сопротивлением, то, поскольку это сопротивление способно поглощать энергию магнитного поля, картина входления магнитных звеньев внутрь тела проводника остается та же, что и в случае только что мною рассмотренном, когда температура сверхпроводника поднялась выше критической. Но только здесь ток может не ослабляться окончательно потому, что по мере того, как магнитные звенья, равномерно нанизанные на контур проводника, в процессе сокращения будут отдавать свою энергию веществу проводника, в это же самое время от основного магнитного поля динамомашины, в процессе электромагнитной индукции, будут отключиваться все новые и новые магнитные звенья, нанизывающиеся вновь на контур нашей цепи, и этот процесс может продолжаться сколь угодно долго.

Итак, в случае повышения температуры сверхпроводника, магнитное поле в конце-концов кажется нам исчезнувшим, ток прекращается. Мы могли бы этим ограничиться и сказать просто, что тем дело и кончилось. Но невольно возникает вопрос. Что же, значит при сокращении магнитных звеньев до молекулярных, атомных или субатомных размеров они совершенно исчезают? Трудно с этим поговорить. Во-первых, сближение Максвелловских магнитных вихрей с Гельмгольцевскими вихрями в идеальной жидкости не позволяет сделать такого вывода. Гельмгольц показал, что его вихри в идеальной жидкости надо рассматривать, как абсолютно неуничтожимые физические существа; они могут сокращаться, растягиваться, деформироваться, но абсолютно не могут быть уничтожены; нечто неизменное остается. С другой стороны, Максвелл в своей электродинамической теории указал, что магнитный поток, который у него выражается количеством, обозначенным через r , имеет характер момента количества движения. Это есть частная производная электрокинетической энергии по току. Так как магнитный поток в целом играет роль некоторого момента количества движения, то условной единичной трубке магнитной индукции мы должны приписать момент количества движения, равный единице. Конечно, действительно существующим в природе магнитным линиям мы должны приписать некоторый иной, но тоже неизменный, момент количества движения, который гораздо меньше единицы. Замечательно, однако, то, что этот элементарный момент количества движения абсолютно не зависит от формы и размеров данной замкнутой магнитной линии. Это есть некоторая определенная физическая константа, которая характеризует физическую сущность магнитной линии¹⁾.

связи со свойствами Гельмгольцевских вихрей, которые являются абсолютно неуничтожимыми, невольно наталкиваешься на мысль: невероятно, чтобы при сокращении физической магнитной линии в процессе рассеяния несомой ею энергии, в конце-концов, она внезапно исчезла. В течение всего времени этого сокращения сохраняется неизменным момент количества движения, есть некоторое специфическое движение. Есть определенная неизменная физическая константа и вдруг — разрыв: все исчезло. Невероятно! Таким образом, я говорю, что нам, повидимому, лишь кажется будто магнитный поток исчезает, но представить себе, что абсолютно исчезают составляющие его магнитные звенья, нет никакой физической возможности. Приходится допустить, что они скапливаются в теле проводника в виде каких-то элементарных, сократившихся до минимального размера, магнитных вихрей. Что же представляют собой эти

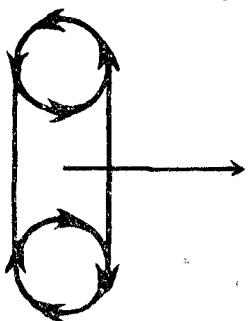


Рис. 9

элементарно малые магнитные вихри? Тут опять такие приходят на помощь сближение магнитных вихрей Максвелла с Гельмгольцевскими вихрями в идеальной жидкости. Гельмгольцевские вихри не могут оставаться в покое. Они будут двигаться перпендикулярно своей плоскости, как это показано на рис. 9. Если размер вихревого кольца велик, оно движется медленно, а по мере сокращения его размера оно все более и более быстро движется. В покое оно оставаться не может. Максвелловские магнитные вихри подобно Гельмгольцевским, сокращаясь до минимального размера, не могут ни в каком случае оставаться в покое, они обязательно должны двигаться. Только в движении они мыслимы, иначе природа вихря не будет удовлетворена. Но как мы, посторонние наблюдатели, будем воспринимать такие движущиеся магнитные вихри? Ясно дело, что если мы будем смотреть в направлении движения этих магнитных вихрей, то мы будем наблюдать в дополнение к магнитному полю наличие радиального электрического поля. Если мы предположим, что это электрическое поле будет ориентировано к центру, то при движении таких магнитных вихрей нам покажется, что движется некоторый отрицательный заряд

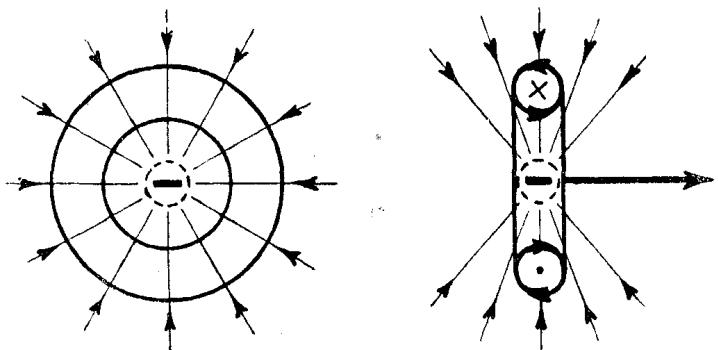


Рис. 10

(см. схематический рис. 10). Все происходит так, как будто бы движется отрицательный элементарный заряд. Таким образом, если стремиться быть логичным и последовательным, приходится утверждать, что в конце-концов физически существующие магнитные вихревые кольца, сократившиеся до минимальных размеров, в пределе превращаются в какую-то физическую сущность, имеющую свойства движущегося электрического заряда. Быть может это и есть элементарный электрический заряд — электрон. Невольно приходится сближать сократившиеся магнитные вихри с электронами. По внешним своим проявлениям они должны быть совершенно тождественны. Необходимо при этом вспомнить, что никто неподвижных электронов не знает. Физика знает только движущиеся электроны. Конечно, рассуждать об электроне, стоящем на месте, но рассуждение это, весьма вероятно, не имеет никакого отношения к действительности. Отожествление сократившихся до минимальных размеров магнитных вихрей с электронами мне представляется весьма плодотворным. Лично я получил полное удовлетворение, когда, наконец, понял почему электроны все одного знака (—). Почему же есть только отрицательные

¹⁾ Здесь будет уместно указать, что Планковская постоянная \hbar имеет ту же размерность, что и момент количества движения.

[Примечание В. Миткевича]

и нет положительных электронов? Была одно время эпидемия, многие пытались доказать существование и положительных электронов, а потом оказалось, что положительных нет, все электроны одного знака. Понятно, что Гельмгольцевские вихри в идеальной жидкости могут двигаться принципиально только в одну сторону, и потому сократившийся магнитный вихрь может представляться заряженным только одним знаком. Я думаю, что в этой области до некоторой степени можно видеть ключ к сближению формальных достижений электронной теории с представлениями, вытекающими из Фарадея-Максвелловской физической теории. Следует вспомнить, что никто другой, как именно Максвелл¹⁾, был родоначальником идеи о молекулярном строении электричества. Наконец, такое представление об электроне совершенно определенным образом заставляет нас смотреть на электрон, не как на шарик, заряженный электричеством (это является старой схемой), но как на электромагнитный комплекс, и в этом отношении мы находимся в полном согласии с современными достижениями физики, согласно которым электрон расплывается в какой-то сложный комплекс.

В заключение я скажу, что если позволить себе сближение магнитных вихревых колец, сократившихся до минимальных размеров, с электронами и отожествлять их, то я невижу непреодолимых трудностей в том, чтобы показать и обяснить, как возникает магнитное поле вокруг проводника с током, который генерируется каким угодно гальваническим элементом, термоэлементом и т. п.

Я. И. ФРЕНКЕЛЬ.—Я попрошу вас теперь вернуться назад к исходной предпосылке. Исходной предпосылкой В. Ф. Миткевича было следующее положение: теория поля в той или иной форме с физическими линиями или без них, со средой или без нее, в формально математическом отношении эквивалента теории дальнодействия, при том запаздывающего дальнодействия, которое нельзя себе представить. Первое мы можем легко себе представить. Поэтому точка зрения теории дальнодействия хотя формально и правильна, физически абсурдна; в то же время точка зрения поля, будучи формально эквивалента точке зрения дальнодействия, для нас физически приемлема, физически состоятельна. Позвольте прежде всего доказать вам, что физическим абсурдом является именно представление о близкодействии, а физической реальностью, физически обоснованным является представление о дальнодействии. Как нам ни трудно представить себе это дальнодействие, да еще запаздывающее, все же нам необходимо сделать соответственное усилие для того, чтобы освободиться от тех привычек, которые сложились у нас в эпоху, когда наши познания были недостаточны. Верно, что Ньютона и Фарадея утверждали, что дальнодействие невозможно себе представить, верно то, что Фарадей и Ньютона были гениальными физиками, и верно то, что представление о близкодействии привели Фарадея к ряду великих открытий. Но неверно то, что эти открытия по существу основывались на представлениях Фарадея. Эти представления явились для него лишь рабочей гипотезой, которая облегчила ему сближение явлений, кажущихся с первого взгляда совершенно различными. Представляя себе, что электромагнитные действия передаются через эфир, и помня о том, что через эфир должны передаваться и световые действия, Максвелл естественным образом перешел к мысли, что световые действия тождественны по своей природе с электромагнитными. Вот в чем вся сущность теории близкодействия, созданной Фарадеем и Максвеллом, весь ее основной физический смысл; во всяком случае главный физический смысл заключается в сближении понятия света и понятия электромагнетизма. Эфир послужил тем основным звеном, которое соединяло эти два понятия, ранее казавшиеся разными. Затем, когда эти два понятия были соединены, эфир можно было упразднить.

Разрешите мне сейчас проанализировать понятие близкодействия так, как оно фигурирует в теории Фарадея, так, как его представлял себе Максвелл, и показать вам, что это близкодействие, действующее через промежуточную среду, представляет собой только иллюзию, только замаскированное дальнодействие. Не дальнодействие оказывается необходимым сводить к близкодействию, а наоборот, близкодействие к дальнодействию.

Прежде всего поставим себе вопрос: почему физики так долго, так упорно отстаивали, и до сих пор еще отстаивают, идею близкодействия. Я думаю, что причина

этого лежит в области, так сказать, психологической, что представление о близкодействии имеет характер антропоморфный. Мы своим телом можем давить на другое тело только путем непосредственного соприкосновения. Когда мы хотим притянуть предмет или оттолкнуть его, мы схватываем этот предмет руками или вооружившись каким-нибудь вспомогательным предметом, который передает действие руки на интересующий нас предмет. По своему собственному опыту, поскольку мы оказываем активное воздействие нашим телом на окружающие тела, мы знакомы только с близкодействием. С близкодействием мы имеем дело и с пассивной стороны, когда мы подвергаемся воздействию других тел, окружающих нас. Однако, помимо этого опыта, который характеризует действие, производимое и воспринимаемое нами, как близкодействие, мы знакомы, но только лишь с пассивной стороны, с явлением, которое непосредственно следует характеризовать, как действие на расстоянии. Мы все испытываем притяжение со стороны земли, и это действие непосредственно воспринимается нами на расстоянии. Если бы испытываемые и оказываемые нами на все окружающие тела гравитационные действия, были более интенсивны и непосредственно заметны,—то представление о действии на расстоянии было бы нам столь же знакомым и естественным, как и представление о близкодействии. Но повторю, с близкодействием мы знакомы и активно, и пассивно, а с дальнодействием мы знакомы только пассивно.

Таково то психологическое имущество, которое теория близкодействия имела по сравнению с теорией дальнодействия, или верней, представление о близкодействии по сравнению с представлением о дальнодействии. К этому нужно прибавить еще следующие соображения. Физика, старая, классическая, создателями которой явились Ньютона, Фарадея и Максвелл, эта физика была физикой макроскопической, она оперировала с макроскопическими телами, с большими телами. При построении основных уравнений „внутреннего“ движения упругих твердых и жидких тел, приходится (временно) рассматривать эти тела, как совокупность частиц, очень близких друг к другу и действующих друг на друга. После составления искомых уравнений, молекулярная картина оставалась в стороне, и тело трактовалось, как сплошная среда. Так поступила теория упругости, гидродинамика, так поступали и другие области макроскопической физики. Именно эта макроскопическая физика и приучила нас представлять себе взаимодействие между телами, как результат непосредственного соприкосновения этих тел. Если мы вдумаемся в то, что происходит при соприкосновении двух других тел друг с другом, то мы увидим, что это соприкосновение является результатом приближения тех элементарных частиц, молекул, из которых состоят оба тела. Действие, оказываемое одним телом на другое, сводится к действию некоторых частиц расположенных на поверхности одного тела, оказываемому на частицы расположенные на поверхности другого тела. Передача действия от одной точки первого тела к другой точке того же самого тела осуществляется теми частицами, которые находятся в промежутке между рассматриваемыми точками. Если, следовательно, с макроскопической точки зрения, в которой тела трактуются, как непрерывная среда, мы перейдем к микроскопической точке зрения, в которой тела характеризуются, как отдельные друг от друга частицы, тогда вся картина в корне меняется. Если частицы, из которых состоит рассматриваемое тело, отделены друг от друга пустыми промежутками, то каким образом они действуют друг на друга? Вы можете сказать, что когда одно тело толкает другое, то одни частицы нажимают на соседние и, таким образом, осуществляется непосредственное соприкосновение. Ну, а если вы тело растягиваете, как тогда действуют соседние частицы его друг на друга? В этом случае частицы не приближаются, а удаляются друг от друга, и если между ними в нормальном состоянии тела были некоторые промежутки, то при растягивании этого тела эти промежутки увеличиваются. Здесь нет соприкосновения, а есть действие одной частицы на другую, находящуюся на некотором, хотя и малом, расстоянии. Следовательно, если рассматривать процесс передачи действия от одного тела к другому с микроскопической точки зрения, с точки зрения молекулярного строения тела, то то, что мы воспринимаем, как близкодействие, оказывается дальнодействием. Правда, дальнодействием на очень малых расстояниях, но от того, что расстояние мало, суть дела не меняется. Я думаю, что многие физики заметили тот порочный круг, к которому приводит представление о близкодействии, многие физики заметили, что это представление

¹⁾ Maxwell, Treatise on El. and Magn., Vol I, § 260.

утрачивает почву под ногами, когда мы с макроскопической точки зрения переходим к микроскопической. Однако, некоторые из них и здесь пытаются найти спасение для точки зрения близкодействия. Именно, можно было себе представить, что вся внутренность тела, все то пространство, между молекулами тела, которое мы называем пустотой, на самом деле не пусто, а заполнено какой-то другой средой,—более тонкой, необыкновенной матерней. Та самая среда, которой заполнено междузвездное пространство, может заполнить и междумолекулярные пространства, и тогда мы можем себе представить, что действие, идущее от одной частицы тела к соседней, осуществляется не через разделяющую их пустоту, а через соединяющую их среду. Не трудно, однако, убедиться, что это представление о промежуточной междумолекулярной среде николько не решает вопроса о сведении дальнодействия к близкодействию, а сводит только дальнодействие на очень малых расстояниях к дальнодействию на еще меньших расстояниях. В самом деле та среда, которая была придумана для связи между молекулами или звездами,—эта промежуточная среда была создана по образу и подобию упругих тел, которые были уже известны физикам. При описании свойств среды, так же как при описании свойств упругих тел, физики того времени исходили из представления об атомной структуре и предполагали, что среда состоит из очень малых частиц, находящихся на чрезвычайно малом расстоянии друг от друга и действующих друг на друга на этих очень малых расстояниях. Установив уравнения смещения и движения этих частиц, в дальнейшем забывали об атомной структуре и трактовали среду, как сплошное тело. Таким образом близкодействие оказывалось на самом же деле замаскированным дальнодействием. Если угодно, сведение дальнодействия к близкодействию является в буквальном смысле слова сведением действия на большом расстоянии к действию на малом расстоянии.

Мне кажется, что этот анализ достаточно прост и убедителен. Мне кажется, что возразить что-нибудь против него очень трудно, и можно настаивать на представлении о близкодействии, осуществляющемся через материальную или квазиматериальную среду, только в силу привычки. Это не значит, что теория близкодействия не сыграла в физике положительную роль, что непримиримое отношение Фарадея к представлению о действии на расстоянии было вредно или бесполезно; оно принесло свои плоды и очень большие. Дело тут было, однако, совсем не в самой среде. Эта среда—эфир—сыграла роль тех лесов, которые окружают строящееся здание. Когда здание построено, леса снимаются долой.

Представления В. Ф. Миткевича в общих чертах совпадают с представлениями Фарадея и Максвелла. Фарадей и в особенности Максвелл пытались свести представление об электромагнитных явлениях к механике этой промежуточной среды, т. е. другими словами, к законам взаимодействия и движения ее частиц. Правда, в этой механической трактовке, атомная структура среды—эфир—не фигурировала явным образом; свойства были воплощены в те дифференциальные уравнения теории упругости, которые были выведены из представления об атомной структуре эфира, в связи с представлением, что частицы его движутся и действуют друг на друга соответственно с принципами классической Ньютона механикой. Это значит, что ускорение, которое каждая частица эфира получает в данный момент, т. е. действующая на нее в данный момент сила, зависит от положения соседних частиц эфира в тот же самый момент времени. Таким образом, теория Фарадея и Максвелла, поскольку она представляла собой попытку интерпретировать электромагнитные явления, как механические явления в эфире, исходила из представления о мгновенном действии на расстоянии между частицами эфира, т. е. действии, которое определяется мгновенной конфигурацией частиц, так же как это представлял себе и Ньютон в своей теории тяготения. Ньютон не учитывал возможности того обстоятельства, что действие может передаваться через пространство с запаздыванием. Силы, которые ввел Ньютон, были силы мгновенные и таковыми же были те силы, которыми оперировал Фарадей и Максвелл в своей теории механизма электромагнитных явлений. Однако, известно, что электромагнитные действия передаются в пространстве с конечной скоростью. В этом отношении они сходны с обычными механическими действиями (давление, толчек), передающимися через какую-нибудь материальную среду. В последнем случае запаздывание объясняется следующим образом. Каждая частица среды (например, твердого тела) испытывает от соседних частиц силу,

зависящую от их относительного положения в рассматриваемый момент времени. Эта сила в свою очередь изменяет положение данной частицы,—однако, не сразу, так как непосредственным образом она оказывается лишь на укорени, для изменения же положения требуется некоторое время. Вот это обстоятельство и является причиной запаздывания в передаче деформаций или сил в материальной среде. Таким образом, дело здесь заключается не в запаздывании сил, а в запаздывании тех перемещений, которые ими вызываются и в свою очередь их обусловливают. Теория Фарадея и Максвелла рассматривает распространение электромагнитного действия в пространстве с конечной скоростью, как результат распространения их с бесконечной большой скоростью через очень малые промежутки, т. е. пространство, отделяющее частицы эфира. Никакого уничтожения теории дальнодействия здесь на самом деле и не было, а была попытка свести представление запаздывающего действия на расстоянии к более или менее привычному, хотя и непонятному представлению о дальнодействии мгновенном. Известно, что все попытки Максвелла, а также многих других физиков, в особенности Больцмана, построить механическую интерпретацию электромагнитных явлений, построить механическую модель, которая обладала бы свойствами, характерными для электромагнитного поля, все эти попытки оказались недостаточными, и сам Больцман, не мало потрудившийся в этом отношении, закончил их следующим афоризмом: „Теория Максвелла это—уравнение Максвелла“; все остальное не имеет никакого значения. Все остальное, это те леса, которые были нужны Фарадею и Максвеллу, чтобы возвыгнуть здание теории, здание же теории — это математическое уравнение. Больцман был физик, настоящий, в истинном смысле слова, который отнюдь не довольствовался математическими формулами, а искал скрытый за этими формулами физический смысл.

