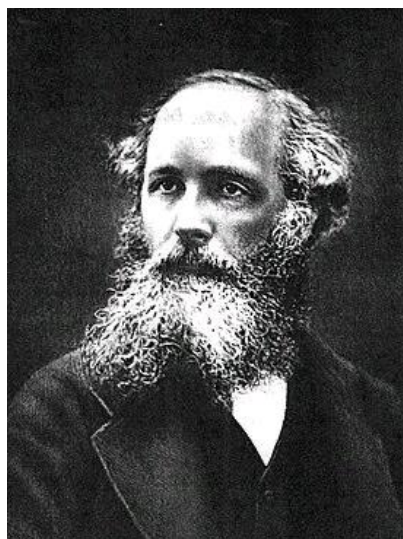


Гениальная ошибка Максвелла и кризис физики

В.А. Кулигин

(руководитель исследовательской группы АНАЛИЗ)



РОССИЯ

2020

АННОТАЦИЯ.

Книга посвящена исследованию ошибки, которую Максвелл допустил, записывая свои уравнения. Показано, что уравнения Максвелла в калибровке Лоренца имеют *две ветви* независимых решений. В силу этого калибровочная инвариантность в уравнениях Максвелла не имеет места. Новый подход позволяет решить проблему электромагнитной массы, строго построить нерелятивистскую функцию, описывающую взаимодействие зарядов и токов. Без гипотез устранены противоречия в объяснении магнитных явлений и строго описаны такие явления, как униполярная индукция и мотор Маринова и т.д. Развивая идею великого английского ученого Дж.Дж. Томсона об электромагнитной природе материи удалось провести «максвеллизацию» уравнений тяготения и показать, что тяготение является квадратичным эффектом квазистатической электродинамики. Исправлены ошибки в объяснении и описании работы нерелятивистских вакуумных СВЧ устройств. Обоснован принцип преемственности научных знаний и кумулятивный характер ее развития. Реабилитировано с физической и философской точек зрения мгновенное действие на расстоянии. Теперь классические теории вновь обрели статус фундамента современной науки.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Предисловие.	4
2. Глава 1. История и анализ одной из причин кризиса современной физики ...	6
3. Глава 2. Гениальная ошибка Максвелла	15
4. Глава 3. Две ветви решений уравнений Максвелла	24
5. Глава 4. Электромагнитная масса	42
6. Глава 5. Классическая теория взаимодействия зарядов и токов	51
7. Глава 6. «Магнитные» парадоксы и их анализ	70
8. Глава 7. Теория тяготения	87
9. Глава 8. Проблема взаимодействия в электродинамике	100
10. Глава 9. Приборы магнетронного типа	110
11. Заключение (<i>о роли философии</i>).....	130

ПРЕДИСЛОВИЕ

Есть два типа исследователей (теоретиков), занимающихся проблемами науки.

Первый тип это ученые, которые занимаются достаточно узким направлением исследований. У них богатый опыт исследований в этой узкой области и общие знания о смежных дисциплинах. Я имею в виду физиков-теоретиков. Их задача в том, чтобы понять сущность исследуемых явлений и углубить наши представления о мире. Узость цели, с одной стороны позволяет концентрировать усилия в данном направлении. С другой стороны, она обедняет исследователя. Он опирается на положения, которые считает незыблемыми и, опираясь на них, выходит на «передний край науки». На этом пути его может ожидать провал в исследованиях, если в фундаменте теории оказалось ошибочное положение. Более того, абсолютизация фундаментальных основ теории порождает догматизм, т.е. абсолютизацию положений. А это ведет к застою и новым проблемам, требующим решения. «Сумасшедшие гипотезы» только усугубляют ситуацию. Теория начинает напоминать Вавилонскую башню с гнилым основанием. Она рано или поздно обязательно рухнет.