В. Ф. Миткевич с самого начала выставил такой тезис: две теории могут быть совершенно эквиваленты в математическом отношении, но одна из них абсурдна, другая физически состоятельна потому, что представления одной теории нам не лезут в голову, а представления другой теории нам свойственны, привычны. Это деление, по моему мнению, совершенно не выдерживает строгой научной критики. Во-первых, мы уже имели не мало случаев убедиться в том, что, осложнившиеся исторически, представления оказывались ложными, и не раз нам приходилось испытывать усилия для преодоления этих представлений и замены их другими более современными. Вопрос об абсурдности в этом смысле, в смысле возможности себе „представить“ или понять это вопрос чрезвычайно относительный и совершенно не связанный с истинностью или ложностью. Надо учесть то обстоятельство, что всякое понимание является, по существу, процессом относительным. Понимание какого-либо явления можно сравнивать с решением какого-либо уравнения или системы уравнений. Данная система уравнений, в них входят неизвестные x, y, z и известные A, B, C . Что значит решить эти уравнения? Это значит выразить x, y, z через A, B, C . А что такое A, B, C ? Этого мы не знаем. Мы можем перевернуть процесс решения и попытаться „понять“ A, B, C , т. е. выразить их через x, y, z . Мы получим некоторое понимание, лишь сведя один элемент к другому; но таким образом мы приходим в конце концов к элементам несводимым; здесь объяснение прекращается, и нам остается лишь привыкнуть к тому, чтобы считать A, B, C известными.

Возвращаясь от этих общих соображений к физическим вопросам, которые нас интересуют, я думаю, что здесь мы имеем два ряда неизвестных,—с одной стороны, неизвестные, характеризующие поле, с другой стороны, неизвестные, характеризующие материю, и задача ставится так, чтобы одни из этих неизвестных свести к другим. Поскольку мы не представляем себе поле сосредоточенным в некоторой материальной среде, являющейся его носителем, поскольку представление того или иного типа, т. е. о поле как о производном материальных частиц (его создающих) или о материальных частицах, как о производных этого поля (им определяемых), совершенно эквивалентны. Прошлый раз я имел уже случай говорить, что я не отрицаю правомерности представления о поле, как о некоторой реальности. Я отрицаю только правомерность представления о том, что это поле соответствует какому-то материальному образу, будь то материальная среда, в виде эфира, или материализованные силовые линии, или силовые линии не как материальные шнуры, а как оси вихревого движения материальной среды. Вот против чего я ка-

тегорически возражаю и что, по моему мнению, было давно уже отвергнуто физиками, пытавшимися продумать до конца механическое истолкование электромагнитной теории Максвелла.

Сам В. Ф. Миткевич указывал, что теория дальнодействия, так как я ее понимаю, т.-е. как представление о действии одной частицы на другую через разделяющую их пустоту, и притом действие, передающееся с конечной скоростью,—что эта теория формально так же хорошо описывает явления, как и теория близкодействия. Я думаю, что это верно только, если отказаться от попытки истолковывания последней теории, как механической теории некоторой квазиматериальной среды. Если же В. Ф. Миткевич настаивает на возможности и необходимости сохранения материального субстрата, являющегося носителем электромагнитного поля, тогда я ни в каком случае не могу согласиться с ним. Такая механическая теория эфира ни в коем случае не будет эквивалента во всех отношениях с теорией запаздывающего дальнодействия. Теория поля, лишенного подобного материального субстрата, теория поля, не связанного с ним, а просто локализованного в пустоте, такая теория поля эквивалента теории запаздывающего дальнодействия. В связи с этим позвольте мне отметить еще одно обстоятельство. Попытка истолковать электромагнитные явления с точки зрения классической механики привела к полному фиаско, и из этого было заключено, что механика вообще не применима к описанию физических явлений, и что старые механические взгляды должны заменить электромагнитными. К счастью, однако, это не случилось. Оказалось, что не применима к описанию физических явлений лишь старая механика с ее мгновенно действующими силами, и что все изменения, которые нужно было произвести, заключались в том, чтобы силы действующие мгновенно на расстояние заменить силами дальнодействия, передающимися с конечной скоростью. В этом и заключается сущность того нового механического взгляда, которое вытекало из электромагнитной теории Максвелла. Представление о запаздывающем дальнодействии в пустоте привело к необходимости рассматривать время, как относительную величину, оно привело к созданию теории относительности, которая является ныне одним из красногольных камней физического мировоззрения.

Таковы общие соображения, которые я могу привести по поводу общих соображений В. Ф. Миткевича. Переходя к специальным утверждениям, которые он развивал в применении к электрическому току, я могу только оправдать на практике справедливость того тезиса, что эти утверждения, поскольку они верны, постольку они вытекают из теории поля, а не из механической теории эфира, что эти утверждения столь же хорошо и просто получаются из представления о запаздывающем дальнодействии. Например, те магнитные и электрические эффекты, которые определяются первой производной тока по времени, а также второй производной—непосредственно вытекают из закона, по которому действуют друг на друга движущиеся электроны—именно электроны, движущиеся ускоренно или еще более сложным образом. Электрон покоящийся создает только электрическое поле; если он движется с постоянной скоростью, то, кроме электрического поля, он создает магнитное поле; из подобных элементарных полей слагается то магнитное поле, которое мы наблюдаем вокруг стационарного тока. Можно показать, исходя из основных уравнений электронной теории, что при ускоренном движении электронов появляются еще добавочные поля, электрическое и магнитное, которые пропорциональны ускорению и зависят не от положения и скорости электрона, а от его ускорения. Таким образом электрическое поле слагается из трех частей; во-первых, из электростатического или Кулона поля, во-вторых, из поля пропорционального скорости и в-третьих, из поля пропорционального ускорению. Точно так же магнитное поле движущегося электрона может быть представлено в виде суммы, пропорциональной скорости, и другой части, пропорциональной ускорению. Последняя часть, пропорциональная ускорению как в случае электрического, так и в случае магнитного поля, убывает обратно пропорционально первой степени расстояния в то время, как первая часть магнитного поля, пропорциональная скорости, убывает обратно пропорционально квадрату расстояния. Таким образом, на больших расстояниях доминирует поле, которое зависит от ускорения; это поле составляет сущность световых колебаний или радио-волн, распространяющихся во все стороны от колеблющихся электрических зарядов. Эти волны не связаны с колебательным движением частиц в тех точках пространства, через которые они

распространяются. Здесь колеблются только силы, определяемые полем. Колебательное же движение происходит лишь в том месте, где находится источник волн. Если сила тока пропорциональна скорости движения электронов, то производная от силы тока по времени пропорциональна ускорению электронов. Естественно, что наряду с электромагнитными явлениями, зависящими от силы тока, мы должны иметь, как электрический, так и магнитный эффект, зависящий от производной силы тока по времени. Электромагнитное поле электрического тока сводится к сумме слагаемых, зависящих от положения, скорости и ускорения образующих его зарядов и при том не в тот момент, для которого определяется это поле, а в предшествующий момент, при чем расстояние между этими моментами соответствует времени, которое необходимо для прохождения (со скоростью света) расстояния от проводника с током до рассматриваемой точки. Это запаздывающее дальнодействие формально эквивалентно мгновенному дальнодействию, в которое, однако, наряду с ускорением входят также и производные высшего порядка от скорости.

Переходя ко второму явлению—индукционному току, возбуждаемому магнитом, в сверхпроводнике. В. Ф. Миткевич пытается поймать меня как бы на отрицании мою магнитное поле является не единственным признаком тока.

В. Ф. МИТКЕВИЧ.—Очень приятно!

Я. И. ФРЕНКЕЛЬ.—Я только утверждаю, что магнитное поле является не единственным признаком тока.

В. Ф. МИТКЕВИЧ.—Но главным!

Я. И. ФРЕНКЕЛЬ.—Так как В. Ф. Миткевич настаивает на обединении двух совершенно различных явлений, именно, тока проводимости и тока смещения, который является просто-напросто, переменным электрическим полем,—под одним названием, то, конечно, ему ничего другого не остается, как измерять эти два тока по тому признаку, который является общим для них обоих. Единственным общим признаком движения электронов, образующих, с моей точки зрения, ток в проводнике, и переменного электрического поля является магнитное поле. Однако, если различать эти два процесса, не смешивать их друг с другом, тогда вы можете найти целый ряд других признаков, которые не сближают эти два понятия, но отличают их друг от друга. Электрический ток, как движение зарядов, создает Джоулемо тепло, вызывает химическое разложение электролита, а электрический ток, который называется током смещения и представляет собой переменное электрическое поле, не производит нагревания и не вызывает разложения электролита. Поскольку установлена определенная связь между различными признаками, характеризующими электрический ток, постольку мы имеем право при разных исследованиях один из признаков заменить другим, и невозможно возразить против применения магнитной стрелки, как показателя силы тока, текущего в проводнике. Когда электроны покоятся, они „чувствуют“, т. е. испытывают действие только со стороны электрического поля. Когда же электроны движутся, то на них действует как электрическое поле, так и магнитное поле, при чем действие магнитного поля пропорционально их скорости. Когда вы движете проводник, содержащий электроны, то электроны приобретают скорость, при этом они становятся подверженными действию магнитного поля. Силы, которые они испытывают, перпендикулярны, как известно, к направлению движения электронов и к направлению магнитного поля. Эти элементарные силы и создают ток в движущемся контуре; в случае сверхпроводника создавшийся однажды ток уже не может измениться, поскольку проводник перестает двигаться. Та формула, при помощи которой В. Ф. Миткевич характеризует рассматриваемые явления, эта формула одинаково хорошо получается из его представления о перезывании и нанизывании магнитных звеньев и из представления о действии магнитного поля на электроны, движущиеся вместе с проводником, или по отношению к проводнику. Однако, между этими представлениями есть одна маленькая разница, о которой В. Ф. Миткевич умолчал. Что произойдет, если контур будет не замкнут? Произойдет ли соединение магнитных звеньев? В таком незамкнутом контуре ток течь не может, и согласно мнению В. Ф. Миткевича магнитные силовые линии должны проходить через контур так, как будто бы контура совсем не было, или магнитные силовые линии не сцепляются с контуром. Сцепление происходит только в том случае, если проводник замкнут, а когда проводник разомкнут, сцепления не происходит. Понять происхождение такой существенной разницы

в поведении магнитных силовых линий в замкнутом и незамкнутом контуре, я признаюсь не в состоянии.

Процесс, который происходит при наличии сопротивления в проводнике В. Ф. Миткевич описывает, как „сокращение“ магнитных звеньев до молекулярного размера, при чем, по его мнению, эти сокращенные до молекулярного размера звенья, превращаются просто напросто в электроны. С этим я уже категорически не могу согласиться. Здесь, я думаю, вопрос об эквивалентности обеих точек зрения—поля и дальнодействия,—утрачивает почву, здесь уже нужно поставить альтернативу: либо верна теория, которая излагается В. Ф. Миткевичем, либо она не верна и верна теория поля, я бы сказал, в ее классической форме, которая эквивалентна теории дальнодействия. Прежде, чем рассматривать этот вопрос, я на минуту возвращусь вспять, к исходному пункту теории Миткевича. Он указывал вначале, при обзоре явлений электрического тока, что Пойнтинг и Дж. Дж. Томсон пытались развить идею Фарадея и Максвелла в направлении, так называемых, Фарадеевских трубок. При этом под Фарадеевскими трубками они подразумевали силовые трубы, характеризующие электрическое поле. В теории Томсона и Пойнтинга электрическое поле является чем-то первичным, магнитное поле трактуется, как нечто вторичное. Она представляет себе, что движущиеся электрические силовые линии или Фарадеевские трубы создают магнитные силовые трубы. Эта теория В. Ф. Миткевичу не нравится повидимому вследствие различия, так сказать, в техническом уклоне.

Проф. Лебединский прошлый раз отметил следующее: в технике сильных токов приходится иметь дело, главным образом, с магнитными полями, и электрические поля играют весьма второстепенную роль. Естественно, что здесь центральное значение приобрело магнитное поле. Естественно, что это магнитное поле, которое является доминирующим элементом в области техники сильных или квазистационарных токов, лица работающие в этой области пытаются трактовать, как некоторое первичное явление, а электрическое поле, как нечто производное. В радиотехнике или в электромагнитной теории света, наоборот, большее значение имеет электрическое поле, чем магнитное. Естественно поэтому, что Дж. Дж. Томсон и Пойнтинг пытались трактовать именно электрическое поле, как первичную реальность, электрические силовые линии, как реально существующие в пространстве, а магнитное поле пытались рассматривать, как результат движения этих электрических силовых линий. В. Ф. Миткевич по причине, указанной мною выше, предпочитает прямо противоположную точку зрения. Он считает магнитное поле первичным, а электрическое поле вторичным. По этому поводу я позволю себе указать, что в классической электромагнитной теории Лоренца оба поля являются совершенно равноправными и никакого основания для того, чтобы одно из них считать главным, а другое производным, нет. Например, известно, что поступательное движение электрического поля в пространстве создает магнитное поле. Когда движется заряженный шар, в окружающем пространстве получается магнитное поле; при движении магнита в окружающем пространстве создается электрическое поле. Электрические силовые линии, если пользоваться этим представлением, создают, если можно так выразиться, при своем движении магнитные силовые линии. Магнитные силовые линии создаются при своем движении, если можно так выразиться, электрические силовые линии. Далее известно, что в то время, как переменное электрическое поле создает окружающее его кольцевое магнитное поле, точно также переменное магнитное поле создает окружающее его кольцевое электрическое поле. Первое явление называется током смещения. Второе явление, т. е. создание электрического поля, переменным магнитным полем, называется электромагнитной индукцией. В этих двух категориях явлений, электрическое и магнитное поля фигурируют, как равноценные элементы, и нет основания для того, чтобы один из этих элементов считать первичным, а другой вторичным. Иное дело, если принять во внимание и те изменения электромагнитного поля, которые обусловливаются электрическими зарядами. Тогда, пожалуй, будем иметь основание сказать, что первичным явлением является электрическое поле потому, что покоящиеся заряженные тела создают электрическое поле, а магнитного поля не создают. Можно сказать, что вокруг сверхпроводника мы имеем одно только магнитное поле; но это верно лишь с макроскопической точки зрения, а с микроскопической точки зрения, мы имеем внутри проводника электроны, создающие вокруг себя электрическое поле.

Позвольте мне после этого отклонения вернуться к вопросу о том, что происходит, когда мы нагреваем сверхпроводник и он приобретает сопротивление. Тогда с точки зрения В. Ф. Миткевича происходит следующее: происходит поглощение звеньев магнитного поля проводником. В. Ф. Миткевич представляет себе этот процесс, как постепенное скатие этих магнитных звеньев до молекулярного размера. С обычной точки зрения электронной теории выделение тепла током объясняется чрезвычайно просто. При наличии сопротивления, электроны, движущиеся в проводнике, испытывают некоторого рода трение. Это трение, как всякое трение, вызывает постепенное превращение упорядоченного движения, связанного с правильным магнитным полем, в движение беспорядочное. Этим беспорядочным движением и является Джоулево тепло. Можно поставить себе вопрос, что же происходит с магнитным полем при таком превращении энергии тока в энергию тепловую. Если стоять на почве электромагнитной теории массы, согласно которой кинетическая энергия электрона представляет собой энергию его магнитного поля, то можно сказать, что общая магнитная энергия остается при этом неизменной, но что из энергии макроскопического поля, локализованной в окружающем контур пространстве, она превращается в энергию микроскопических полей, локализованных внутри проводника. Но с чем я совершенно не могу согласиться, это с тем представлением, которое В. Ф. Миткевич выдвинул в конце своего доклада с представлением о том, что магнитные звенья, скимаясь до молекулярного размера, превращаются в электроны. Прежде всего эта точка зрения находится в противоречии с классической теорией электромагнитного поля, выводы которой В. Ф. Миткевич как-будто не пытается оспаривать. С точки зрения этой теории новые электроны не создаются, и старые электроны не исчезают. Может меняться только энергия этих электронов, но не число их. Процесс, описанный В. Ф. Миткевичем, не может быть описан ни дифференциальными уравнениями электромагнитного поля, ни уравнениями механики, которыми определяется движение электронов. И этот процесс я считаю чистейшей фикциией. Удовлетворение, которое В. Ф. Миткевич испытывает в связи с тем, что его кольцевые электроны могут иметь только отрицательный заряд—это удовлетворение является весьма неосновательным потому, что мы знаем, что наряду с отрицательными электронами имеются и протоны, обладающие положительным зарядом. Если бы, однако, протонов вовсе не было, и были бы одни только электроны, то теория их зарождения из магнитного поля, которая была дана здесь, представляется мне абсолютно неприемлемой, так как она противоречит основным законам электромагнитного поля и механики электронов.

В. Ф. МИТКЕВИЧ.—Я нахожусь в чрезвычайно тяжелом положении, отвечая на то, что говорит Я. И. Френкель. Я прямо смущен до чрезвычайности. Он применил особый полемический прием. Я стремился спорить с физиком Я. И. Френкелем, а он подменил физика чистым математиком. У нас нет общего языка. Я не знаю, как говорить. Если Вы, Яков Ильич, как физик, действительно можете примириться с этим невероятным абсурдом, что некоторая масса m_1 (рис. 1) может действовать на расстоянии на массу m_2 без того, чтобы какой-либо физический агент проникал сквозь замкнутую поверхность, окружающую массу m_1 , то я вынужден заподозрить вас в том, что вы тайный адепт спиритизма. Иного объяснения нет! Повторю, математик Я. И. Френкель имеет право так рассуждать, законное, абсолютное право. Собственно говоря, все, что на эту тему Я. И. Френкель говорил, он говорил, как математик. Мне очень трудно с ним спорить потому, что все продолжается в таком же роде. Если математик Я. И. Френкель со мной спорит, то ясное дело, что он говорит попрежнему с точки зрения дальнодействия. Я ведь с самого начала напомнил, что мы совсем не занимаемся вопросами математического описания явлений тока, мы хотим подойти к вероятной картине того, что в действительности происходит. У меня создалось такое ощущение, будто бы я не говорил этого совсем. Я указывал, что в силу математической эквивалентности разных точек зрения, я считаю ненужным производить тот опыт, о котором П. С. Эренфест в прошлый раз говорил. Этот опыт не имеет физического смысла потому, что формальное описание какого угодно физического явления должно быть возможно и с той, и с другой точки зрения. Далее я утверждаю, что, держась темы нашей беседы, нужно категорически ясно сказать, какова при современном состоянии знаний вероятная картина того, что про-

исходит в действительности. Я не понимаю, о чем можно еще говорить по вопросу о природе электрического тока.