Второй тип это *подлинные* (учителя) *преподаватели* научных дисциплин. Они не занимаются, как правило, узкоспециальными исследованиями. Их изыскания редко хорошо финансируются. Но у них есть другая задача (я имею в виду *настоящих педагогов*). Их задача дать строгое и последовательное изложение научного материала, исправление ошибок и логических противоречий в существующих научных представлениях. Только широкий кругозор и любовь к науке и студентам позволяют не превращать преподавание в монотонное зазубривание догм.

Такие преподаватели проповедают лозунг: «*Студент не сосуд, который нужно наполнить, а факел, который нужно зажечь!*». Чтобы увлечь студентов наукой, чтобы выработать у них стремление к поиску истины, к творческому созиданию, педагог должен быть, прежде всего, *личностью*. Он должен мастерски владеть речью и быть примером для студентов. Подобная работа не менее сложна, чем научный поиск. Но есть и еще одна сторона, которая является весьма важной.

Как правило, преподаватель читает лекции по специальным курсам и общим курсам. Он ведет практические и семинарские занятия. Часто ему приходится сталкиваться при изложении материала с конкретными научными проблемами и *обсуждать с учениками трудности в вопросах теории*. Здесь педагог не должен уподобляться попугаю, повторяя избитые банальные истины. У него широкий круг знаний не только о самом предмете, но и о его истории и развитии научной теории. Именно здесь, в отличие от «узких специалистов» первого типа, у него имеется возможность проанализировать весь путь становления теории от начала до настоящего времени *и выявить ошибки* в теоретическом фундаменте. Для этого исследователь должен владеть *материалистической теорией научного познания научной истины*¹.

К несчастью материалистическое мировоззрение было давно выброшено из советской философии на Всесоюзном совещании философов в 1958 г. под девизом «*О некомпетентном вмешательстве*

¹ В.А. Кулигин. Материалистическая теория познания научной истины. 2018.
<http://www.trinitas.ru/rus/doc/0001/005c/00012135.htm>

философии в науку». Догматический материализм заменили различные формы позитивизма². Это обстоятельство усугубило застой в развитии научных идей.

В конце 20 столетия несколькими педагогами была организована исследовательская группа АНАЛИЗ, целью которой было поиск и исправление ошибок в физических теориях. Мне пришлось возглавить эту группу. Мы выяснили, что в основе кризиса современной науки лежат три основных ошибки: **ошибка Максвелла**, исправлению которой посвящена эта книга, **СТО как проявление философского невежества** (ей мы намерены посвятить следующую книгу), **МКТ**, как ошибочная ветвь термодинамики.

В этой книге описана ошибка Максвелла. Как следствие, были устранены противоречия и исправлены ошибки в квазистатической электродинамике, приведено разрешение без противоречий магнитных парадоксов и рассмотрены прикладные задачи. Мы показали, что квазистатическая электродинамика прекрасно укладывается в рамки классических теорий. Тем самым мы подтвердили **кумулятивный характер развития знания**, принцип преемственности в научном познании и реабилитировали мгновенное действие на расстоянии. Современный позитивизм это отвергает: *«Теории умирают только тогда, когда уходят из жизни их апологеты!»*

В книге мы избегали высказывать гипотезы из-за отсутствия достаточного экспериментального обоснования. Но обсуждали возможные предположения. Это большая работа.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Группа АНАЛИЗ выполнила большую работу по восстановлению и формулировке материалистической теории познания, по анализу теорий и исправлению ошибок в теориях, провела ряд экспериментальных исследований. Я искренне благодарю постоянных членов группы АНАЛИЗ (Г. Кулигина, М. Корнева) и вошедших позже (проф. А. Эспиноза (Мексика) и др.) за важные исследования, требовавшие силы и время. С точки зрения *«официальных ученых»* это направление исследований казалось *«неперспективными»*. Ему не выделяли ни средств, ни внимания.

СВЕТЛАЯ ПАМЯТЬ

Время берет свое. К горькому сожалению, ушли из жизни некоторые наши друзья и коллеги, работавшие в гр. АНАЛИЗ. Вот их имена:

проф. **Чубыкало А.** (прекрасный теоретик, Мексика),

Большаков Г. (бывший гл. инж. ЭНИКМАШ'а, экспериментатор и теоретик),

Зеленчуков А. (военпред предприятия, блестящий экспериментатор) и др.

Пусть эта книга сохранит память о них и их вкладе в развитие науки.

² В.А. Кулигин, М.В. Корнева, Г.А. Кулигина. Позитивизм – яд для науки. 2020.
<http://www.trinitas.ru/rus/doc/0001/005d/00012407.htm>

Глава 1. История и анализ одной из причин кризиса современной физики

1. Введение
2. Начало развития кризиса
3. Позитивизм Конта
4. Продолжение развития кризиса
5. Ошибка физиков
6. Разгром «классических теорий»
7. Заключение

1. ВВЕДЕНИЕ

Кризис фундаментальной физики. Современная фундаментальная физика, несмотря на свои многочисленные и впечатляющие экспериментальные успехи прошлых лет, в настоящее время находится в стадии глубокого и затяжного кризиса.

Скажите, пожалуйста:

1. Кризис в современной физике продолжается? Он имеет место даже сейчас или же он уже **был давно и успешно преодолен**, а ученые продвигаются вперед к новым знаниям?

2. Имеет ли место **сегодня «правильный» путь развития науки** (без кризиса) или же современная теоретическая физика это не наука, а иллюзия по справедливому замечанию Маху (фантастика или лженаука)?

Чтобы устранить кризис необходимо выполнить следующие условия:

- Во-первых, необходимо выяснить подлинные причины, которые привели к кризису.
- Во-вторых, нужно не только устранить причины, нужно исправить ошибки, спровоцированные кризисом.

В современных научных критических публикациях нет убедительного описания основных причин кризиса. Некоторые ученые пишут, например, об ограниченности классических теорий, поскольку они, опираясь на классические теории, не смогли дать объяснение новым экспериментальным открытиям. Высказывается мысль о слабом владении философией (теорией познания научной истины). Исследователи пишут также о других факторах [1].

Пожалуй, наиболее четкий и последовательный философский анализ кризиса физики дал В. Ленин в работе [2]. Ленин не был физиком. Он не мог описать физические причины кризиса, т.е. показать из-за каких физических ошибок и заблуждений сложился кризис, приведший к философским заблуждениям в научном мировоззрении. Он ясно показал, что незнание диалектического материализма вредит развитию науки. Ленин оставил верные замечания, например, о том, что у позитивистов «материя исчезла, остались одни уравнения». Эта подмена объяснений явлений нагромождением математики сохранилась и преумножается в существующих физических теориях.

Его утверждение о незнании «диалектики» физиками я считаю резким, хотя и верным. Физики, конечно, имели представление о диалектике, но они не умели **применять** свои философские знания на практике. Это равносильно незнанию. Ничего удивительного в этом заключении нет, если учесть, что громадное большинство **философов-позитивистов** проявляют некомпетентность в вопросах философии науки (беспринципный позитивизм).

Приведу пример. Что такое «диалектическое противоречие» в теории? Цитирую, мнение философа академика Омеляновского, из работы [3]:

*«Согласно идеям Бора противоречия между корпускулярными и волновыми свойствами атомных объектов как бы **застывают** в виде противоположности двух классов взаимоисключающих экспериментальных установок, с которыми связаны «дополнительные» явления. Между тем истинное разрешение «антинормы дополнительной» состоит в том, чтобы рассматривать корпускулярные и волновые свойства объекта, как единство противоположностей» [4].*

Здесь возникает образное сравнение. Два барана уперлись рогами и стоят, не шелохнувшись (в ступоре). Это памятник «диалектике Омеляновского». А где же «живая душа» диалектики - развитие? Я не верующий, но у меня ощущение, что на том свете Гегель носится за Омеляновским и, отчаянно лупя его суковатой палкой по спине, приговаривает: «Это тебе, за диалектику, сукин сын! Это тебе за диалектику, извращенец!».