Очень много есть интересных записок и вопросов, которые я как будто обязан прочесть, но я не в состоянии этого сделать сейчас, так как я должен слушать, что говорят другие ораторы. Я предлагаю поступить так. Мы эти записи отложим и в следующий раз поговорим, тем более, что здесь есть несколько вопросов, которые задал Я. И. Френкель на тему о том, чего я еще не говорил. Он мало говорил о том, о чем я говорил, как об основном. Отвлекаясь от основных, принципиальных вопросов, на которых необходимо сосредоточить внимание, мы дальше не можем сдвинуться с места. Желает ли Я. И. Френкель ясно ответить на мой основной вопрос о взаимодействии масс m_1 и m_2 или нет? Нельзя без этого ответа говорить на тему о природе физических явлений, а математическое описание не относится к теме. Я. И. Френкель указывал, что в теории электрона, как магнитного звена, я якобы противоречу теории поля. Когда Лоренцу было необходимо формально увязать действие на расстояние с Максвелловской теорией, он придумал запаздывающий потенциал. Почему же Я. И. Френкель утверждает, что мое представление об электроне противоречит теории поля, как будто она есть нечто окончательно неизменное? Как можно делать такое утверждение?

Я. И. ФРЕНКЕЛЬ.—Я, наоборот, старался, по возможности, излагать без всякой полемики и собственно недоумеваю почему В. Ф. Миткевич на меня взъелся; если, однако, он хочет полемизировать, то я буду полемизировать.

В. Ф. МИТКЕВИЧ. Только об этом в первую очередь нужно говорить. (Указывает на доску с рисунком 1).

Я. И. ФРЕНКЕЛЬ. Известно, что одним из наиболее решительных сторонников и апологетов теории эфира является Лодж и, именно, Лодж полагает, что эфир не только выполняет электромагнитные функции, но и функции духовные, служа тем агентом, который обеспечивает общение душ.

В. Ф. МИТКЕВИЧ. Я уйду, так как мы продолжаем отвлекаться от существа дела. Мы должны говорить прежде всего об этой части доски (рис. 1) и ни о чем больше другом.

Я. И. ФРЕНКЕЛЬ.—Я позволил себе этот полемический выпад только потому, что В. Ф. Миткевич чуть ли не обвиняет меня в спиритизме. Конечно, на самом деле в научной трактовке этого вопроса всякое представление, постороннее физике, нужно отбросить. Я очень подробно, как мне казалось, изложил те причины, почему непредставимость дальнодействия нельзя считать основанием против этой точки зрения. Анализ теории близкодействия, который я произвел, выявил ее связь с нашим антропоморфным представлением о дальнодействии и с макроскопической трактовкой материальных тел. Этот анализ был довольно убедителен.

В. Ф. МИТКЕВИЧ.—Абсолютно нет!

Я. И. ФРЕНКЕЛЬ. Я знаю, что есть вещи, которые..

В. Ф. МИТКЕВИЧ.—В дальнодействие некоторые верят, совершенно верно.

Я. И. ФРЕНКЕЛЬ. Когда-то я написал статью, в которой я сравнивал эволюцию учения об эфире с эволюцией учения о боже. Это курьезное сближение, которое на первый взгляд кажется совершенно диким, а затем оказывается весьма далеко идущим. Раньше физики допускали существование наряду с обычной материей, которая обладает одним лишь признаком весомости, других невесомых, которые представлялись причиной всех иных свойств тел, кроме свойств, связанных с тяготением. Таких невесомых «божественных» субстанций в физике было много. Эти божественные субстанции характеризуются невесомостью, подобно тому, как всякое божество—бессмертностью. Впоследствии все божественные субстанции были ниспровержнуты,—за исключением одной—мирового эфира, который всех их поглотил и заменил, подобно тому, как единый бог новейших религий поглотил и заменил сотни прежних богов.

Во времена Томсона и Максвелла эфир представлялся подлинным „вседержителем“ который „все собою наполняет, об‘емляет, зиждет, составляет“. Атомы обыкновенной материи рассматривались Томсоном, как вихри в эфире. Развитие электромагнитной теории привело, однако, к постепенной нейтрализации эфира, т. е. устраниению его от участия в физических явлениях и, наконец, к полному упразднению. Атеизмом в физике является теория относи-

тельности, которая непосредственно связана с упразднением эфира. Реальными являются те представления, которые соответствуют действительности, а неверными те, которые несоответственны действительности. Представление о дальнодействии является в известном смысле более простым, и как ни трудно к нему привыкнуть, привыкнуть к нему необходимо.

Я. Г. ДОРФМАН.—В. Ф. Миткевич привел пример двух действующих масс (рис. 1) и говорит, что тот метод анализа, который к этому примеру приводит Я. И. Френкель, спиритический. Разрешите сказать, как раз обратное. Мы имеем и реально наблюдаем некоторую массу одну и некоторую массу вторую, они находятся в пустоте и друг на друга действуют. Вот подходит Френкель и говорит: „очевидно, они действуют через пустоту, через ничто, которое там имеется, ибо у меня нет физического метода определить, что там что-то реальное, материальное действительно существует“. Затем к этому чертежу подходит Миткевич и говорит: „этого представления я понять не могу, оно мне в голову не лезет, и для того, чтобы это понять, я должен здесь создать „что-то“. Посмотрим, что же это „что-то“. Оказывается, что это „что-то“ невесомое, незнакомое, неощущимое, необоянное, оно лишено всякой сущности, всякого свойства материи. Тогда, простите, это будет дух. Даже Лодж, известный спирит физик, утверждает, что реальность эфира это есть реальность духов, и это есть логическое следствие из того, что говорит В. Ф. Миткевич. Эта теория сама приходит в конце концов к абсурду, вот именно в этом углу доски (рис. 1), ибо, если реально то, что говорит Миткевич, что на самом деле трубы, силовые линии превращаются в электроны, то тут наступает момент, который понять невозможно. Дело в том, что если в данном проводнике бежало 50 электронов и каждый электрон давал трубку, то число силовых линий определяется не системой единиц, какими мы измеряем поток, как это до сих пор думали в электродинамике, а реальным числом бегущих электронов, а тогда, следовательно, число этих линий дискретно, тогда между этими линиями пустое пространство. А что будет между этими силовыми линиями? Если я поставлю приборчик между этими дискретными силовыми линиями, то там не окажется поля. Факты говорят другое. Значит это следствие неверно. Значит получить дискретный электрон из непрерывного эфира невозможно. Теория непрерывного эфира не объясняет дискретности, царящей в современной физике. Дискретность силовых линий, введенная для исправления этого важного недочета, однако топит окончательно теорию. Писать уравнения здесь не имеет смысла потому, что давно было установлено, что обе теории математически идентичны, что эти уравнения не однозначные, что они соответствуют обеим физическим картинам. Писать уравнения не стоит, ибо для обеих картин можно найти одно и то же отображение. Весь вопрос, можно ли это математическое отображение какнибудь сохранить. Это математическое отображение упирается в необходимость предположения существования эфира, которое немыслимо из целого ряда приведенных данных. Следовательно, эту картину не стоит брать, не стоит брать и самое изображение того, что там есть. Стоит ли ее брать для расчета динамомашины, это дело другое. Очень может быть, что такой метод с красивым изображением крайне удобен, но то же самое говорить, что эта аудитория—поле действия Владимира Федоровича, и говорить, что Владимир Федорович не реален, а реально лишь поле его действия и построить силовые линии. Почему вы будете отрицать? Потому что другого серьезного способа обнаружить реально Миткевича здесь нет. Когда мы будем говорить о поле, что мы понимаем под словом поле? Поле есть слово, а что понимается под существованием самого слова „поле“? Поле есть область действия или, как говорят дипломаты, зона влияния. Это простое, на самом деле филологическое выражение. Нельзя думать, будто достаточно подставить под непонятный процесс простое слово поле. Что значит „поле“? Если мы идем по социалистическому пути, то никто не станет искать в дорожном справочнике его местоположение, ибо это есть выражение, слово—и ведь никакого социалистического пути нет реально на карте. Вот почему мне кажется, что теория Владимира Федоровича не есть теория, а есть, в конце концов, филология, которая крайне удобна для сравнительно грубых расчетов техники, но не разъясняет сущности процесса и не соответствует современному физике.

Д. А. РОЖАНСКИЙ.—Я не представляю, что можно сказать после тех блестящих речей, которые были сказаны

В. Ф. Миткевичем и Я. И. Френкелем. Обе эти речи слушала и аудитория с одинаковым вниманием и, я думаю, с одинаковым восхищением. Поэтому так же, как и прошлый раз, я позволю себе высказать преимущественно общее впечатление от этих речей. Оно иное, чем в прошлый раз, когда в полемической форме противники говорили о разных вещах и не хотели говорить о том же самом, и, казалось, что разница в их воззрениях колоссальна. Теперь ясно, что, по существу, можно согласиться и с тем, и с другим оратором. Ведь несомненно, что если бы Я. И. Френкель, экзаменуя кого-нибудь из присутствующих здесь студентов, услышал что-нибудь противоречащее тому, что излагал здесь В. Ф. Миткевич, то он признал бы этот ответ неудовлетворительным. Я думаю, что и Я. И. Френкель не станет это отрицать. Мне кажется также, что значительная часть того, что можно было сказать для примирения противников, сказано уже самим Я. И. Френкелем в его ответном слове. Ведь он допустил, что можно считать реальным многое из того, что как-будто он не признавал реальным в прошлый раз. Этим устанавливается мост между воззрениями Френкеля и Миткевича. По существу, конечно, и Миткевич и Френкель, когда говорят о фактах, пользуются почти одним и тем же языком и теми же понятиями. Если Френкель, иногда, несколько видоизменяет свой язык, то лишь потому, что ему приходится иметь дело с явлениями не макроскопическими, а микроскопическими. Что же касается макроскопических электромагнитных явлений, то, конечно, никто из нас и физиков и электротехников не будет расходиться в основном ни с Френкелем, ни с Миткевичем. Другой вопрос относительно той или иной математической трактовки предмета. Я позволяю себе говорить об удобстве формулировки математической, хотя я и не математик, так как я привык думать, что и для физика математический язык единственно общепонятный, такой, на котором может разговаривать и русский физик с английским или немецким, не рискуя быть им плохо понятым. На этом языке мы привыкли говорить между собой и, конечно, Миткевич не отказывается говорить на нем, когда это нужно. Есть, правда, вещи, с которыми не может согласиться Френкель, но которые Миткевич считает следствием своей теории. Но эти вещи являются уже не фактами, а теориями и теориями, которые не имеют настоящего фактического обоснования. В частности возбуждает сомнения теория происхождения электронов. Физики, занимающиеся электронами, эту часть теории Миткевича не могут разделить и будут считать, что в этой части та картина, которая здесь была изложена, противоречит тому, что нам известно о свойствах электрона. Я не буду останавливаться и доказывать это, так как об этом можно договориться только на математическом языке. Теперь относительно полезности и удобства метода силовых линий, который Миткевич здесь представил нам. Он является, иногда, убедительно изящным и остроумным, возбуждающим наше воображение, но, с моей точки зрения, может быть в силу привычек, которые у меня создались, не столь удобен, не столь привычен и не дает тех результатов, которые может дать теория электронная, основанная только отчасти на представлении поля. Те сложные соотношения, которые Миткевич так изящно здесь изложил, могут быть не менее просто сформулированы на языке электронной теории. В то же время я думаю, что в представлении о магнитных силовых линиях лежит много заблуждений и ловушек, в которых может запутаться человек, не искушенный в этих представлениях. Не имея того опыта в обращении с силовыми линиями, который имеется у Миткевича, я не решился бы оперировать с ними так, как Миткевич, потому что знаю, что, вероятно, пропущу какую-нибудь линию или обрывок линии. Мне кажется, что на почве электронной теории, рассматривая электромагнитное поле, которое создается движением электронов, я бы этих ошибок вероятно не сделал, по крайней мере в таком же количестве. Вот почему я считаю, что в некоторых случаях метод силовых линий может быть неудобен. Но, конечно, если этот метод кажется несколько искусственным и слишком сложным и более естественно, мне кажется, оперировать с электронами, как с первичным понятием, то это в значительной мере дело привычки.

Я еще хочу сказать в противовес тому, что здесь высказывалось и что можно было выслушать из речей, что существование поля, реального поля, для физиков есть вещь весьма несомненная, и мы связываем с представлением о поле представление об энергии электромагнитной, такой же реальной, как и материя. Все эти понятия об энергии, массе, материи связаны между собой, все эти понятия реальные, связанные с реальными явлениями, и ни в каком

случае не с понятием духа или спиритического действия, но все-таки они являются продуктом человеческой мысли, а во многих случаях и нашего воображения так же, как и те красивые образы, которые вызывались в нас речью Миткевича. Так как время позднее, разрешите на этом и закончить.

М. Л. ШИРВИНДТ.—Товарищи, я позволил себе принять участие в настоящем диспуте лишь потому, что до-кладчики, развивая свои взгляды на природу электрического тока, вынуждены были перейти к обсуждению вопросов, имеющих не только физический, но и философский смысл.

О чём спорят выступающие здесь товарищи? Не о формуллах, конечно, а об их смысле—о природе физической реальности.

Этот спор наглядно показывает, что физик вынужден обращаться к философии, когда он начинает размышлять над основами своей науки, ибо логический анализ научных понятий входит в задачи философии. Необходимость же подобного анализа вытекает из сущности физической теории.

Целью физического познания является об'ективация опыта. Путем рациональной переработки опыта, физик стремится преодолеть его суб'ективные моменты и сконструировать понятия, отражающие возможно более полно и правильно об'ективную реальность. Основные интеллектуальные средства об'ективации, которыми располагает физик, это математическая формула и модель¹⁾. Формула служит для выражения отношений; модель изображает соотносящиеся элементы. Вполне понятно, что построение физической теории завершается конструкцией модели, соответствующей определенным математическим формулам. С какими затруднениями встречается здесь физик, наглядно показывают современные теории материи. Для одних и тех же отношений конструируются самые различные модели, к сожалению, более остроумные, чем реальные. Замечание акад. Иоффе относительно ускользающего электрона является по существу хорошо обоснованной жалобой на отсутствие модели, удовлетворяющей экспериментальным и логическим требованиям.

Модель в известной степени имеет наглядный характер, поэтому возникают противоречия между „модельностью“ и „математичностью“. Указанное противоречие и является, по моему мнению, основной причиной спора между акад. Миткевичем и проф. Френкелем. Некоторые физики главное внимание обращают на математическую интерпретацию эксперимента. Естественно, что в пользу математики они жертвуют модельностью. Их модели—малокровные схемы, целиком подчиненные математическим формулам.

С другой стороны, физики-моделисты не прочь пожертвовать математической стройностью мира в пользу наглядности. Их цель построить чувственный, наглядный, не математический, а более экспериментальный образ действительности. Ценность модельных теорий в том, что они связывают мысль с ощущением и вещественностью. Ценность же физических теорий „математического“ типа—в подчеркивании моментов, образующих основу для выражения экспериментальных данных в математической форме.

Среди современных физиков—теоретиков сторонники модельности, вероятно, в меньшинстве. Понятно почему.

Для современной физической теории типично сочетание мощной и богатой математической формулы с беспомощной и бедной моделью. В связи с этим, спор между акад. Миткевичем и проф. Френкелем приобретает специфический гносеологический интерес. Акад. Миткевич предсталяет физическую материю в очень наглядной, чувственной „вещественной“ форме, наоборот, проф. Френкель разжигает ее вещественность, утверждая, что между двумя электронными массами нет материи в физическом смысле этого слова²⁾. Акад. Миткевич придает самим отношениям вещественную форму (Фарадеевские линии сил). Проф. Френкель фактически подчиняет вещественность отношениям. К этому по существу сводится спор о природе электромагнитного поля.

Должен сразу оговориться—представление акад. Миткевича о силовых линиях настолько наглядно и суб'ективно, что оно вряд ли соответствует реальности. В этом, как мне кажется, сила критики тов. Френкеля. Но все же я никак

¹⁾ Словом модель я хочу подчеркнуть об разность ряда физических понятий.

(Примечание М. Л. Ширвингта).

²⁾ Я не останавливаюсь здесь на вопросе о философском понятии материи, разработанном тов. Лениным в его книге „Материализм и Эмпириокритицизм“, ибо этот вопрос с достаточной полнотой освещена в прошлый раз тов. Горнштейн.

(Примечание М. Л. Ширвингта).

не могу согласиться с тов. Френкелем и Дорфманом. Поле, о котором здесь спорят, насколько я понимаю, почти не „вспахано“, но отсюда не следует, что оно „абсолютная“ пустота (хотя бы и в физическом смысле слова).

Электромагнитное поле обладает энергией, значит и массой, следовательно, материальные атрибуты у него имеются. Кроме того, электрон и поле соотносительные понятия, взаимно определяющие друг друга. Силу нельзя отделить от ее обнаружения. Говоря о поле, мы имеем в виду проявление силы электрона, поэтому превращение поля в пустоту фактически равносильно уничтожению электрона, как динамического понятия. Электрон при такой концепции становится математической фикцией, „несущественным“ моментом „существенного“ отношения. Совершенно другой вопрос, что электрон обладает особыми специфическими свойствами, по сравнению с полем. Это реальное различие не следует, однако, абсолютизировать и противополагать материю — пустоте. Формально-логическое разделение двух взаимно связанных моментов, входящих в понятие силы, именно внутреннего момента (центра сил) и внешнего — действия силы, приводит к противоположению „дальнодействия“ „близкодействию“. О силе массы m_1 (рис. 1) мы узнаем по действию, которое она оказывает на m_2 . Масса m_2 в свою очередь действует на m_1 . Налицо, следовательно, всегда взаимодействие. Если фиксировать внимание только на массах (m_1 и m_2), то, конечно, надо признать реальность поля, как области проявления силы¹⁾, надо ставить на точку зрения близкодействия. Спор акад. Миткевича и проф. Френкеля по данному вопросу обясняется, исключительно, метафизическим противопоставлением двух взаимно связанных моментов, образующих целостное единство.

Акад. Миткевич совершенно прав, когда настаивает на реальном существовании среды между двумя массами m и m_2 . Проф. Френкель, полагая, что среда должна обладать механическими свойствами, считает поле пустотой. Испугавшись воскресенья „классического“ эфира, проф. Френкель воскрешает Демокритову пустоту.

Но должна ли среда обязательно обладать механическими свойствами? Почему необходимо считать, что сила может передаваться только в форме механического движения? Не является ли само механическое движение лишь частной формой изменения, как это полагал Энгельс? Но тогда почему не считать, что между двумя массами m_1 и m_2 среда имеется; только место механического движения занимает здесь смена состояний.

Суммарно можно сказать, что спор между акад. Миткевичем и проф. Френкелем, по существу, результат формально логического отделения прерывности от непрерывности. Проф. Френкель признает только „перерывы“; непрерывность, по его мнению, гибнет в пустоте. Напротив, акад. Миткевич признает лишь непрерывность, в которой исчезает прерывное с его специфичностью.

А. А. ДОБИАШ.—Президиум предложил мне высказаться по затронутому вопросу. Хотя я и не считаю себя специалистом, при чем и аудитория, здесь собравшаяся, вряд ли знает меня, я повинуюсь приглашению президиума.