Вы считаете такие «опусы» случайностью? Вот еще один образец «анализа науки», проведенного профессорами-философами России (позитивистами) [5]:

«Дополнительность пространственно-временного и причинного способа описания микродвижения В.П. Бранский отличает от корпускулярно-волнового дуализма, но также отказывает в полной диалектичности. Считая мир «негеоцентрическим», обладающим иной, (вещной!) онтологической природой, нежели «геоцентрический» мир, служащий базисом человеческого познания, он показывает, что при взаимодействии негеоцентрического объема познания с геоцентрическим базисом возникает своеобразный «дисперсионный эффект». В результате этого эффекта цельный в онтологическом отношении негеоцентрический мир выглядит с позиции геоцентрического базиса «расколотым» на онтологически неоднородные компоненты, подобно тому, как белый свет, падая на призму, разлагается на монохроматические составляющие. На основе «дисперсионного эффекта» далее возникает специфический «поляризационный эффект», который заключается в иллюзии, будто в «мире иной онтологической природы» атрибуты материи исключают друг друга... Концепцию дополнительной В.П. Бранский рассматривает как частное выражение подобного «поляризационного эффекта», который по своей природе несомненно является диалектическим, но в «отрицательном» (субъективном) смысле.

Итоговый вывод его, таким образом, весьма неоднозначен – дополнительность не имеет отношения к объективной (объектной) диалектике, всецело обуславливаясь неадекватностью геоцентрических макропонятий в их применении к негеоцентрическому, определенному «в себе» микромиру, рассматриваемому чисто объектно».

Уф! Вы все поняли? Ваше сознание не «раскалывается» от «дисперсионно-поляризационной» схоластики? Мы специально привели пересказ исследования В.П. Бранского в изложении другого профессора философии И.С. Алексеева, которого (в отличие от нас) трудно заподозрить в предвзятости

отношении. Он считает анализ В.П. Бранского «тонким» и «глубоким». С чем философов-позитивистов и поздравляем.

2. НАЧАЛО РАЗВИТИЯ КРИЗИСА

Начало конфликта. Корпускулярно-волновой дуализм является идеологической основой современной квантовой физики. По этой причине важно еще раз напомнить историю возникновения корпускулярно-волнового дуализма. Она начинается еще в 18 веке. Законы классической механики Ньютона опирались на мгновенное действие на расстоянии. Свет «не очень хотел» вписываться в его механику. Решающую роль тогда сыграл авторитет Ньютона. Его мнение о том, что свет есть поток корпускул, долгое время считалось главным аргументом в пользу корпускулярной теории.

Неудовлетворенный классической механикой в её стандартном изложении, Гамильтон предполагает, что она описывает движение тел лишь приближенно, подобно геометрической оптике. Геометрическая оптика описывает прямолинейное движение световых лучей, тогда как свет на самом деле — волна. Исходя из своих представлений, Гамильтон строит полный аналог геометрической оптики тел (*формализм Гамильтона — Якоби* классической механики). Это стремление «заставить» свет «подчиняться» законам механики казалось очевидным направлением развития механики.

Начало коренным изменениям в представлениях о природе света было положено Томасом Юнгом. Теория интерференции Юнга прекрасно объясняла ряд оптических явлений. Но позиции сторонников корпускулярной теории были еще сильны, поскольку ее математическая основа теории Юнга была слаба. Преодолеть трудности теории помогли работы Френеля. Большой вклад в развитие волновой теории света внесли также исследования Гюйгенса, Фраунгофера, Фуко и других ученых.

Борьба сторонников и противников волновой теории света была, по существу, борьбой между сторонниками мгновенного действия на расстоянии и сторонниками близкодействия. Из-за неумения использовать достижения философии борьба приняла бескомпромиссный характер. По сути дела, мы сталкиваемся с обычным *диалектическим противоречием* между двумя различными объективными точками зрения. Любая из этих двух точек зрения имеет строгое экспериментальное подтверждение и практическое применение. По этой причине ни одну из них нет веских оснований отбрасывать.