Я принадлежу к горячим сторонникам идей В. Ф. Миткевича. По моему представлению — развитие их приведет нас к давно жданному синтезу того тяжелого противоречия, которое подавляет современную физическую мысль уже почти 30 лет. Динамическое осмысление электрона в стиле Максвелловых идей — путь, аналогичный волновой механике. Но спор, ведущийся здесь, мне не совсем понятен. В. Ф. Миткевич обвиняет своего оппонента в формально-математическом отвлечении от физической природы явлений *et vice versa* противник его ставит ему в вину чрезмерную примитивно-материальную трактовку. И, действительно, у Максвелла, а с его легкой руки и у многих Максвеллистов — мы имеем попытку примитивно-материального понимания механизма электромагнитного поля. В одном издании трактата имеется глава с описанием модели, где при помощи зубчатых сцеплений осуществляются некоторые механические аналоги электромагнитного поля. Но это только — несколько страниц. Остальные 1500 страниц трактата насыщены идеями огромной общности и отвлеченности, допускающей множественную интерпретацию. Не является ли мысль об электроне с его спасательным кругом в лице запаздывающего потенциала — гораздо более примитивно-материальной идеей, чем сложная динамическая концепция

¹⁾ Об этом интересные рассуждения у Гегеля: 1. Феноменология Духа, стр. 60—65. Сила и игра сил. Внутреннее. 2. Наука логики. Вторая книга, гл. II В. (отд. II).

(Примечание М. Л. Ширвикита).

Максвелла? Прав-ли Миткевич, принимая брошенный ему упрек? Вопрос не в том, по моему, какая точка зрения имеет большее право на существование. Мы, воспитавшиеся в атмосфере Максвелло-Фараадеевых идей, не можем не приветствовать ренессанс этих идей. Вопрос только в том — удастся ли на этом пути получить формально верные результаты или нет?

П. С. ЭРЕНФЕСТ.—Никогда в Европе, никогда в Америке не могло бы случиться, чтобы 4 тысячи человеко-часов так усердно потратили бы на такой сложный вопрос, как это случилось здесь, и уже это очень притягивает меня к вам. Во-вторых, я удивительно многому научился в прошлый раз и сегодня, и от всех без исключения, которые здесь выступали. Не всегда я понимал, не всегда я охотно внутри соглашался, иногда я внутри себя протестовал, но это все равно, так как я решительно от всех учился, и потому я понимаю, почему вы согласились концентрировать на этом так много часов. Теперь вы наверное будете сердиться на меня, когда я скажу что хороший физик философствует очень редко и только, если ему уже не остается ничего другого, и если, не ошибаюсь, он это делает всегда чрезвычайно плохо. И вот этого то я и боюсь, прямо как огня. Поэтому, если вы требуете от меня, чтобы я вам что то сказал, то я прошу вас и философа по возможности дальше удалиться от этого угла (рис. 1). Вы прошлый раз меня дискредитировали и несколько моих приятелей меня называли типичным европейским соглашателем потому, что я старался сказать, что я не понимаю, в чем разница: по моему убеждению они (Миткевич и Френкель) говорят одинаково. Мне хочется как-то поправить это неблагоприятное впечатление и потому я буду сегодня антисоглашателем. Сейчас я буду концентрироваться на этом случае, который и вас заинтересует. Я надеюсь, что Миткевич в личном разговоре меня убедит, что то, что я скажу, неправильно. Вы (обращаешься к Миткевичу) ведь в самом деле об этом много думали. Я вероятно здесь ошибаюсь, но все же позволю себе высказаться потому, что к моей радости приблизительно 6 разных записок студентов, именно, концентрировались на этом вопросе, и я позволю себе об этом говорить, хотя и уверен, что вы правы. Для краткости разговора я скажу: вот это и есть то, где Миткевич и Френкель существенно расходятся, и, если не ошибаюсь, это расхождение при помощи опыта можно разрешить. Пять студенческих вопросов говорят об этом то же самое. Именно, я вам напомню, вы сказали, что если есть кольцевая зона вспышки и если в данном процессе (рис. 6) бежит ток, то мы видим, что здесь есть магнитное поле. Если мы согреем сверхпроводник, здесь мне все равно, есть ли эфир или его нет, то мы видим, что магнитное поле исчезает, сокращается и образуются электроны. А студенты спрашивают: а как заряд этого кольца увеличивается?

В. Ф. МИТКЕВИЧ.—Нет, не должен увеличиваться.

П. С. ЭРЕНФЕСТ.—Можно сказать и по другому. Вы говорите о распределении этих электрических силовых линий, что они приблизительно так идут (рис. 10). Эти линии замкнутые? А незамкнутые кончаются в центре, или там не кончаются? Я думаю, что вы согласитесь, что если мы не берем теорию послезавтрашнего дня, а возьмем теорию, которую можно найти в любой книге по электродинамике, то там нигде из движения магнитных силовых линий не выводится электрическое поле, электрические силовые линии которого в воздухе кончаются. Если мы возьмем просто и применим привычную теорию Максвелла, тогда получим, что дивергенция электрического поля в этом случае всегда равна нулю, и тогда не возникнут такие результаты, которые получили вы. Очень вероятно, что я ошибаюсь, но не хочу сегодня быть соглашателем.

П. Л. КАЛАНТАРОВ.—Я позволю себе сказать только несколько слов по вопросу, который затронул Я. Г. Дорфман, относительно дискретности магнитного поля. Он удивился возможности говорить о дискретности магнитного поля, так как до сих пор число магнитных линий определялось той произвольной системой единиц, в которой мы измеряли магнитный поток. А когда говорят о дискретности электрических зарядов, он не удивляется, хотя число, выражющее количество электричества, также зависит от той системы единицы, в которой это количество электричества измеряется.

Можно ли поместить между магнитными линиями какой-либо прибор, если магнитное поле дискретно? Это также трудно, как поместить палец между молекулами воды. С точки зрения В. Ф. Миткевича существуют, как кванты электричества — электроны, так и кванты магнитного

потока и эти последние и суть электроны по представлению В. Ф. Миткевича.

ИНЖ. А. В. ТРАМБИЦКИЙ.—Прошу извинения у уважаемых ученых диспутантов. Я не физик, и не философ, а электротехник; может быть, поэтому высказанные прения мне кажутся такими отвлечеными, почти метафизическими. Право, если бы они велись еще на латинском языке, то можно было бы, слушая, представить себя сидящим в средневековом университете.

Мы, рядовые слушатели, не физики и не философы, привлеченные темой диспута, пришли сюда, желая услышать, что же такое по современным воззрениям представляет из себя электрический ток. И вот, после двух вечеров, посвященных этому вопросу, мы уходим без всякого ответа. Странно, что мы почти ничего не услышали об электронах. Позвольте спросить: во-первых—состоит ли электричество из электронов, или нет, во-вторых—электрический ток есть движение электронов или нет, и в-третьих—в виде чего мыслится сейчас электрон? Нельзя ли ответить на это просто без всякой метафизики? Или быть может раньше нужно спросить: да реален ли вообще электрон? Вот я держу в руке шапку, от которой падает на столе тень. Попробуйте тень схватить или убрать с места; этого не сделаешь, так как тень есть просто отсутствие освещенности. И, однако, она реально существует. Так вот мне начинает казаться, что электрон (по крайней мере, судя по прослушанным прениям) становится теперь даже менее реальным, чем эта тень.

Несомненно, каждое слово академика А. Ф. Иоффе для нас, слушателей, полно веса и значения. И вот от него мы услышали, что электрон, который мыслился раньше в виде „твердого шарика“, мало-по-малу в представлении ученых „начал сливаться с окружающим пространством, а теперь и вовсе растворился в пространстве“. Но, позвольте, тогда, значит, электрон стал менее реальным, чем эта тень. Конечно, вопроса о сущности электрона не обойти ни физикам, ни философам, говорящим о природе электрического тока.

Вероятно, и даже очевидно, что в этой области сейчас много противоречивого. Надо тогда так сгруппировать факты, чтобы из одних можно было вывести одну, из других—другую, из третьих—третью теорию. Изложив их в простейшем виде, например, так, как это сделал В. Ф. Миткевич, можно потом подвергнуть их обсуждению и критике. Нам слушателям это все же что нибудь дало бы. Что же делать, приходится мириться с тем, что по этому важнейшему вопросу все еще есть несколько теорий. Но ведь даже относительно простейших фактов, как будто, нет единомыслия. В. Ф. Миткевич совершенно ясно, хотя несколько вскользь, сказал, что „мы всегда имеем дело только с движущимися электронами“, а Я. И. Френкель говорил о покоящихся электронах, создающих вокруг себя стационарное электрическое поле. Ведь если я возьму опять вот эту шапку и наэлектризую ее трением, то будут же на ней свободные, находящиеся в покое, электроны?

Пусть В. Ф. Миткевич разрешит мне, как работнику в области трансформаторов, привести маленький пример из этой области, пример, противоречащий основным положениям В. Ф. Миткевича. Представим себе очень мощный и очень высоковольтный трансформатор; один конец высоковольтной обмотки его заземлен, другой же поднят высоко в верхние слои атмосферы, на огромном выводном изоляторе. Вдбавок (для лучшего рассеяния электронов) разведем на конце вывода костер. Спустившись оттуда, включим трансформатор. В высоковольтной обмотке появится ток, который можно будет даже измерить; наверху благодаря пламени костра, электроны будут рассеиваться во все стороны и многие из них никогда на землю не вернутся. Вот пример совершенно незамкнутого электрического тока.

Извинившись еще раз перед уважаемыми ораторами, я все же позволю себе закончить анекдотом это свое выступление. Дело в том, что когда представитель философии полагал, что „если масса m_1 , действует на массу m_2 , значит между ними что то есть“, то право это прозвучало так, как когда говорят „между ним и между нею что то

есть“; однако утверждение это было оживленно приветствовано В. Ф. Миткевичем, усмотревшим в этом констатирование чего-то, реально существующего в пространстве между обеими взаимодействующими массами.

Я. И. ФРЕНКЕЛЬ.—Не моя вина, что мне пришлось говорить не о природе электрического тока, а о философских представлениях, которые с явлениями могут быть тесно связаны. Я очень жалею, что не мог изложить конкретное представление о природе электрического тока; оно чрезвычайно ясно, и я думаю, в высокой степени удовлетворило бы представителей электрической практики. Если оперировать электронами и исходить из реальности существования электрического потока, то магнитное поле может при этом совершенно не входить в наши рассуждения, и мы можем ограничиться только рассмотрением движения электронов и действия их друг на друга. Позвольте мне сказать несколько слов к разъяснению тех разногласий, которые здесь были между мною и В. Ф. Миткевичем. Мне кажется, что среди ораторов, выступавших после нас, преобладали соглашательские тенденции, они хотели замазать эти разногласия. Я позволю снова подчеркнуть, что В. Ф. Миткевич отнюдь не ограничивается той формальной теорией, которая по его мнению эквивалентна теории электронов, действующих друг на друга на расстоянии. Нет, он, во-первых, не хочет отказаться от материальной среды, как субстрата, носителя этого поля. Поступательное движение электрона вытекает из тех представлений В. Ф. Миткевича, что магнитное поле есть поле вихревого движения материальной среды и замалчивать этого нельзя. Если В. Ф. Миткевич избегает слова эфир, то он все время о нем думает. Ему нужна не „философская материя“, заполняющая пространство, которая удовлетворяет т. Ширвингта, ему нужна материя физическая.

Здесь говорилось, что я являюсь представителем формального математического направления в физике, которое тесно связано с формулами, а В. Ф. Миткевич является представителем физики наглядных представлений или моделей. Разрешите сказать, что дело обстоит как раз наоборот. Именно, я исхожу из реальности материи, как совокупности электронов, которые действуют друг на друга на расстоянии. Правда, не мгновенно, но с запаздыванием; это трудно себе представить потому, что мы к этому не привыкли. Поработайте над этим вопросом и вы увидите, что в запаздывающем дальнодействии нет ничего неприятного, что с ним весьма легко освоиться. Я считаю, что теория запаздывающего дальнодействия, которая развилась из Максвелловской теории, что это чисто механическая теория, тогда как теория, которую защищает В. Ф. Миткевич,—это теория не механическая, а метафизическая. В этой теории движущимися объектами являются магнитные силовые линии. Я не вижу уравнений, которыми можно было бы определить закон движения этих магнитных силовых линий. Я утверждаю, что построить уравнения, описывающие движение отдельных силовых линий, Миткевич не может потому, что в теории электромагнитного поля таких уравнений нет.

В. Ф. МИТКЕВИЧ.—Я в последний раз буду только об этом говорить (обращаясь к Я. И. Френкелю и указывает на рис. 1). Может ли масса m_1 действовать на массу m_2 без того, чтобы какой либо физический агент проникал через замкнутую поверхность S ? Здесь может быть либо да, либо нет! Я. И. Френкель слишком много говорил, но от прямого ответа на мой вопрос он уклонился. Больше в виду позднего времени я ничего не скажу.

М. А. ШАТЕЛЕН (председатель).—Мы вероятно выйдем отсюда несколько неудовлетворенными в том смысле, что едва-ли нам здесь, в аудитории, удастся решить тот вопрос, над которым работает весь мир. Нам станет только яснее та разница, которая существует во взглядах В. Ф. Миткевича и Я. И. Френкеля, и я совершенно согласен, что ее не следует замалчивать. Я надеюсь, что в следующей нашей беседе В. Ф. Миткевич и Я. И. Френкель еще больше высажут разницу в своих взглядах, и мы выйдем из этой беседы, совершенно твердо и ясно понимая, в чем эта разница заключается.

Замеченные опечатки в стенограмме первой беседы на тему „Природа Электрического Тока“.
„Электричество“, № 3, 1930 г.).

Стр.	Столб.	Строка	Напечатано	Должно быть
1.	128	2	8 сверху	движущаяся
2.	128	2	18 "	открывавший
3.	130	1	23 "	$\frac{d\Phi}{dt} \neq 0$
4.	131	2	26 "	потеряя
5.	134	1	6 "	новое
				должно быть
				движущаяся
				открывший
				$\frac{d\Phi}{dt} \neq \text{Const}$
				понятиям
				всё

Опечатки исправлены

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Журнал основан в 1880 году Электротехническим (VI) Отделом Русского Технического Общества

Адрес Редакции и Конторы:

I. МОСКВА, Ильинка, Ильинский пер., д. 2,
помещ. 12, 1-й этаж. Телефоны: редакции 72-46,
конторы 1-57-19

II. ЛЕНИНГРАД, Проспект 25 октября,
д. 6, кв. 7. Тел. 5-90-08.

Орган Всесоюзного Электротехнического Объединения, Всесоюзного Объединения Энергетического Хозяйства, Всесоюзных Электротехнических Съездов, Центрального Электротехнического Совета, Научно-Технического О-ва Электротехников и Русского Электротехнического Комитета МЭК.

Май 1930 г.

№ 10

Май 1930 г.

Содержание

Третья беседа на тему «Природа Электрического Тока»
Инж. П. М. Егоров — Применение номограмм для расчета проходных изоляторов конденсаторного типа
Инж. В. В. Ауз — Способы регулировки напряжения и некоторые виды защиты трансформаторов в высоковольтных сетях районных станций
Инж. И. Н. Мельч-Пашаев — Гидроэлектрическая силовая установка на реке Рион на участке Албанской Петли

425	Бюллетень „Энергоцентра“ № 46 (№ 6 1930 г.)	451
436	Из книг и журналов	455
440	Хроника	464
447	Стандарты	470
	Библиография	481
	Kurzgefasste Wiedergabe des Heftinhaltes	482
	БЮЛЛЕТЕНЬ АКЦ. О-ва ЭЛЕКТРОИМПОРТ	
	Метрополитен-Викерс — Устройство для регулирования напряжения трансформаторов под нагрузкой	53

ПРИРОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Третья беседа на тему „Природа электрического тока“, состоявшаяся 14 марта 1930 г.

THE NATURE OF ELECTRIC CURRENT

(3-rd Discussion; held in the Polytechnical Institute of Leningrad, on the 14-th of March 1930).

М. А. ШАТЕЛЕН. Товарищи, позвольте открыть нашу беседу. Сегодня—последний раз, что мы собираемся, чтобы поговорить на тему о „Природе электрического тока“. Я думаю, что мы сегодня используем наш вечер для того, чтобы по возможности выяснить для себя до конца взгляды наших товарищей именно на суть природы электрического тока, может быть не на математические выражения, которые так или иначе могут выразить представления, но именно на суть представлений. И вот, позвольте, исходя из этого, наметить нам так наш вечер. Прошлый раз из-за позднего времени В. Ф. Миткевичу не удалось закончить изложение своих мыслей, поэтому я думаю, что может быть мы дадим ему сегодня сказать то, что ему хотелось нам сказать. Затем вечер принадлежит Я. И. Френкелю, и он изложит свою точку зрения.

В. Ф. МИТКЕВИЧ. Я буду очень краток для того, чтобы дать Я. И. Френкелю время изложить физическое содержание его представлений о природе электрического тока. Я хочу подвести итоги того, что выяснилось в связи с моими выступлениями на двух предыдущих беседах. Речь идет, как М. А. Шатлен подчеркнул, о „природе“ электрического тока, а не об электрическом токе вообще. Следовательно, к теме беседы имеют отношение отнюдь не математические методы описания электрического тока, а именно только наши физические представления об электрическом токе. Математические соотношения интересны для нас лишь постольку, поскольку они дают материал для суждения о том,

что в действительности происходит. Анализируя наши общие физические представления и стремясь осветить основу этих представлений, я в прошлый раз дошел до простейшего случая, до такого примера, который в высокой степени просто выявляет физическую состоятельность различных возможных точек зрения. Я имею в виду случай взаимодействия двух каких-либо физических центров. Иллюстрируя физические взгляды Ньютона, я говорил о двух тяготеющих массах. Совершенно так же, конечно, обстоит дело и в случае взаимодействия двух, например, электрических зарядов. Представим себе электрический заряд q_1 , электрический заряд q_2 и некоторую замкнутую поверхность S , окружающую со всех сторон заряд q_1 (рис. 1). В прошлый раз я поставил вопрос, который могу сейчас сформулировать применительно к электрическим зарядам. Вопрос заключается в следующем: может ли электрический заряд q_1 взаимодействовать с зарядом q_2

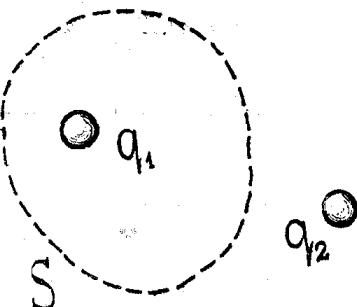


Рис. 1.

без того, чтобы какой-либо физический агент проникал сквозь замкнутую поверхность S ? Вот тот вопрос, который я поставил и который имеет весьма существенное значение при обсуждении всего, что касается природы электрического тока. Необходимо совершенно ясно и четко сказать „да“ или „нет“. Либо „да“, либо „нет“. Либо то, либо другое. Середины не может быть!

Подвожу теперь итог того, что выяснилось во время предыдущих бесед. Я самым решительным образом утверждал, что мы должны категорически отрицать возможность ответа „да“ и говорить только „НЕТ“. С этим ответом связано определенное физическое мировоззрение. Если не может иметь места взаимодействие между q_1 и q_2 без того, чтобы некоторый физический агент проникал сквозь замкнутую поверхность, значит какой-то промежуточный агент есть. Как его мыслить, это совершенно другой вопрос. Можно себе представить, например, что из зарядов q_1 и q_2 вылетают какие-то особенные физические кванты. Можно представлять себе это как угодно иначе. Мне кажется, лучше всего стоять на точке зрения Фарадея-Максвелла и мыслить некоторую промежуточную среду, представляющую собою основной физический фон, на котором развиваются все электромагнитные процессы. Но так или иначе, имеется физический посредник между этими двумя зарядами q_1 и q_2 .

Я. Г. Дорфман в прошлый раз выступил с совершенно определенным ответом на поставленный мною вопрос и сказал „ДА!“ Он откровенно и смело утверждал, что именно полным абсурдом является мысль о физическом посреднике между взаимодействующими на расстоянии центрами. Я. И. Френкель не счел возможным дать прямой ответ на принципиальный вопрос, касающийся взаимодействия двух физических центров (рис. 1), но он так много говорил в защиту точки зрения действия на расстоянии, что я, конечно, не рисую ошибиться, если скажу, что он также рассуждает, как и Я. Г. Дорфман, т. е. что он так же считает абсурдом предположение, будто физические центры не могут взаимодействовать на расстоянии через пустоту, в полном смысле этого слова, без физического посредника. Таким образом, ответом Я. И. Френкеля на поставленный мною вопрос надо признать определенное „ДА“.

Итак, мы имеем две совершенно определенные исходные точки зрения: точка зрения Фарадея-Максвелла и точка зрения *actio in distans*. Это—противостоящие в нашем споре исходные физические взгляды. Я указывал, что, рассматривая вопрос о природе электрического тока и исходя из Фарадеевских основных взглядов об участии промежуточной среды—физической первоосновы, на фоне которой проявляются электромагнитные процессы, можно различными способами (рис. 2) пытаться построить

ных линиях. Можно далее говорить об электронной теории, учитывающей промежуточную среду. Это будет самая законная электронная теория, которая должна являться тем, о чем говорил А. Ф. Иоффе, т. е. дальнейшим развитием и углублением Фарадеевской теории. Наконец, может быть, современем будет создана некоторая теория „Х“, которая даст более полную и стройную картину того, что происходит в действительности в случае электрического тока. Но так или иначе все это представляет собою возможные пути развития Фарадеевской точки зрения. С другой стороны, можно построить наше представление о природе электрического тока, исходя из точки зрения *actio in distans* (рис. 2). Здесь можно говорить об электронной теории, не учитывающей промежуточной среды. Можно, наконец, представить себе, что появится некоторая новая теория, исходящая из *actio in distans*. Назовем ее теорией „У“. Вот, собственно говоря, общая схема нашего спора. Я все время пытался свести то, что говорилось, в плоскость данной схемы, полагая, что в этом суть дела. Может показаться, что наш спор бесплоден. Я полагаю, однако, что в нашем споре был большой физический смысл и что в сумме было сказано не мало ценного. Это дало возможность заострить нашу мысль и, если не окончательно разрешить вопрос о природе тока, то во всяком случае продвинуть вперед анализ всего того, что имеет самое непосредственное отношение к вопросу о природе тока.

Я. И. ФРЕНКЕЛЬ. Я испытываю некоторое затруднение в выборе темы для сегодняшнего выступления. Формальной темой нашего собеседования является электрический ток.

В. Ф. МИТКЕВИЧ. Природа электрического тока!

Я. И. ФРЕНКЕЛЬ. Природа электрического тока является скорее ширмой для тех дискуссий, которые на самом деле имели здесь место. Речь идет не о природе электрического тока. В. Ф. Миткевич не упоминал о природе электрического тока. Речь идет о природе электромагнитных явлений вообще, и центральным вопросом В. Ф. является вопрос о том, считать ли эти электромагнитные явления проектирующими в пустоте, как действия на расстоянии между отдельными частицами, или трактовать их, как протекающие в некоторой промежуточной среде, наполняющей весь мир. С одной стороны, тема оказывается значительно шире вопроса о природе электрического тока, с другой стороны, оказывается значительно уже,—ибо хотя нужно говорить об электромагнитных явлениях, но только лишь с точки зрения представления о близкодействии или дальнодействии. Это-то обстоятельство и весьма затрудняет мое положение. Прошлый раз я кажется довольно просто, хотя быть может и недостаточно убедительно, изложил свою точку зрения на теорию близкодействия. Именно, анализируя представление о действии через промежуточную среду, я пытался доказать, что оно представляет собой не что иное, как замаскированное дальнодействие, потому что среда эта является на самом деле не сплошной, а состоящей из отдельных частиц, между которыми находится пустота; таким образом, близкодействие сводится к дальнодействию между частицами среды. Таков был основной результат анализа представления о близкодействии. Учитывая этот результат, учитывая невозможность избавиться от дальнодействия и не находя удовлетворения в замене дальнодействия на больших расстояниях дальнодействием на малых расстояниях, я сделал вывод, что лучше сразу стать на точку зрения дальнодействия и не затуманивать это дальнодействие введением какой-либо промежуточной среды, для допущения реального существования которой у нас нет непосредственных оснований. Я не хотел бы повторяться сейчас, и поэтому я ограничусь следующим: во-первых, я попытаюсь еще раз дать краткую критику теории близкодействия, а затем я постараюсь набросать в общих чертах ту картину электромагнитных явлений, и в особенностях электрического тока, которая получается с моей точки зрения, с точки зрения, отвергающей полезность и необходимость промежуточной среды.

Уже прошлый раз я говорил, что всякое „понимание“ является относительным, что процесс понимания можно сравнивать с процессом решения уравнения, когда одна величина, которую мы называем неизвестной, выражается через другую величину, которую мы считаем известной; когда же мы, однако, пытаемся эту яко бы „известную“ величину выразить через что-либо другое, то мы оказываемся в тупике, потому что она не может быть сведена к чему-нибудь другому. Мы сводим более сложное к менее сложному, а это менее сложное остается непонятным,—

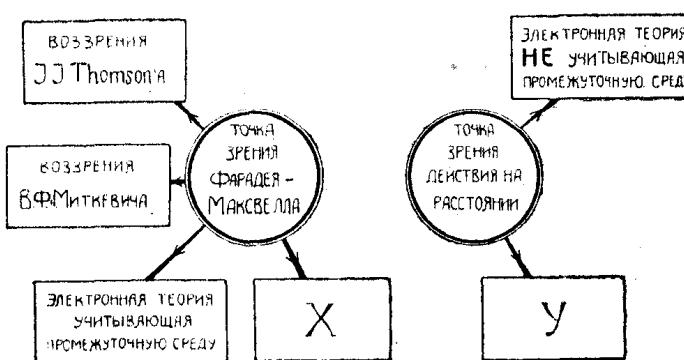


Рис. 2

вероятную картину того, что происходит в действительности. Я упоминал о воззрениях Дж. Дж. Томсона, о картине, в основу которой кладутся физически существующие Фарадеевские трубы электрического смещения. Это—стройная картина, которая многое красиво обясняет. Мне представляется, однако, что в ряде случаев не все легко обяснить. Поэтому я пытаюсь построить другую картину и при этом исхожу из представления о реально существующих магнитных линиях. Это мне кажется особенно интересным, потому что Фарадей, который сам говорил в начале об электрических „physical lines of force“, к концу своей деятельности, после тщательного анализа всего того, что им было открыто, склонялся к преимущественному значению идеи о реально существующих магнит-

с этим приходится мириться. Дальнодействие представляет собой нечто непонятное. Эта непонятность, однако, вовсе не является доказательством против физической допустимости этого представления. Если эта точка зрения удобна, если она дает возможность просто описывать физические явления, то нам нет надобности отвергать ее, считать, что она недостаточно наглядна, что мы не можем себе представить явления соответственно этой точке зрения. Точка зрения промежуточной среды либо сводится к этому самому дальнодействию, если среда представляет собой совокупность отдельных частиц; если же среду представлять себе сплошной, как это иногда делают, то мы становимся в положение не лучшее, а худшее чем то, в котором находится точка зрения действия на расстоянии. Сплошной материальной среды мы не знаем. Всякое материальное тело, которое мы знаем в природе, состоит из отдельных частиц и представить себе сплошную среду на самом деле невозможно, потому что для такого рода представления у нас нет примера в реально известном нам мире. Вопрос здесь не в том, насколько мы легко можем себе представить или понять те основные предпосылки, на которых строится и из которых исходит учение об электромагнетизме; вопрос в том, насколько замкнута и проста картина, которая развивается на основе этого представления. Я полагаю, что картина, которая получается на основе представления об электронах, действующих друг на друга на расстоянии помимо промежуточной среды, является действительно наиболее простой картиной электромагнитных процессов. Электронная теория развилаась из электромагнитной теории Максвелла, и первое время сохраняла представление об эфире, как носителе электромагнитных явлений. Однако, у завершителя электронной теории, Лоренца, роль эфира свелась просто-напросто к тому, чтобы служить неподвижной координатной системой, по отношению которой можно было бы описывать движение электронов. Понятие эфира в теории Лоренца совершенно лишилось всякого физического содержания, оно представляет собой пустой звук и ни в какой мере не способствует обяснению физических или электромагнитных процессов. Эфир Лоренца не принимает участия в движении электронов, он играет ту же роль, как неподвижное пространство Ньютона играет в механике Ньютона. Эфир был просто-напросто обозначением покоя и больше ничего. Поэтому, переход от эфира к пустому пространству в электронной теории осуществляется совершенно безболезненно. Выводы электронной теории никако не меняются из-за устранения эфира. Единственное изменение, которое при этом возникло, это изменение в наших представлениях и при том изменение к лучшему в смысле упрощения нашей картины мира. Наша картина электромагнитных явлений до этого времени затуманивалась представлением об эфире, который не был нужен. С устранением эфира картина электромагнитных явлений свелась к движению и взаимодействию электронов через пустоту. Когда В. Ф. Миткевич говорит о „механизме“ электромагнитных явлений, он имеет в виду сведение законов этих явлений к механике промежуточной среды, т. е. к законам движения и взаимодействия частиц этой промежуточной среды. Когда, отрицая это представление, мы становимся на точку зрения теории дальнодействия, мы все же можем говорить о „механизме“ электромагнитных явлений, но в другом смысле, имея в виду не механику какой-то гипотетической среды, а механику самих электронов. Таким образом, вопрос о механике электромагнитных явлений сводится к вопросу о законах взаимодействия и движения этих электронов. Разрешите мне сначала вкратце нарисовать контур этой электронной теории, электронной механики, а затем применить картину электронной теории к явлению электрического тока. Основной вопрос, который встает перед нами при разработке электронной теории, это—вопрос о взаимодействии и движении электронов, совершенно так же, как это имеет место в обычной механике. Механика начинается с рассмотрения законов движения и взаимодействия материальных точек. При этом она приписывает материальным точкам массу, а также те или иные свойства, определяемые действиями, которые они оказывают друг на друга. В механике небесных тел этим динамическим свойством является та же масса. Здесь масса выступает в двойкой роли: как инерция, характеризующая движение под действием данной силы, и как свойство, характеризующее испытываемую силу. Точно так же, рассматривая произвольную систему частиц, механика на ряду с массой, как инерцией этих частиц, вводит обязательно другое свойство, хотя часто и не формулирует ясно этого свойства, именно свойство, характеризующее взаимодействие. Электро-

тронная теория фиксирует определенным образом это свойство частиц. Свойство частиц, определяющее их взаимодействие—это электрический заряд. Заряд элементарных частиц материи является столь же неотъемлемым их свойством, как и их масса. Каждая элементарная материальная частица характеризуется двумя свойствами: массой, определяющей ее движение под действием данной силы, и зарядом, определяющим силу, которую она испытывает со стороны других частиц. Мы различаем два вида электронов—положительные и отрицательные.

Основной вопрос при построении электронной теории заключается в том, каково взаимодействие между разными электронами. Вопрос этот может быть решен двумя способами. Положим, мы имеем электрон № 1 и электрон № 2. Вопрос о взаимодействии между этими электронами можно решить так. Задана сила, которую электрон № 2 испытывает со стороны электрона № 1. Это будет непосредственное описание взаимодействия. Или мы можем поступить иначе. Мы можем ввести некоторое вспомогательное понятие поля, которое создается, скажем, электроном № 1, даже в отсутствии электрона № 2, и которым определяется действие, испытываемое электроном № 2 в данной точке. В случае тех взаимодействий, которые рассматривает классическая механика, механика Ньютона, введение поля не является особенно целесообразным. Действие сводится в этом случае к силе взаимного притяжения, обратно пропорциональной квадрату расстояния. Мы можем эту силу, рассчитанную на единицу массы, определить как поле, создаваемое другой массой, но введение этого понятия поля для измерения силы, которая действует в данное время на данную массу, не является особенно необходимым. То же самое можно сказать относительно электростатического поля, которое вводят для характеристики взаимодействия двух неподвижных зарядов. Взаимодействие двух неподвижных зарядов, согласно закону Кулона, представляет собой взаимное отталкивание или притяжение, которое пропорционально произведению обоих зарядов и обратно пропорционально квадрату их взаимного расстояния. Эта сила может быть представлена формулой

$$f = \frac{e_1 e_2}{r^2}.$$

Мы можем ввести поле, которое создает первый заряд и которое равняется величине этого заряда, деленной на квадрат расстояния до рассматриваемой точки: $\frac{e}{r^2}$, независимо от того, находится ли в ней какой-либо другой заряд. Помножая это поле на величину второго заряда, мы получаем силу, которую он испытывает со стороны первого. Когда я впервые стал знакомиться с электрическими явлениями, мне казалось лишним введение представления о поле, мне казалось очевидным, что единственная величина, которую нужно знать—это есть сила взаимодействия; понятие же поля, это понятие вспомогательное. В дальнейшем, мы привыкли пользоваться этим понятием и соответственно этому изменили наше отношение к нему. Это своеобразное влияние привычки на наши представления всем нам известно из собственного опыта. Понятие, которое при первоначальном введении его кажется нам искусственным, нереальным, с течением времени, после того, как мы к нему привыкаем, начинаем часто им пользоваться, приобретает окраску непосредственной реальности. Примеров такого рода реализации понятий путем привычки к ним, можно привести очень много. Многие из вас при знакомстве с каким-нибудь новым отделом физики испытывали неприятное ощущение, что физики строят какие-то искусственные математические понятия, которым приписываются объективная реальность. Например, понятие энтропии при изучении термодинамики кажется вначале искусственной конструкцией и может быть для многих из вас навсегда сохраняет этот характер. Такими же искусственными кажутся вначале и многие другие понятия, с которыми в дальнейшем мы свыкаемся, считая их непосредственной реальностью. Рассмотрим, например, понятие работы. Исходным понятием является сила. Силу мы считаем непосредственно реальным представлением. Затем мы вводим представление о работе силы, определяя ее как произведение силы на пройденный путь. Работа, определяемая таким образом, кажется вначале простой математической конструкцией. Затем однако мы привыкаем к этому понятию, и оно начинает казаться нам столь же реальным, как и сила. Можете сказать то же самое о других таких же понятиях, как, например, кинетическая или потенциальная энергия и т. д. Такого рода привычки мы имеем и в случае понятия об электри-

ческом поле. Введение понятия о поле в электромагнетизме имеет большее значение, чем, скажем, в классической механике, по двум причинам. Во-первых потому, что взаимодействие, испытываемое какими-либо электронами, и вообще какими либо наэлектризованными частицами, зависит не только от их положения, но и от скорости. При движении наэлектризованной частицы, наряду с электрической силой появляется вторая сила, которая пропорциональна скорости и перпендикулярна к ней. Эта сила называется магнитной или электромагнитной силой, действующей на движущийся заряд. Подобно тому, как сила электростатическая, действуя на неподвижный заряд, характеризуется путем умножения заряда на некоторую вспомогательную величину, называемую полем, электромагнитная сила точно так же характеризуется произведением заряда и скорости на вспомогательную величину, которая называется магнитным полем. Если вы вспомните те ваши переживания, которыми сопровождалось первоначальное усвоение понятия электромагнитного поля, то вы наверное согласитесь, что это понятие казалось вам вначале несколько искусственным. Затем вы к нему привыкли, оно оказалось очень удобным и приобрело характер непосредственной реальности, как и те силы, для расчета которых оно служит. В электромагнетизме понятие поля приобретает особенное удобство потому, что электромагнитные процессы передаются от одного тела к другому не мгновенно, а с конечной скоростью. Многим из нас и в частности В. Ф. Миткевичу представление о передаче силы через пустоту с конечной скоростью кажется, если не абсурдным, то немыслимым. Это представление кажется чем то метафизическим, к чему нельзя привыкнуть, с чем нельзя согласиться. Здесь, как и в других случаях, все дело в привычке. Действие одного заряда на другой на самом деле передается с конечной скоростью. Вы можете попытаться для иллюстрации этого процесса ввести промежуточную среду или можете обойтись без этой промежуточной среды. Факт остается фактом. Введение промежуточной среды не представляется целесообразным, потому что, как я указывал раньше, с помощью этой среды мы вовсе не устраним действия на расстоянии, а лишь заменим запаздывающее дальнодействие дальнодействием, протекающим мгновенно на коротких расстояниях от одной частицы среды к соседним. Нам остается, таким образом, лишь преклониться перед фактом запаздывающего дальнодействия и, просто напросто, к этому факту привыкнуть. Тот, кто к этому факту привыкнет, не испытывает ни малейшего затруднения от того, что с этим фактом ему придется оперировать.

То обстоятельство, что электромагнитные действия передаются от одного электрона к другим с конечной скоростью, делает особенно понятным и полезным представление об электромагнитном поле. Сила, которую заряд № 2 испытывает в данном месте и в данное время со стороны заряда № 1, определяется положением и движением заряда № 1 не в том месте, где он находится в это самое время, а в том месте, где он находился в некоторый предшествующий момент времени. Принимая во внимание запаздывающий характер передачи электромагнитных сил, является удобным разделить действие, испытываемое данным электроном на часть, зависящую от первого электрона, и часть, зависящую от второго электрона. Часть, зависящая от первого электрона — это активная часть взаимодействия, другая часть — пассивная. Активная часть взаимодействия характеризуется полем, которое создается первым электроном. При этом нет надобности связывать это представление о поле, существующем вокруг электрона, с каким-либо физическим агентом, материальной средой. Вопрос В. Ф. Миткевича о том, следует ли считать, что вокруг первого электрона имеется нечто, наполняющее все пространство и проходящее через поверхность, которая отделяет его от второго электрона или нет, — с этой точки зрения, не имеет значения. Конечно, вы можете, введя понятие поля, сказать, что между первым и вторым электронами имеется это поле, силовые линии которого проходят через поверхность раздела, но вы можете, с другой стороны, сказать, что поле это не является существенно необходимым для описания взаимодействия. Здесь не может быть никакой физической проблемы, здесь вопрос об удобстве описания — будем ли мы описывать действие непосредственно или с помощью представления о поле. Иное дело, когда ставят себе вопрос о том, существует ли это поле в пустоте, или же оно связано с какой-нибудь материальной средой. На этот вопрос можно дать совершенно определенный ответ. С моей точки зрения — ответ отрицательный: никакой промежуточной среды, с которой это поле было бы связано, никакого

материального носителя поля не существует. Мы имеем пустое пространство, в которое вкраплены отдельные электроны, действующие друг на друга на расстоянии. Это дальнодействие можно описать с помощью электромагнитного поля. Для того, чтобы еще раз подчеркнуть чисто вспомогательный характер электромагнитного поля, я приведу еще пример из механики. Описание движения какой-либо частицы вокруг другой частицы может быть целиком осуществлено, если мы будем пользоваться двумя только понятиями, понятием силы и понятием движения. Но мы можем ввести еще ряд других понятий, например, кинетическую и потенциальную энергию, понятие момента количества движения и т. д. Если вы спросите меня существует ли реально кинетическая энергия, т. е. величина, измеряющая произведенiem $\frac{1}{2} mv^2$, то я отвечу, что она существует, поскольку вы ее выдумали, также как существуют музыкальные и литературные произведения, являющиеся продуктом человеческого творчества. Она является вспомогательным представлением, которым вы пользуетесь для описания движения. Можно пойти дальше и спросить: существует ли реально сила? Здесь мы доходим до основных наших представлений и здесь мы вынуждены остановиться именно на этом пункте. Может быть мы когда-нибудь пойдем и дальше, но при описании движения в качестве исходного представления всего естественного пользоваться представлением о движении и о силе. Эти представления мы вынуждены считать непосредственно существующими, а все остальные величины можно трактовать, как нашу собственную математическую конструкцию. В таком же смысле и электромагнитное поле является математической конструкцией, которой можно с удобством пользоваться при описании взаимодействия разных электронов.