Это диалектическое противоречие разрешимо. Спорящие стороны должны были бы разграничить между собой области, описываемые мгновенным действием на расстоянии, и области, описываемые волновыми процессами. В этом случае каждая теория имела бы свою область применения, которая не пересекалась с областью применения другой теории. Таким образом, все противоречия были бы устранены! Увы! Физики негативно относились к применению диалектики. Этому шагу препятствовал контовский позитивизм, ставящий любую философию в разряд «спекуляций».

3. ПОЗИТИВИЗМ КОНТА.

На XVIII век приходится особый период развитие западноевропейской философской мысли — так называемая эпоха *Просвещения*. В 18 веке в обществе происходил отказ от религиозного миропонимания, продиктованного христианскими догматами, и обращение к разуму как к единственному источнику познания человека, общества и окружающего мира. Официальная наука освобождалась от обременительной

необходимости привязки к библейским канонам. 18 век дал великих философов и ученых: Даламбер, Д. Беркли, Д. Юм, И.Кант, Г. Лейбниц, Д.Локк, Ж-Ж. Руссо и др.

Появление философии Конта закономерно. Наличие **многочисленных философских направлений**, опирающихся на умозрительные построения и развитие научных дисциплин, которые **обрели самостоятельность** (механика, оптика, астрономия, термодинамика и др.) требовало систематизации и приведения в порядок научных и философских знаний. Сложившееся положение напоминает современный Интернет «засоренный» рекламой, ненужной и бесполезной информацией. О. Конт указывает на *"разъедающее влияние"* специализации научного труда и выводит отсюда необходимость *"новой науки"* (т.е. *положительной философии*), которая и призвана к тому, чтобы *"предупредить разрозненность человеческих понятий"*.

Здесь Конт делает главный ошибочный шаг. Он «отделил» все без исключения философские направления от «положительного знания», т.е. от естественных наук. По мнению Конта, философский **спор между материализмом и идеализмом не имеет серьезных оснований и бессмыслен**. Философия должна отказаться как от материализма, так и от идеализма и **основываться на позитивном (научном) знании**. По его мнению:

1. философское знание должно быть **абсолютно точным и достоверным**;
2. для его достижения философия должна использовать научный метод при познании и опираться на достижения других наук;
3. основной путь для получения научного знания в философии — **эмпирическое наблюдение**;
4. **философия должна исследовать лишь факты, а не их причины**, «внутреннюю сущность» окружающего мира и другие далекие от науки проблемы;
5. философия должна освободиться от ценностного подхода и от оценочного характера при исследовании;
6. **философия не должна стремиться стать «царицей наук», сверхнаукой, особым общетеоретическим мировоззрением** — она должна стать конкретной наукой, опирающейся на арсенал именно научных (а не каких-либо иных) средств, и занять свое место среди других наук.

Если выразаться простым языком, то суть позитивизма (любого!) заключена в его лозунге: **«Наука – сама себе философия!»**. Конт противопоставил положительное (научное) знание спекулятивной философии (в худшем смысле). Из тезиса следует, что любая научная теория формирует свою собственную теорию познания и опирается на нее в процессе своего развития. Философия, как таковая, науке не нужна.

Ученый получает **«свободу творчества»**, не ограниченную ни каким мировоззрением (философией). Он может выдвигать **любые идеи**. Теории могут находиться в логическом противоречии друг с другом. Более того, в самих теориях могут быть логические противоречия, если они в теории постулированы. Это упрощенное (вульгарное) объяснение сути позитивизма.

Концепция Конта оказалась «сладким ядом» для науки. Философы-позитивисты вынуждены были подгонять основы своей философии под новейшие теории, пренебрегая историческим человеческим опытом. Это позволяло ученым сравнивать работу философов-позитивистов с работой жриц древнейшей профессии.

Я приведу два мнения:

- «Один из создателей квантовой электродинамики Р.Фейнман... подчеркивает, что от философа требуется нечто большее, чем просто подумать и сказать физику: "Может быть, пространство в мире дискретно, не испробовать ли эту возможность?" О таких возможностях физик знает сам. Проблема состоит в том, как конкретно применить их к развитию физической теории. Философ же, как говорит Фейнман, стоит в сторонке и делает глупые замечания» [6];

- «Когда этот метод (метафизический - В.К.) потерпел неудачу, физик заодно отказался от философии. Сейчас он не ожидает от нее ничего хорошего. Уже одно слово «философия» способно вызвать у него ироническую или даже презрительную улыбку. Ему не доставляет удовольствие вращение в пустоте» [7].

4. ПРОДОЛЖЕНИЕ РАЗВИТИЯ КРИЗИСА.

Историческая обстановка в мире за период до 20 столетия развивалась стремительно:

- - бурное развитие техники требовало научных и инженерных кадров;
- - выросла роль образования, что резко увеличило число людей, занимающихся научными исследованиями;
- - наука пополнилась молодыми учеными, которые не имели достаточного опыта, но были самонадеянны, имели творческие амбиции и завышенную самооценку;
- - вместе техническим прогрессом совершенствовалась приборная база и техника эксперимента;
- - резко возросло количество экспериментальных открытий, требовавших объяснения.

Дальнейшее развитие науки приобретает драматический характер. В 1873 г. выходит капитальный труд Максвелла «Трактат об электричестве и магнетизме» (*A Treatise on Electricity and Magnetism*). Максвелл вводит ток смещения. Благодаря Хэвисайду, Пуанкаре, Лоренцу и другим ученым, уравнения электродинамики принимают вид волновых уравнений.

Теперь сторонники близкодействия почувствовали себя увереннее. Их радость была велика. Они на основании **поверхностного анализа** уравнений Максвелла к калибровке Лоренца сделали заключение о том, что все поля имеют волновой характер и мгновенного действия на расстоянии в природе не существует принципиально.

Как следствие, появилось устойчивое мнение, что вся классическая механика, например механика Ньютона, строго говоря, не является «научной теорией». Критики утверждали, что классические теории «устарели» и их можно рассматривать, как приближенное описание физических явлений. Эти теории необходимо заменить «новейшими теориями».

5. ОШИБКА ФИЗИКОВ.

Физики не разрешили диалектическое противоречие. Им казалось, что внешняя форма 4-х уравнений Максвелла действительно подтверждает теорию близкодействия. Они не стали разграничивать области применения двух концепций. Максвелл и все другие физики не увидели, что в условии калибровки Лоренца «таится» сюрприз. «Дьявол прячется в деталях» [8].

Обратите внимание на хорошо известный факт. Ни один физик его не будет отрицать. Мгновенный скалярный потенциал полей зарядов φ при движении порождает векторный потенциал $\mathbf{A} = \varphi \mathbf{v} / c^2$. Но именно в этом факте и в условии Лоренца для калибровки лежала «мина замедленного действия».

Из дивергенции векторного потенциала A (калибровка Лоренца) мы можем получить уравнение непрерывности для скалярного потенциала [9]. В свою очередь, этот шаг позволяет исключить производные по времени из уравнений Максвелла. Тем самым мы получаем *вторую ветвь решений*, содержащих мгновенные потенциалы. *Первая ветвь* описывает запаздывающие потенциалы.

Об этом не знали ни Максвелл, ни сторонники близкодействия и далекодействия. Случайно ли Максвелл получил описание волновых процессов? Мы на этот вопрос не сможем дать достоверного ответа. Однако именно благодаря второй ветви было *найден строгое решение проблемы электромагнитной массы* и были устранены *«магнитные парадоксы»* в квазистатической электродинамике [10]. Это произойдет много позже.

Квазистатическая ветвь [8]. Поля заряда с мгновенным действием на расстоянии. Поля E и H заряда всегда «привязаны» к заряду и не могут существовать без заряда. Магнитное поле заряда зависит от скорости перемещения заряда v . Если заряд покоится, магнитное поле равно нулю. Электрическое поле заряда обладает инерциальными свойствами, т.е. имеется электромагнитная масса (масса покоя), импульс и кинетическая энергия. Электрическое поле заряда обладает инерциальными свойствами, т.е. имеется электромагнитная масса (масса покоя), импульс и кинетическая энергия.