Законы электромагнетизма в применении к двум электронам могут быть формулированы следующим образом. Мы, во-первых, вводим понятие электрического и магнитного поля E_1 и H_1 , создаваемого первым электроном. Затем, вводим заряд e_2 и скорость v_2 , электрона № 2. Они определяют силу f , которую электрон № 2 испытывает в этом электромагнитном поле, по форме имеющей приблизительно следующий вид

$$f = e_2 E_1 + e_2 v_2 H_1.$$

Поле E_1 и H_1 определяется движением первого электрона и основная задача электромагнетизма заключается в том, чтобы определить эти поля E_1 и H_1 , через положение и скорость первого электрона. Эта задача может быть решена двояко. С одной стороны, мы имеем систему дифференциальных уравнений, связывающих быстроту изменения электрического и магнитного поля в пространстве и во времени с плотностью электрического тока и заряда. Это так называемые уравнения Максвелла и Лоренца. С другой стороны, мы имеем готовое решение этих уравнений, которое дает возможность представить поле через величину заряда, его положение, скорость и, наконец, производную от скорости по времени (т. е. ускорение). Эти два представления совершенно эквивалентны. Основные результаты, которые получаются при анализе уравнений Максвелла или их решений, заключаются в следующем. Мы имеем часть

электрического поля $E^1 = \frac{e}{r^2}$, хорошо нам знакомое Кулоново поле, которое обратно пропорционально квадрату расстояния и прямо пропорционально заряду $e = e_1$. Вторая часть $E'' = \frac{ev}{r}$ пропорциональна ускорению w электрона и обратно пропорциональна первой степени расстояния. Магнитное поле, создаваемое электро-

ном, также слагается из двух частей. Первая $H^1 = \frac{ev}{r^2}$ пропорциональна заряду и скорости, деленной на квадрат расстояния, это после Био-Саваровского типа, а вторая

часть $H'' = \frac{ew}{r}$ пропорциональна заряду и ускорению и обратно пропорциональна первой степени расстояния. Векторы E'' и H'' численно равны и взаимно перпендикулярны. Это поле определяется положением и скоростью создающего его электрона не в рассматриваемый момент времени, но в некоторый предшествующий момент, настолько предшествующий, чтобы действие как раз успело бы передаться от исходной точки к той точке, где определяется поле. Этим, однако, задача электронной теории еще не решается. Электронная теория — это есть, как я в самом начале указывал,

механика электронов. Она представляет собой учение, состоящее из двух частей—из первой части, относящейся к силе взаимодействия между электронами, и второй части, определяющей движение электронов под действием данной силы. До сравнительно недавнего времени полагалось, что движение электронов происходит, согласно закону Ньютона, т.е. произведение из массы электрона на его ускорение равняется действующей на него силе. В последнее время, вернее лет 25—30 тому назад, стала выясняться неудовлетворительность этого представления и теория относительности Эйнштейна и Лоренца дала новые уравнения движения, которые приводят к тому результату, что электрон не может двигаться со скоростью превышающей скорость распространения электромагнитных действий, т.е. скорость света. Я не могу утомлять вас дальнейшей разработкой этого вопроса. Я должен лишь вкратце остановиться еще на вопросе об электромагнитной энергии.

Я уже указывал, что в механике понятие энергии является математической конструкцией, вначале кажущейся искусственной, но впоследствии, после того, как мы к ней достаточно привыкли, утрачивающей впечатление этой искусственности, так что в конце концов мы начинаем трактовать энергию, как нечто непосредственно-реальное, столь же реальное, как сила и движение. Энергия слагается из потенциальной и кинетической. Потенциальная энергия определяется положением частиц и характеризует силы их взаимодействия или работу этих сил; той же работой характеризуется и кинетическая энергия частиц, непосредственно определяемая их скоростью. В механике электронов обычное определение потенциальной энергии невозможно, потому что сила, испытываемая каждым электроном, зависит от положения другого электрона не в тот же момент времени, а в некоторый предшествующий момент. Если мы учитываем это запаздывание электромагнитного действия, то тогда введение понятия потенциальной энергии, которая представляет собой функцию одновременного положения частиц, не имеет смысла. Желая сохранить понятие энергии, мы вынуждены в электронной теории радикально преобразовать те математические выражения, которые эту энергию определяют. При определении энергии системы электронов мы, также, как и в обычной механике, должны исходить из понятия работы. Работа есть произведение силы на пройденный путь. Мы составляем выражение для работы электромагнитных сил за единицу времени. В это выражение входит поле в данном месте и плотность электрического тока, выраженная через производную по координатам и по времени от слагающих электрического и магнитного поля, связанного с этим током. Мы получаем при этом возможность построить новое понятие энергии, соответствующее электромагнитной теории. Это новое понятие определяется так: полная энергия есть сумма квадратов электрического и магнитного напряжений в данном месте, деленная на 8π и помноженная на элемент объема, причем это выражение должно быть проинтегрировано по всему пространству.

Желая ввести энергию как величину, изменением которой определялась бы работа, мы получаем в механике электронов, в электромагнетизме, новую своеобразную величину, которая связана не непосредственно с самими электронами, а с создаваемым ими полем. Таким образом, электромагнитное поле получает новую функцию и притом весьма важную, связанную с тем, что при помощи ее мы можем определить электромагнитную энергию

$$W = \int \frac{E^2 + H^2}{8\pi} dV,$$

изменением которой определяется работа электрических и магнитных сил. Впрочем магнитные силы работы не производят, так как они перпендикулярны к скорости, так что в качестве рабочих сил остаются лишь силы электрические.

По поводу предыдущего выражения для энергии W я хочу сделать одно замечание. Представьте себе, что речь идет об энергии двух покоящихся электронов. Согласно формуле

$$W = \int \frac{E^2 + H^2}{8\pi} dV,$$

энергия эта является существенно-положительной величиной. Между тем, мы знаем, что взаимная потенциальная энергия двух покоящихся электронов может быть выражена, как произведение их зарядов, деленное на расстояние, при чем она оказывается положительной, если электроны имеют одинаковые заряды, и отрицательной

в случае зарядов противоположного знака. Я должен подчеркнуть, что возможность представить потенциальную энергию двух электронов в обычной форме, (т. е. функцию их взаимного расстояния) имеется только в том случае, если электроны покоятся, так как при этом явление запаздывания не играет роли. В этом случае оба представления потенциальной энергии в виде

$$\epsilon_1 \epsilon_2 \text{ и } \int \frac{E^2}{8\pi} dV$$

должны были бы быть эквивалентными. Между тем они не вполне эквивалентны, так как второе выражение всегда положительно, а первое может быть как положительным, так и отрицательным. Это различие обясняется тем, что при расчете энергии в форме

$$\int \frac{E^2}{8\pi} dV,$$

мы учитываем не только взаимную энергию обеих частиц, но и собственную энергию каждой частицы в отдельности. Каждую частицу можно себе представить, как совокупность множества маленьких элементов, заполняющих некоторое пространство. Полная энергия составляет не только суммой выражений вида

$$de_1 \cdot de_2$$

для элементов, принадлежащих разным электронам, но и для элементов, образующих тот же самый электрон. Последняя же энергия (каждого электрона на самого себя) всегда больше взаимной энергии разных электронов. Вот почему у нас получается всегда положительный заряд для электрической энергии в интегральном ее представлении.

Электронная теория в этом пункте натыкается на очень существенное затруднение. Затруднение это заключается в вопросе о том, протяжен ли электрон или нет. Если мы хотим пользоваться интегральным представлением энергии, то мы должны рассматривать электрон, как имеющий определенное протяжение в пространстве, определенный "радиус", и должны тогда учитывать не только взаимодействие между разными электронами, но должны вводить в рассмотрение взаимодействие между элементами одного и того же электрона. В случае покоящегося электрона это взаимодействие может быть характеризовано некоторой электростатической энергией. Все элементы одного и того же электрона стремятся оттолкнуть друг друга; электроны стремятся "взорваться", но по какой-то причине не взрываются, а остаются в неприкосновенности.

В случае, если электрон движется, он создает, наряду с электрическим полем, магнитное поле, энергия которого, будучи пропорциональна квадрату магнитного поля,—пропорциональна квадрату скорости. Эту магнитную энергию, создаваемую электронами, можно рассматривать, как кинетическую энергию и таким образом обяснить происхождение массы электронов. Масса электрона с этой точки зрения оказывается не некоторым фундаментальным свойством его, а вытекает из его заряда и геометрических размеров. Если считать, что масса электрона чисто электромагнитного происхождения, что сила инерции, которую электрон испытывает, когда движется ускоренно, зависит от действия одних его элементов на другие, то тогда понятие электромагнитной энергии оказывается особенно плодотворным, так как электромагнитная энергия целиком поглощает при этом энергию механическую (кинетическую) и подчиняется закону сохранения энергии. Общее количество электромагнитной энергии во всем мире остается постоянным. Если отказаться от представления, что масса электромагнитного происхождения, тогда придется бы отказаться и от закона сохранения электромагнитной энергии и от возможности самого определения ее, как величины, непосредственно связанной с результирующим полем. Я отмечаю эту трудность теории электронов, связанной с вопросом об их протяженности или непротяженности.

После этих общих соображений насчет принципов и конструкции электронной теории я перейду к краткому обзору применения электронной теории к конкретным электромагнитным процессам, обусловленным движением электричества в металлическом проводнике. Для меня вопрос о природе электрического тока не является проблемой. Электрический ток есть простое движение электричества, т.е. другими словами, движение наэлектризованных частиц,

ибо электричество должно быть всегда связано с элементарными материальными частицами и представляет собой основное их свойство. В случае металла этими называемыми частицами, образующими своим движением электрический ток, являются электроны, так что вопрос о природе электрического тока в металлическом проводнике получает чрезвычайно простой ответ. В этом случае электрический ток есть не что иное, как движение электронов и больше ничего. В других случаях мы имеем более сложный механизм электрического тока, например, в случае прохождения его в электролите или разряда в газе. Электрический разряд переносится не только электронами, но и ионами, как положительными, так и отрицательными, т. е. атомами потерявшими или захватившими электроны. Никаких иных явлений, заслуживающих название электрический ток—не существует.

То обстоятельство, что магнитное поле может быть связано не только с движением электронов, но и с переменным электрическим полем,—это обстоятельство никакого значения для определения электрического тока не имеет. Из уравнений электронной теории следует, что наличие переменного электрического поля при отсутствии электрического тока, т. е. движения электронов, связано с наличием кольцевого магнитного поля, его охватывающего, а переменное магнитное поле связано с электрическим кольцевым полем, его охватывающим. Мы склонны считать в первом случае электрическое поле „причиной“ магнитного, а во втором—магнитное причиной электрического. В действительности, то и другое вызываются одной и той же общей причиной—электронами. Назвать переменное электрическое поле „электрическим током“, или „причиной“ магнитного поля по моему мнению нет никакого основания. Электрический ток, как я уже говорил, есть поток наэлектризованных частиц, а в случае металла—поток электронов, движущихся в металле.

То обстоятельство, что электрический ток в металле является переносом электронов, в настоящее время вряд ли вызывает какое-либо сомнение. Я напомню только о двух опытах, которые позволяют непосредственно убедиться я том, что носителем тока в металле являются электроны. Это прежде всего явление испарения электронов или, так называемый, Ричардсоновский эффект. Если раскальть металл, то электроны, будучи менее прочно связаны, чем атомы или ионы, легче испаряются, подобно тому, как спирт при нагревании водки улетучивается быстрее воды. При нагревании металла из него испаряются электроны и это испарение образует электрический ток в окружающем металл вакууме, например, в катодной лампе. Этим электронным потоком, выступающим из металлической среды и проходящим через пустое пространство, пользуются в радиотехнике для генерации колебаний, их выпрямления и других целей.

Другой опыт, который следует отметить, это опыт Тольмэна, позволяющий обнаружить не заряд электронов в металле, а их массу. Если металлическое кольцо привести в быстрое вращение и затем резко остановить, то электроны будут продолжать двигаться весьма краткий промежуток времени по инерции. А так как электроны обладают отрицательным зарядом, то это движение соответствует току, текущему в кольце в сторону, противоположную его первоначальному вращению. Такого рода ток был констатирован Тольмэном. Из величины его можно было определить отношение заряда электронов к их массе, при чем получился такой же результат, как и для электронов, свободно несущихся в пустоте. Я считаю нужным напомнить об этих двух явлениях в доказательство того, что электрический ток в металле переносится электронами. Не думаю, чтобы этот анализ мог быть кем-либо оспариваем. Если В. Ф. Миткевич ставит вопрос о природе электрического тока, то только в связи с иным определением того, что такое электрический ток. В. Ф. понимает под этим все то, что вызывает магнитное поле, а так как магнитное поле всегда сопутствует изменению электрического поля во времени, то В. Ф. называет последнее электрическим током. Это обозначение имеет свое историческое основание в Максвелловском представлении о „токе смещения“, состоящем в движении частиц эфира; но, отказавшись от эфира, мы в случае изменения электрического поля никакого движения в соответствующем месте не должны себе представлять, так что понятие „тока смещения“ утрачивает свой непосредственный смысл. В конце-концов это вопрос терминологии. Можно назвать электрическим током сумму обычного тока и тока смещения, но я не вижу никакого удобства от такого определения, потому что оно приводит

к смешению двух различных понятий. Настоящий электрический ток может вызывать не только магнитное поле, но и Джоулеево тепло, разложение электролита, зарядку аккумулятора, в то время как ток смещения подобных эффектов не вызывает по вполне понятной причине. Здесь, может быть, следует отметить, что разница в терминологии связана с разницей в основных представлениях. Для меня основная реальность в электромагнитных явлениях—это электроны. Электромагнитные явления связаны с движением и взаимодействием электронов. Природа состоит только из электронов отрицательных и положительных. Все процессы природы сводятся к их движению и взаимодействию. В. Ф. представляет себе электромагнитное поле, как первичную реальность, связанную со средой, через которую происходит действие электронов одного на другого. Я же сохраняю только представление об электронах, как элементарных частицах материи, и поэтому мало интересую темы полями, которые они создают, поскольку эти поля не существенны для описания взаимодействия между ними. С точки зрения электронной теории кольцевое магнитное поле, охватывающее проводник с током, обусловливается, просто напросто, движением электронов в этом проводнике и определяется приведенной мной выше формулой

$$H = \frac{e v}{r^2}$$

(закон Био-Савара). Далее при помощи формулы $f = e v H$ для силы, испытываемой движущимся электроном, можно вычислить силу, которую испытывает ток, образующийся множеством двигающихся электронов. Если мы имеем два тока, которые можно считать параллельными и текущими в одну и ту же сторону, то между ними происходит притяжение. Притяжение обыкновенно описывается таким образом, что один ток создает магнитное поле, линии которого охватывают, как кольца, второй ток и притягивают его к первому. Магнитное поле может быть, однако, легко исключено из рассмотрения. Оба тока образуются электронами, двигающимися с одинаковой скоростью $v_1 = v_2$ и непосредственно действующими друг на друга с силой

$$f = e_1 e_2 r_2 H_1 = \frac{e_1 e_2 r_1 r_2}{r^2}$$

пропорциональной их зарядам и скоростям и обратно пропорциональной квадрату расстояния. Если электроны движутся в противоположные стороны, то вместо притяжения мы получаем отталкивание. Что касается Кулоновской силы отталкивания между одноименными электронами, то она компенсируется притяжением, оказываемым положительными ионами в проводниках.

Более сложно обстоит дело в случае переменного тока и в частности в случае индукционных токов. Мы различаем два случая индукции. Первый случай соответствует движению проводника в магнитном поле, создаваемом неподвижным током или магнитом. Положим мы имеем какой-то электрический ток № 1, создающий магнитное поле, и замкнутый контур № 2, который в этом поле движется поступательно или вращательно. С точки зрения электронной теории, индуцирующая в нем электродвижущая сила объясняется на основе представления о силе $f = e_2 v_2 H$, которую испытывают при своем движении вместе с контуром находящиеся в нем электроны. В сущности говоря, речь идет о взаимодействии между движущимися электронами в первом и втором контуре. Когда провод № 2 неподвижен, взаимодействие равно нулю.

Совершенно иначе понимается индукционное действие в том случае, когда второй проводник неподвижен, а имеется переменный ток в первом проводнике. Сила тока первого проводника определяется быстрой движения электронов. Изменение силы тока в первом проводнике обозначает неравномерное движение электронов, т. е. наличие ускорения, но ускоренное движение электронов создает добавочное электрическое поле

$$E'' = \frac{e w}{r'}$$

Это добавочное электрическое поле, вызванное ускоренным движением электронов, и образует индукционную электродвижущую силу, которая вызывает ток во втором проводнике. Следует отметить одно затруднение, связанное с изложенным представлением. Оно заключается в относительном характере скорости. В конце-концов индукционные действия, которые мы только что рассматривали, зависят от относительного движения обоих проводников. Может-

но с одинаковым успехом считать первый неподвижным, а второй движущимся, или наоборот, и соответственно этому описывать происхождение индукционной электродвижущей силы по первой или второй схеме. Это затруднение в электронной теории было преодолено Эйнштейном. Эйнштейн вскрыл относительный характер не только скорости, но и ряда других физических величин, которые мы раньше были склонны трактовать, как абсолютные. В первоначальной теории Лоренца фигурирует эфир, как некоторая «абсолютно неподвижная» координатная система, по отношению к которой и определяется «истинная» скорость электрона. Упразднение эфира подорвало представление о существовании «истинной» скорости. Исходя из этого принципа, Эйнштейн формулировал свою теорию относительности, которая дала возможность чрезвычайно остроумно обединить представления, на первый взгляд кажущиеся различными. Например, покой и движение, электрическое и магнитное поле и т. д. Я не имею возможности говорить здесь о теории относительности, я хочу только указать, что завершение электронной теории и связанного с ней представления о заиздывающем дальнодействии получилось именно благодаря теории относительности. Введение заиздывающего дальнодействия вместо дальнодействия мгновенного привело к радикальному преобразованию понятия об одновременности. Раньше, когда предполагалось, что действие, исходящее от одной какой-либо частицы, охватывает мгновенно, т. е. одновременно, все пространство, можно было мыслить одновременность, как нечто абсолютное; когда же стали на точку зрения заиздывающего дальнодействия, то оказались вынужденными рассматривать время, как нечто относительное.

С точки зрения В. Ф. Миткевича, исчезновение электрического тока в металлическом проводнике и связанного с этим током магнитного поля, при отсутствии электродвижущей силы, обясняется «сокращением магнитных звеньев до молекулярного размера», при чем эти сокращенные звенья В. Ф. пытаются трактовать, как сами электроны. С точки зрения электронной теории подобное представление совершенно недопустимо, потому что основной исходной постулат электронной теории — это неизменность, нерушимость самих электронов. Магнитное поле также, как и электрическое поле, являются взаимодействием между электронами, и представление о том, что магнитное поле переходит в электроны, не имеет физического смысла, потому что оно означает, что взаимодействие между электронами, сила, которую электроны оказывают друг на друга, превращается в сами электроны. Исчезновение магнитного поля вне проводника при уменьшении силы тока связано с нагреванием проводника. Нагревание проводника обусловливается увеличением энергии теплового движения, движения, в котором принимают участие электроны. Если кинетическую энергию электрона трактовать, как магнитную энергию, то можно сказать, что при исчезновении электрического тока, магнитная энергия не исчезает, только магнитное поле, первоначально бывшее упорядоченным, представлявшее собой кольцевое поле, окружающее проводник, превращается в беспорядочное магнитное поле микроскопических размеров, окружающее отдельные электроны. Что же касается механизма нагревания, обусловленного электрическим током, то с точки зрения электронной теории он представляется в высшей степени просто. Электрон передвигается в металле не свободно, но испытывая взаимодействие с атомами этого металла, а это взаимодействие эквивалентно некоторому роду трения, тормозящему электроны и противодействующему электрическому полю, которое пытается их разогнать.

Та энергия, которую они приобретают, превращается при столкновении их с атомами в кинетическую энергию последних, т. е. теплоту. Джоулево тепло, выделяющееся в металле, есть признак того трения, которое испытывают электроны при своем движении в металле.

В сущности говоря, можно было бы на этом и закончить. Я хочу только под конец отметить еще одно чрезвычайно важное электромагнитное явление, которое к электрическому току не имеет отношения, но о котором умолчать нельзя — это явление световых или радио-волн. Световые волны и радио-волны ничем друг от друга не отличаются, кроме длины и частоты колебания. Развитие теории эфира было тесно связано с представлением о том, что световые волны суть волнообразное движение, распространяющееся в эфире, и до сих пор еще среди радио-техников весьма распространено представление о том, что радио волны суть волны в эфире. С точки зрения элек-

тронной теории распространение электромагнитного поля или радио-волн интерпретируется следующим образом. Положим, что мы имеем антенну, в которой происходят электрические колебания, т. е. в которой имеется переменный электрический ток. В окружающем пространстве появляются тогда электрические и магнитные силы, колеблющиеся синхронно с движением электрических зарядов в данном проводнике. Этот колебательный процесс вокруг антенны отнюдь не является колебательным движением. Колебательное движение имеется только в самой антенне. Это движение вызывает в окружающем пространстве колеблющие силы. При наличии другой «приемной» антенны эти силы вызывают ответное колебательное движение электронов в ней, при чем это вторичное колебание происходит синхронно с первичным, но с определенной, пропорциональной расстоянию, разностью фаз. В промежуточном пространстве никакого колебательного движения не происходит. То обстоятельство, что этот колебательный процесс передается волнообразно, объясняется запаздыванием в передаче электромагнитных сил. Величина электрического и магнитного поля E , H , которое образуется этими «волнами», пропорциональна ускорению электронов (в первой антенне) и обратно пропорциональна первой степени расстояния ее до второй. На больших расстояниях это электромагнитное поле гораздо больше, чем поле E , H , зависящее от положения и скорости электронов. Таким образом, вы видите, что с точки зрения теории дальнодействия световые колебания, точно так же как и электромагнитные, если и не обясняются, то описываются чрезвычайно просто, как колебания электрической и магнитной силы, вызванной колебательным движением заряженных частиц в более или менее удаленных телах. То обстоятельство, что световые колебания обусловливаются колебательным движением электронов в материальных телах, является непосредственным доказательством наличия электричества во всяком нейтральном теле. Универсальность электричества, наличие его во всех частичках материи, непосредственно обнаруживается в видимости этих частиц, ибо эта видимость обозначает не что иное, как наличие в этих частицах колебательного движения электронов. Итак, вы видите, что теория дальнодействия в той форме, которую она получила в электронной теории, является, в сущности говоря, не чем иным, как обобщением и улучшением классической механики. Электронная теория, так же как и классическая механика, оперирует материальными частицами, это есть механика материальных частиц, основными свойствами которых являются масса и электрический заряд. В отличие от классической механики, электронная механика полагает, что эти силы передаются в пространстве с конечной скоростью. Всякое более сложное явление, протекающее в материальных телах, «обясняется» ю в том смысле, что сводится к общим законам движения и взаимодействия электронов.

Тов. СИЛИНОВ выступает от ячейки «Воинствующих марксистов - диалектиков» Лгр. Политехнического Института¹⁾.

В. Ф. МИТКЕВИЧ. Разрешите обратиться к предыдущему оратору — философу. Вы были в начале сегодняшней дискуссии. Вы слышали мой вопрос, относящийся к рисунку 1. Мне просто интересно знать Ваш ответ: «да» или «нет»?

Тов. СИЛИНОВ. Я считаю, что электромагнитное поле является реальностью.

В. Ф. МИТКЕВИЧ. Таким образом, Вы отвечаете: «НЕ Т». (Записывает на доске ответ тов. Силинова в ряду других ответов: своего, Я. Г. Дорфмана и Я. И. Френкеля). Я скажу теперь несколько слов по поводу очень интересного доклада Я. И. Френкеля. Во-первых, я констатирую тот факт, что с точки зрения Якова Ильича проводниковый электрический ток не есть непрерывный, сплошной физический процесс, как это можно мыслить, но представляет собою лишь комбинацию, так сказать, точечных токов. В тех местах, где есть электроны, есть изолированные точечные токи. В других местах ничего нет. Это — комбинация совершенно обособленных точечных токов. Повидимому, это безусловно так?

¹⁾ Ввиду того, что тов. Силиновым исправленного текста стенограммы его выступления в редакцию не представлено, редакция, дабы не задерживать печатания третьей беседы, помещает последнюю без выступления тов. Силинова. Редакция надеется поместить эту стенограмму в одном из ближайших номеров «Электричества», немедленно по получении ее от тов. Силинова.

Я. И. ФРЕНКЕЛЬ. Так.

В. Ф. МИТКЕВИЧ. Меня очень смущает некоторая недомолвка Я. И. Френкеля. Он не увязал своей мысли, касающейся энергии электромагнитного поля, с тем утверждением, которое он по существу делает относительно моего основного вопроса (рис. 1). По Я. И. Френкелю, вне электрона ничего нет, абсолютно пустое пространство! Предположим, что мы имеем какой-то контур проводника, по которому течет ток. Здесь движутся электроны. Согласимся на время с Я. И. Френкелем, что это и есть реальный процесс тока. Допустим далее, что вокруг проводника абсолютная пустота и что следовательно никакого физического процесса в этой пустоте нет.

Я. И. ФРЕНКЕЛЬ. Никакого процесса движения!

В. Ф. МИТКЕВИЧ. Ничего нет! Абсолютная пустота. Нет никакого реального физического процесса! В таком случае я задам вопрос: где находится электрокинетическая энергия этого тока? Хотя Я. И. Френкель и говорит об объемном интегрировании для получения электромагнитной энергии, но по его мнению это лишь удобный математический прием. Если вне проводника с током нет никакого реального физического процесса, следовательно, по Я. И. Френкелю электрокинетическая энергия тока находится внутри проводника. Это вытекает из общих утверждений Я. И. Френкеля, начиная от этого „Д А“ (показывает на доску, где выписаны ответы на вопрос, относящийся к рисунку 1). Итак, по Я. И. Френкелю энергия тока находится внутри проводника, а в пространстве, окружающем проводник, ничего нет! Теперь представим себе какую-либо передачу электрической энергии на большое расстояние. Я спрошу: где течет энергия, передающаяся вдоль этой линии передачи? Напоминаю: проводник в абсолютной пустоте, где ничего нет. Я. И. Френкель, очевидно, полагает, что энергия течет внутри проводника. Ничего иного нельзя себе представить с его точки зрения. Здесь кроется глубокое недоразумение и явная недоговоренность со стороны Я. И. Френкеля. Он говорил, правда, что физик должен сделать над собою усилие и привыкнуть к точке зрения *actio in distans*. Сделаем допущение, что для обычного случая, для проводника нормального, можно как-то „привыкнуть“ к точке зрения Я. И. Френкеля. Но что будет, если мы возьмем сверхпроводящую линию? Предположим, что передается энергия переменного тока. Во всех точках внутри сверхпроводника *H* является константой. Никакого переменного магнитного поля не будет во всех точках внутри проводника. Как же это энергия переменного тока течет внутри проводника? Не могу понять! Какая-то неувязка в физических представлениях Я. И. Френкеля о природе электрического тока. Впечатление такое, что ему хочется пользоваться Фарадеем-Максвелловскими представлениями, но он не считает возможным это открыто признать. Иначе никак невозможно объяснить то, что говорит Я. И. Френкель. Наконец, позволю себе задать еще вопрос. Если мы имеем два тока i_1 и i_2 , через что осуществляется физическое взаимодействие, механическое или индуктивное, между двумя контурами тока? Я даю известный всем присутствующим ответ. Я. И. Френкель дает такой ответ: „Без участия какого-либо промежуточного физического агента“. Ни через что! Верно?

Я. И. ФРЕНКЕЛЬ. Верно.

В. Ф. МИТКЕВИЧ. Я констатирую факт. Я, пожалуй, могу этим и ограничиться. Еще только маленькое замечание по поводу того, что Я. И. Френкель говорил о некоторых приемах математического описания, как об очень „удобных“ и потому, якобы, могущих лежать в основание наших физических представлений. Я думаю, что это недостаточный критерий для того, чтобы этими математическими приемами пользоваться при описании вероятной картины того, что происходит в действительности. Математически это удобно, а физического смысла в этом нет! Тут необходим другой критерий. Пока этим ограничусь.

М. А. ШАТЕЛЕН. Прислали записку, в которой просят И. В. Мещерского высказать нам свой взгляд по вопросу о дальнодействии и близкодействии.

И. В. МЕЩЕРСКИЙ. Трудно в немногих словах сказать о том, как стоит вопрос о дальнодействии и близкодействии в настоящее время: вопрос этот насчитывает уже, несколько столетий.

Сейчас Я. И. Френкель указал те противоречия, которые заключаются в понятии близкодействия и, конечно,

он имеет основание утверждать, что вообще „близкодействие есть дальнодействие на малом расстоянии“.

Все-таки мне представляется, что при выяснении процесса дальнодействия нам могла бы несколько помочь идея удара: именно если мы будем рассматривать этот процесс, как результат ряда последовательных ударов тех частиц, которые образуют среду. Конечно, и в этом случае можно говорить о дальнодействии на малом расстоянии, но мне думается, что в акте ударов мы имеем нечто, более примиряющее нас с теми явлениями, которые мы наблюдаем, в частности с тем „запаздыванием“, о котором говорил Я. И. Френкель.

Когда речь идет о дальнодействии, я вспоминаю из области механики исследования Бьеркнеса: он рассматривал взаимодействие колеблющихся или пульсирующих шаров, помещенных в жидкости; и математический анализ, и опыты показали, что взаимодействие двух таких шаров, когда их радиусы малы сравнительно с взаимным расстоянием, дает силы взаимного притяжения (или отталкивания в зависимости от фаз) и притом силы, обратно пропорциональные квадрату расстояния; эти силы являются, как результат гидродинамического давления окружающей жидкости, а, опуская из вида среду, мы рассматривали бы их, как дальнодействия.

Указанные исследования не дают нам полного удовлетворения, так как в математическом выражении величины силы взаимодействия имеются добавочные члены, хотя и весьма малые сравнительно с первым членом, выражающим закон Ньютона; затем взаимодействие весьма усложняется, когда мы будем рассматривать перемещение шаров в жидкости; тем не менее картина взаимодействия, аналогичного силам всемирного тяготения, как результат участия окружающей среды, нас привлекает своей конкретностью.

Как математик и как механик, я принимаю то, что говорит Я. И. Френкель; конечно, имея некоторые предисловия, вытекающие из наблюдений, мы устанавливаем различные понятия, оперируя затем этими понятиями, получаем различные математические выражения и уравнения, которые дают нам весьма важные результаты, в частности, и в области физики; но те картины процесса, которые излагает В. Ф. Миткевич, нас в высшей степени привлекают,—они вызывают новые мысли, новые опыты, и в области того же математического анализа приводят к новым соотношениям.

В данном случае, когда идет речь о природе электрического тока, я далек от темы беседы, но должен сказать, что не могу стать целиком ни на точку зрения Я. И. Френкеля, ни на точку зрения В. Ф. Миткевича; мне думается, что этов две стороны одного и того же представления: подходим ли мы к интересующему нас вопросу с помощью математического анализа, или с помощью физической картины явления,—тот и другой путь нам одинаково ценен, так как и тот, и другой приближают нас к познанию истины.

В. Ф. МИТКЕВИЧ. Я в прошлом своем выступлении не договорил и И. В. Мещерского мне напомнил об этом. Я, конечно, ни в малейшей степени и не думал, формулируя свой вопрос, относящийся к рисунку 1, говорить, что здесь речь идет о больших расстояниях. Какое угодно расстояние! В частности, сколь угодно малое расстояние! Физик никогда не может ответить „да“, а математик это может сказать. Я очень благодарен И. В. Мещерскому за то, что он указал на возможность обяснения близкодействия на малых расстояниях при помощи явления удара. Возможно, что здесь дело сводится именно к „ударам“ между какими-то электромагнитными квантами, которые и являются в совокупности физическим посредником, обусловливающим взаимодействие физических центров. Можно себе представить в случае электрических и магнитных взаимодействий нечто подобное тому, что мы имеем при передаче звука. Не знаю, как думает Я. И. Френкель. Если я говорю, а Вы, Яков Ильич, воспринимаете звук, это есть дальнодействие или близкодействие? Промежуточная среда участвует или нет, или в этом случае мы имеем действие на расстоянии? Это „дальнодействие“, я полагаю, можно свести к представлению об „ударах“ малых частиц. Если, наконец, предположим, что мы встретились с Вами на дуэли, обмен пулями есть близкодействие или дальнодействие?

Я. И. ФРЕНКЕЛЬ. В конце-концов—дальнодействие!

В. Ф. МИТКЕВИЧ. Физический агент, физический посредник в данном случае известен, он проникает сквозь некоторую поверхность, разделяющую нас. Есть какой-то

физический посредник между двумя взаимодействующими физическими центрами! Отрицать наличие физического посредника может только математик, он имеет на это полное право, это ему иногда удобно, физик же не имеет права этого делать, рассуждая о том, что происходит в действительности. Я уже говорил, что если так поступает физик, то приходится, к сожалению, констатировать, что он при этом прибегает к каким-то ненефтическим факторам.

В. К. ЛЕБЕДИНСКИЙ. Большое, удовольствие слышать таких двух разных представителей науки, и большое значение имеет для Политехнического Института, что между его учителями имеются эти два разных представителя. Один из них удовлетворяется отвлеченными, я бы не сказал, понятиями, а отвлеченными определениями, а другой хочет проникнуть в самый механизм явлений. Весьма полезно слушать изложение одного и того же физического явления с двух разных точек зрения; той, которая удовлетворяется весьма малым числом допускаемых, как соответствующих реальности, понятий и из этих понятий строит все остальные в виде математических определений, и другой, которая этих понятий берет гораздо больше и стремится конкретно представить себе картину (образ), явления в больших подробностях, совершенно реально. Полезно отметить, что математическая трактовка (например, взаимодействия двух зарядов) может иметь два смысла: или мы знаем, что под формулами ничего не скрывается (убеждение в дальнодействии), или мы лишь обходим неизвестное, скрытое от нас, не находя нужным или возможным строить гипотезы (Ньютона, позитивисты); такая возможность обхода чрезвычайно важна для процесса науки. Кстати сказать, я впервые сегодня почувствовал, как выгодно считать энергию простой математической дедукцией. Нас учили обратному, что сила есть фикция и что энергия есть действительная реальность. Говорили, что на рынке покупается энергия, т. е. возможность производить работу, но не покупается сила. Отсюда выводилась нереальность этой последней. Предполагая, к чему идет современный интерес физиков, я очень понимаю, как удобно будущему физику отвергать реальность энергии и считать ее простым определением, потому что дальше идет возможность отрицания сохранения энергии. Разрешите совсем небольшое отступление в области истории: не нужно быть большим историком, чтобы утверждать, что, конечно, раньше было проникновение в физические процессы, раньше была идея близкодействия; например, если вы прочтете старую книгу Пристлея, вы увидите, что там назелектризованные тела — это тела, из которых идет эманация или экзгалияция, и этой своей эманацией они производят притяжение обрезков бумаги или световое сияние, которые мы называем тихим разрядом. Значит, и механика и все остальные действия происходят от этой эманации, которая исходит из назелектризованных тел, которая есть электричество. Когда выступил Кулон в самом конце XVIII века, понятие электричества, стремившегося занять как можно больший объем (что-то в роде газа), начало сжиматься. Но вдруг появился Фарадей, который вернулся к прежнему, вернулся к тому, что было в XVII веке. Опять электричество понимается, как разливающееся в бесконечность, только в иной форме (физических силовых трубок). Но Кулоновская наука шла своим путем и дошла до электрона с радиусом 10^{-13} см. Рядом с этим появилось дальнодействие, потому что электричеству был приписан определенный объем. Я хотел бы еще упомянуть, о чем говорят вихри в вопросах о магнитном действии. Мы знаем, что многие весьма крупные современные физики еще стоят на такой точке зрения и Миткевич является посреди нас особенно ярким выражителем этого представления. Вероятно, многим из присутствующих здесь известно, что в XVII веке был человек, который, можно сказать, предугадывал объяснение всего, и в частности — магнитного поля, помощью вихревого движения; это был Декарт.

Это вихревое движение чрезвычайно давно интересует человека, оно давно дает надежду понять действительную реальность физических явлений. Я убежден, что в этом понятии о вихрях, в этом стремлении с помощью его объяснять природу, — в этом есть что-то верное. Не может быть, чтобы тысячелетиями люди не поняли своей основной ошибки. Через Декарта, через Максвелла, Томсона, Лоджа эта идея все время тяготеет, она в некоторых людях необычайно просветляется, в некоторых удаляется куда-то в даль. Так что если между вашими учителями

есть представители, которые и эту, в частности, идею так глубоко восприняли, что могут после тысячелетий эволюции вести ее еще дальше, то это для вас огромное счастье.