Волновая ветвь [8]. Поля электромагнитных волн (запаздывающие поля). После излучения волна распространяется и ее поля E и H уже не зависят от источника излучения. Магнитное поле волны всегда жестко связано с электрическим полем. Эти поля не могут существовать раздельно. Плотности энергии электромагнитной волны нельзя поставить в соответствие плотность инерциальной массы. Плотность массы покоя электромагнитной волны всегда равна нулю. Скорость перемещения электромагнитной волны в свободном пространстве постоянна и всегда равна скорости света c . Связь между плотностью энергии и плотностью импульса электромагнитной волны определяется законом сохранения Пойнтинга.

Некорректный анализ решений уравнений Максвелла создал и даже сейчас поддерживает *устойчивую иллюзию*, что любые поля имеют волновой характер. Тем самым было установлено одно из нескольких ошибочных направлений, давшее жизнь логически противоречивому корпускулярно-волновому дуализму и квантовым теориям.

Свойства принципиально различны. О каком отождествлении полей (дуализме) может идти речь?

6. «РАЗГРОМ» КЛАССИЧЕСКИХ ТЕОРИЙ.

Продолжим исследовать развитие науки. Полную уверенность в победе своей точки зрения сторонники близкодействия получили после исследований Генриха Герца по экспериментальному обнаружению электромагнитных волн. Г. Герц подтвердил экспериментом существование электромагнитных волн.

Они на основании поверхностного анализа уравнений Максвелла к калибровке Лоренца ученые сделали заключение о том, что все без исключения поля имеют волновой характер и *мгновенного действия на расстоянии в природе не существует*. Как следствие, появилось устойчивое мнение, что вся классическая механика, например механика Ньютона, строго говоря, не является «научной теорией». Критики утверждали, что *классические теории «устарели»* и их можно рассматривать, как приближенное описание физических явлений. Эти теории необходимо заменить «новейшими теориями».

Здесь следует принять во внимание следующие обстоятельства.

Во-первых, большую роль сыграл психологический фактор. Классические теории не могли дать объяснение новым явлениям. У молодых ученых появилась тщеславная идея «превзойти самого Ньютона». Казалось бы, что для этого шага есть все основания. Эти основания породили у молодых ученых мнение о собственной непогрешимости.

Во-вторых, отсутствие философских критериев научности, характерное для позитивизма, выработывало у них мнение о своей непогрешимости, разрешавшей игнорировать логические противоречия внутри создаваемых теорий. Эйнштейн их называл «парадоксами» и (вместо объяснения) формулировал «постулаты».

Что есть «постулат»? Это обычная гипотеза, которой придали вид абсолютной истины. Абсолютная истина есть догма. В физике не может быть абсолютных истин. Только бог (если он есть) может что-то постулировать. Налицо мы видим тщеславное желание возвыситься до уровня Бога. Постулат похож на «кирпич», т.е. он похож на дорожный знак «проезд запрещен». Тем самым, он препятствовал последующему анализу причин возникновения «парадокса». Оставим шутки в стороне.

В конце 19 века (уже в то время!), например, проф. О.Д. Хвольсон в своем «Курсе физики» [11] писал: *«...В настоящее время успело сделаться общим достоянием убеждение, что $actio in distans$ не должна быть допускаема ни в одну область физических явлений. Но как ее изгнать из учения о всемирном тяготении?»*.

Хвольсон пишет о мгновенном действии на расстоянии, как о какой-то «заразе» или «инфекции», которую следует изгнать из физики. Итак, к началу 20 столетия **из-за отказа от мгновенного действия на расстоянии** созрела почва для отождествления материальных тел и волн, т.е. «открылась» дорога для корпускулярно-волнового дуализма.