Г. В. БРАУДЕ. Мне кажется, что мы здесь в заколдованным кругу, потому что все время вертимся в пределах тех физических явлений, которые одинаково хорошо могут быть описаны и об'ясняны обеими теориями.

Чтобы судить о том, какая теория верна, надо рассмотреть, как эта теория об'ясняет и как она описывает все другие физические явления. Правильность теории никогда, во всей истории развития физической науки, вообще не определялась наибольшей ее простотой и наибольшей ее представимостью.

В конце-концов, если говорить о простоте и наглядности, то таким требованиям лучше всего удовлетворяет, например, теория Флогистона, об'ясняющая весьма просто ряд явлений теплоты, или, например, теория электрических жидкостей, служившая долгое время для об'яснения ряда электрических явлений. Борьба между теорией истечения Ньютона и волновой теорией Гюйгенса закончилась в свое время победой теории Гюйгенса, несмотря на большую простоту теории Ньютона и на его громадный авторитет, только благодаря тому, что теория Гюйгенса об'ясняла явление поляризации света, которое теория Ньютона не могла об'яснить. Некоторые явления теплового излучения, явление фотоэффекта заставили нас от стройной электромагнитной теории света прийти к очень нестройной теории квант. Иногда один новый факт, никак не укладывающийся в рамки старой теории, рушит все стройное здание науки, заставляя нас строить его заново на основе этого непреклонного факта, постулируя этот упрямый факт. Так в теории относительности постулируется факт абсолютности скорости света (опыт Майкельсона), также же постулирование нового факта в неявном виде делается в теории квант и т. д. Ниче, о не поделаешь, если новое здание оказывается более сложным, новые представления менее простыми и наглядными, чем старые; правильность теории определяется не ее наибольшей простотой и наглядностью, а тем, насколько полно и точно она описывает возможно больший круг известных нам явлений.

Исходя из этой точки зрения, я должен в этом споре стать на точку зрения Я. И. Френкеля и именно потому, что его воззрение на природу электрического тока основывается на всех достижениях современной физики. Я материалист, ничего идеалистического не нахожу в том, что это воззрение в некоторых отношениях менее чувственно представимо, меньше согласуется с чувственным представлением материальности. Представления о шарообразности земли и об антиподах во времена Коперника тоже были очень плохо чувственно представимы. В конце-концов, это дело привычки, и мне думается, что даже представления новой волновой механики с ее волнами материи в конце-концов войдут в наше сознание, как привычные представления о материи. Критерием материалистичности теории является то, насколько она считается с фактами, учитывает их все и позволяет нам открывать новые факты и использовать их для нашей практики. Основывая свои воззрения на природу электрического тока на теории Фарадея, В. Ф. Миткевич рассматривает электромагнитные проявления электрического тока, правда очень важные, но не единственные, изолировано от других его проявлений и от других электрических явлений другого порядка. Ведь нельзя же игнорировать такие факты, как термоионные явления, явление фотоэффекта, игнорировать такой факт, как всю новейшую физику с ее громадными практическими применениями, основанную на прерывности электрического тока и т. д., и никак не укладывающуюся в рамки теории Фарадея.

Утверждать правильность воззрения Фарадея на природу электрического тока, отвлекаясь от всех факторов, не укладывающихся в рамки теории Фарадея, аналогично утверждению, в свое время, правильности воззрения Ньютона на природу распространения света, его отражения и т. д., отвлекаясь от явлений поляризации, интерференции и т. д.

В. Ф. старается об'яснить электрон, как магнитный вихрь. Если В. Ф. удастся описать все свойства электрона таким образом, то можно будет говорить и спорить о правильности его воззрения на природу электрического тока.

В. Ф. МИТКЕВИЧ. Разрешите спросить Вас, тов. Брауде, по поводу рисунка 1. Возможно ли, чтобы заряд q_1

взаимодействовал с зарядом q_2 без того, чтобы какой-либо физический агент проникал сквозь замкнутую поверхность S ? Скажите: „да“ или „нет“. Это чрезвычайно любопытно.

Г. В. БРАУДЕ. Мне кажется, что ваше представление о том, что какой-то физический агент...

В. Ф. МИТКЕВИЧ. Тут только важно „да“ или „нет“. И я приобщу ваш ответ к другим ответам.

Г. В. БРАУДЕ. Невозможно! Вопрос поставлен неверно. Можно назвать волновую функцию ψ этим физическим агентом, но она не обладает массой, упругостью и другими свойствами эфира.

В. Ф. МИТКЕВИЧ. Конечно, конечно! Какой-то совершенно особенный физический агент¹⁾! Итак, вы говорите „НЕТ“ (записывает на доске).

Я. И. ФРЕНКЕЛЬ. Товарищи, мне кажется, что вы все не понимаете надлежащим образом сущности различия между точкой зрения В. Ф. Миткевича и моей. Сущность здесь вовсе не в близкодействии и дальнодействии, а в дальнодействии мгновенном и дальнодействии запаздывающем — и только в этом. Теория эфира или какой-либо промежуточной среды содержит в себе в замаскированной форме идею дальнодействия на малых расстояниях между соседними частицами среды, но дальнодействия обычного, т. е. мгновенного. Я рассматриваю механику частиц, действующих друг на друга как на малых, так и на больших расстояниях, не мгновенно, а с запаздыванием. Моя теория столь же математична, как и теория Миткевича, только силы, которыми оперирует моя теория, передаются в пространстве с конечной скоростью, а силы, которыми оперирует В. Ф., передаются с бесконечной скоростью. В этом вся принципиальная разница. Здесь высказывались соображения, которые сводятся к тому, что можно избавиться от дальнодействия, если представить себе эфир, как сплошную среду, или если представить себе передачу действия от одной частицы эфира на другую путем удара. Эфиру предлагалось, таким образом, спастись переходом на „непрерывку“ или на „ударничество“. Я думаю, что оба выхода неприемлемы. О „непрерывке“ не может быть и речи потому, что мы не имеем никаких предпосылок для описания поведения непрерывной среды, потому что все те материальные среды, которыми мы оперируем, дискретны, состоят из отдельных частиц. Что касается „ударничества“, то оно не спасет положения, потому что, во-первых, как справедливо сказал И. В., при ударе двух частиц, рассматриваемом с микроскопической точки зрения, имеет место дальнодействие между ближайшими их элементами, а кроме того, идея ударов неприменима к явлениям натяжения. Говорить об ударе частиц веревки, когда мы тянем концы ее в противоположные стороны, вряд ли возможно. Таким образом, обе возможности отпадают.

Вот, что можно сказать по общим вопросам. Я хотел бы отметить, что в своем анализе основ учения об электромагнетизме я исхожу из первичных понятий. Понятия эти — движение и силы; все остальные понятия я считаю вторичными или произвольными. Я не могу сказать, что анализ наш закончен, и вполне допускаю, что в дальнейшем понятие силы и понятие движения могут быть сведены к чему-то более простому, фундаментальному. Такого рода попытку мы имеем в Эйнштейновской теории тяготения, пытающейся свести силу тяготения к геометрическим свойствам пространства или, вернее, к пространственно-временной протяженности. Я умышленно не говорил об этих вопросах, чтобы не слишком удаляться от предмета нашего спора. Точно так же я умышленно не касался новейшего развития физики, связанного с волновой механикой. Для решения нашего спора не требуется затрагивать эти более новые вопросы современной физики. Наш спор относится

к прошлому, и мне кажется, что спор этот был давно уже решен не нами, а теми физиками, которые пытались сохранить представление о промежуточной среде путем построения той или иной модели этой среды. Этот спор должен считаться решенным уже в конце прошлого столетия работами, главным образом, Больцмана, показавшего невозможность свести электромагнитные явления к законам старой механики в применении к частицам какой-либо среды.

Я хотел бы ответить на некоторые конкретные вопросы. Прежде всего на вопрос В. Ф., как я себе представляю локализацию электрокинетической энергии. Вы думаете, что моя точка зрения соответствует локализации энергии тока в самом теле? Это неверно. Энергия сил запаздывающего дальнодействия не может быть представлена в форме аналогичной классической механике, т. е. в виде связанной с самим телом, к которому она относится. Электрический ток представляет собой движение множества отдельных электрических зарядов электронов. Энергия, соответствующая этому движению, есть вовсе не сумма энергий отдельных электронов, а сумма взаимных энергий всех этих электронов. Точно так же, когда мы рассматриваем систему неподвижных зарядов и говорим об ее энергии, то под этой энергией мы подразумеваем сумму взаимных энергий всех этих зарядов. Если рассматриваете взаимную энергию в двух зарядах, как это соответствует точке зрения классической механики, которая не знает запаздывающего дальнодействия, а знает лишь мгновенное дальнодействие, тогда эта энергия определяется, как произведение зарядов, деленное на расстояние между ними. Эту взаимную потенциальную энергию локализовать нельзя. Только в том случае, когда расстояние между обоями зарядами становится очень малым по сравнению с их расстоянием от наблюдателя, последний локализирует их вместе с их энергией практически в одной точке. В случае тока, т. е. потока электронов, движущихся более или менее в одном и том же направлении, энергия электронов слагается из двух частей: из взаимной электрокинетической энергии, которую можно написать в виде суммы выражений

$$\frac{e_1 e_2}{r^2},$$

и из собственной энергии, которую можно рассматривать, как сумму кинетических энергий отдельных электронов

$$\sum \frac{1}{2} m v^2.$$

В том случае, однако, когда число N электронов очень велико, сумма их собственных (кинетических) энергий, пропорциональная N , ничтожно мала по отношению суммы их (кинетических) взаимных энергий, пропорциональной N^2 . Таким образом, электрокинетическая энергия тока сводится практически к взаимной энергии электронов, а эту электрокинетическую энергию нельзя локализовать. Таким образом, локализация энергии принципиально невозможна и практически более или менее допустима лишь тогда, когда вопрос рассматривается с макроскопической точки зрения. При определении энергии, как величины, связанной не с электронами, а с электромагнитным полем, т. е. в виде интеграла

$$\frac{1}{8\pi} \int (E^2 + H^2) dV$$

локализация ее оказывается возможной и притом не только в случае стационарного тока, но и в случае произвольного движения электрических зарядов. Поэтому локализация энергии при таком ее определении осуществляется уже не в тех местах, где находятся электрические заряды, а во всем окружающем их пространстве.

В. Ф. МИТКЕВИЧ. Где ничего нет!

Я. И. ФРЕНКЕЛЬ. Где ничего нет, кроме поля. Я говорю: в этом пространстве нет ничего, никаких материальных частиц, кроме взаимодействующих электронов. Вы можете не вводить и поля между ними. Когда не введено поле, вы не будете пользоваться и понятием энергии. От этого мир нисколько не пострадает.

В. Ф. МИТКЕВИЧ. Было бы темно в аудитории без этой энергии!

Я. И. ФРЕНКЕЛЬ. Имеется электронное колебание в этой лампе, которое вызывает электронные колебания в нашем глазу независимо от того, вводите ли вы представление об энергии или нет.

(Примечание В. Миткевича).

¹⁾ В подлинной, не исправленной стенограмме, в последних словах Г. В. Брауде не содержится фразы: „Вопрос поставлен неверно“. Он этого не сказал мне во время беседы. В противном случае я не мог бы обойти молчанием его упрек и должен был бы спросить его, почему он считает, что вопрос поставлен неверно. Позволительно спросить: как же правильнее, по мнению Г. В. Брауде, можно сформулировать принципиальный вопрос о необходимости или ненужности участия какого-либо промежуточного физического агента в случае взаимодействия двух физических центров? Что вопрос сформулирован мною правильно, это доказывается, между прочим, и тем, что Г. В. Брауде не счел возможным уклониться от ответа и сказал: „Невозможно“. Конечно, встречаются иногда вопросы, сформулированные неправильно, но если, например, человека, не признающего незыблемости элементарных истин арифметики, мы спросим, может ли дважды-два равняться пяти, то едва ли кто либо имеет основание сказать: „Вопрос поставлен неверно“.

В. Ф. МИТКЕВИЧ. Яков Ильич, я смущен тем, что слышал. Вы говорите, что с защищаемой мною точки зрения Фарадея—Максвелла действие распространяется с бесконечной скоростью, а с вашей точки зрения — с конечной. Я очень удивлен. Как раз именно Фарадея—Максвелловская точка зрения внесла в физику представление о конечном распространении электромагнитного действия, и опыт подтверждает теорию. Вывод Максвелла в свое время поверг в смущение всех защитников идеи действия на расстояние. Они считались только с мгновенной передачей, и всем, кто пережил эту эпоху, одно время казалось, что тут произнесен смертный приговор над *actio in distans*. Но Лорентц придумал очень красивый математический прием запаздывающего *actio in distans* и, таким образом, удалось формально описать то, что Максвелл получил, исходя из представления об участии промежуточной среды. Итак, как раз Максвелловское возврзение внесло в науку представления о конечной скорости распространения электромагнитных действий, а точке зрения *actio in distans* пришлось изобрести корректив для того, чтобы спастись и иметь возможность математически увязаться с тем, что Максвелл получил, исходя из представления о промежуточной среде. В общем то, что Я. И. Френкель сказал в своем последнем выступлении, клонится к тому, что можно рассуждать и так, можно рассуждать и иначе, т. е. что обе точки зрения математически абсолютно эквивалентны. Но ведь это совершенно не относится к теме нашей беседы и потому никого сейчас не должно сколько-нибудь интересовать. Я уже говорил, что не согласен с П. С. Эренфестом, который полагал, что специальным экспериментом можно показать справедливость одной или другой из точек зрения. Математически они всегда будут эквивалентны. Лорентц наглядно показал, как можно в случае надобности дополнить некоторую точку зрения, когда необходимо об'яснить новые факты. Я не спорю, быть может, необходимо внести некоторые дополнения и в Фарадеево—Максвелловскую точку зрения, чтобы все хорошо об'яснить. Всякое новое достижение в области физики может повлечь за собою некоторый корректив, ничего не меняющий в существе данной точки зрения. Суть дела в том, что одна точка зрения физически состоятельна, а другая в этом отношении очень грешит и приводит к физическому абсурду. Я очень рад, что оказываюсь не в единственном числе, что выступавшие здесь философы в основном присоединились ко мне. Итак, точка зрения *actio in distans* физически несостоятельна, как указал еще Ньютон. А Ньютон как будто бы является некоторым авторитетом для нас. Великий математик и великий физик! Как математик, он с успехом пользовался идеей *actio in distans*, но, как физик, он говорит — «это абсурд». Я. И. Френкель говорил об условной возможности локализации энергии. Конечно, это есть лишь формально математический ответ на вопрос, касающийся природы физического явления — электрического тока. Все-таки в конце-концов, по существу, у Я. И. Френкеля остается то, что вокруг проводника с током абсолютно никакого физического процесса нет. Абсолютная пустота! Если в данном элементе об'ема вокруг проводника с током есть физический...

Я. И. ФРЕНКЕЛЬ. Это разные вещи. Если я вывожу понятие поля, я могу сказать, что есть поле.

В. Ф. МИТКЕВИЧ. Если говорить, что в данном элементе об'ема есть физический процесс, то мы обязаны признать, что там есть нечто реальное. Математик, конечно, может говорить иначе, а физик не может так говорить.

Энергия есть реальный физический агент. Если в пространстве вокруг проводника с током нет никакого физического процесса, то следовательно, там не может быть локализована какая либо энергия. Следорательно, с точки зрения Я. И. Френкеля, электрокинетическая энергия тока содержится внутри проводника. Так выходит из его основных положений (ответ „ДА“). Мы ясно видим, однако, что у Я. И. Френкеля есть в то же время тенденция использовать некоторые весьма удобные для него, как математику, представления Фарадея и Максвелла. Я. И. Френкель не может обойтись без максвелловского объемного интеграла энергии, распространенного по пространству, окружающему проводник с током, рискуя в противном случае обязательством открыто утверждать, что электрокинетическая энергия тока локализована внутри проводника. Правда, он не хочет сказать этого ясно и определенно. Я за него это говорю! Итак, в физических представлениях Я. И. Френкеля о природе электрического тока встречаются глубокие противоречия, которые являются следствием его стремления видеть в идеи *actio in distans* нечто большее, чем простой математический прием.

Я должен кончать, потому что уже поздно. В заключение позволю себе воспользоваться образным научным языком, на котором во времена первой беседы выражали свои мысли Я. И. Френкель и А. Ф. Иоффе. Я. И. Френкель упрекал меня в том, что я ловлю некоторого „чорта“. Теперь я каюсь: действительно, я ловил долгое время, многие годы, и во времена наших трех бесед продолжал ловить „чорта“. Этот „чорт“ есть *actio in distans*! Мне кажется, что я его, наконец, уловил, что я оборвал ему „хвост“, так что он теперь „без хвоста“. А. Ф. Иоффе рассказывал нам красивую басню о медведе и неосторожном охотнике. Я полагаю, что эти образы хорошо олицетворяют те непримирамые точки зрения, которые столкнулись здесь во времена наших бесед о природе электрического тока. Какая точка зрения есть медведь, а какая — неосторожный охотник, об этом я предоставляю судить присутствующим.

М. А. ШАТЕЛЕН. Я думаю, что наша беседа могла бы продолжаться не 3, а 33 вечера и все 33 вечера она была бы наполнена такими же, в высшей степени интересными сообщениями, как те, которые мы слышали. В результате, конечно, ни к какому окончательному решению, в чем природа электрического тока, мы все же не пришли бы. Мы должны быть очень благодарны всем выступающим здесь, в особенности Я. И. Френкелю и В. Ф. Миткевичу, за то, что они дали возможность систематически ознакомиться с целым рядом чрезвычайно интересных взглядов. Мне кажется, что выслушав все, что здесь говорили, мы имеем возможность, каждый сам для себя, выяснить, в чем разница между двумя представлениями о природе электрического тока. Беседы будут напечатаны в ж. „Электричество“. Позвольте обратиться к В. Ф. и Я. И. с просьбой дать указания на ту литературу, которая могла бы служить для более подробного изучения вопроса. Позвольте от имени всех вас поблагодарить В. Ф. Миткевича и Я. И. Френкеля за их согласие поделиться с нами своими взглядами.

Докладчики и редакция ж. „Электричество“ приносят свою глубокую благодарность В. С. Шателен и К. В. Спехиной за большую выполненную ими работу — составление стенограмм бесед.

Придавая большое значение проблеме **рационального освещения**, редакция журнала „Электричество“ посвящает ближайший номер журнала (№ 11) вопросам **осветительной техники**. В номере будет помещено: статьи: — проф. М. А. Шателена — Роль светового хозяйства в общем энергетическом хозяйстве страны; проф. С. О. Майзеля и инж. Е. Н. Яковлева — Опыты по освещению Эрмитажа; инж. К. И. Несмачного — Вторая Всесоюзная Светотехническая Конференция; инж. Н. С. Покровского — Методы расчета искусственного освещения помещений, применяемые „Ленгипромашем“; инж. С. М. Демченко — Опыт применения Временных Правил НКТ для освещения фабрично-заводских предприятий; — правила и нормы освещения учебных помещений и искусственного освещения лечебных заведений и др.