Электродинамика в тот период имела две проблемы; проблему электромагнитной массы и проблему излучения. Критики классических теорий полагали, что новые теории решат проблемы. Но они ошиблись. Вызывает насмешку факт, что физики не только не смогли решить проблемы классических теорий. Они сами в дальнейшем столкнулись с трудностями, корни которых имеют **классическую основу**. «Новейшие теории» не смогли решить проблемы.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Мы видим, что никаких физических оснований для введения гипотезы о корпускулярно-волновом дуализме не существует. Дуализм есть ложное направление в физике, обусловленное математическими ошибками и философским невежеством физиков. Для нас этот результат не является неожиданным. Учебники физики являются примером тиражирования ошибок в науке. Какую бы область ни взяли, везде вы обнаружите нарушение логики, математически некорректные результаты, ошибочные доказательства. В книге [12], [13], мы дали анализ ошибок, которые провоцировали кризис в физике.

Перечислим некоторые ошибки:

1. Уже известная вам ошибка в электродинамике. Физики «не обнаружили» квазистатическую ветвь решений уравнений Максвелла.

2. В физике существует множество преобразований, родственных преобразованию Лоренца. Некоторые преобразования допускают сверхсветовое движение.

3. Неправильная интерпретация Эйнштейном сущности преобразований Лоренца («парадоксы») привела к последующей волне ошибок [14].

4. В термодинамике была вскрыта несостоятельность молекулярно-кинетической теории [14] и т.д.

Итоги анализа весьма печальны. Фактически осталось мало научных теорий без ошибок и заблуждений. Перечислим те, которые совершенно не пригодны для использования: квантовые теории и КЭД (теория атомного ядра, теория атома, теория элементарных частиц), термодинамика в которой МКТ есть совершенно бесполезная надстройка, электродинамика, требующая пересмотра теории излучения и взаимодействия зарядов с волной, ОТО, СТО и др. теории.

Кризис фундаментальных концепций современной физики требует ревизии фактически всей физики. Именно теоретики (экспериментаторы это особая каста) напоминают войско Наполеона в 1812 г., когда после взятия Москвы они с позором убежали во Францию. Без хорошей теории познания кризисы в науке неизбежны [15].

ДОБАВЛЕНИЕ. Физика уже более 100 лет в кризисе. Причины две.

Во-первых, отсутствие материалистической теории познания [16] и господство позитивизма.

Во-вторых, догматизм, охвативший науку. Для преодоления кризиса необходимо широкое обсуждение проблем, опирающихся на материалистический подход. Однако этому препятствует позиция РАН, создавшей так называемую «Комиссию по борьбе с лженаукой...» Ни в одном, уважающем себя государстве, нет такого монстра [17], напоминающего средневековую инквизицию и тормозящую развитие научных идей.

В следующей главе мы начнем анализ уравнений Максвелла и попытаемся выяснить причины успеха уравнений Максвелла и причины неудач в интерпретации явлений классической электродинамики.

ССЫЛКИ:

1. К. Иванков. Нефизические причины кризиса фундаментальной физики.. <https://yandex.ru/tutor/search/docs/?text=причины+кризиса+физики+v+19-20+столетии#a50021a964743a22da8777d3cd7902c6>.
2. В.И. Ленин «Материализм и эмпириокритицизм». М.: Политиздат, 1984
3. В.А. Кулигин. 2018. «Практика - критерий истины?» <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0016/001f/00163633.htm>
4. М. Э. Омеляновский. Диалектика в современной физике. Наука. 1973.
5. И.С. Алексеев Концепция дополненности. М., Наука, 1978.
6. А.М. Мостепаненко. 1977. Методические и философские проблемы современной физики, ЛГУ, Л.
7. М. Бунге. 1975. Философия физики, М., Прогресс.
8. Chubykalo and V. Kuligin. August 03, 2018. *Unknown classical electrodynamics*. Boson Journal of Modern Physics (BJMP) ISSN: 2454-8413. SCITECH Volume 4, Issue 2 RESEARCH ORGANISATION.
9. В.А. Кулигин, М.В. Корнева. 2015. Обсудим книгу Ландау и Лифшица «ТЕОРИЯ ПОЛЯ». <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0016/001e/00162877.htm>
10. Chubykalo , A. Espinoza , V. Kuligin, M. Korneva. June 2019. *Once again about problem “4/3”*. International Journal of Engineering Nechnologies and Management Research. Vol.6 (Iss.6);, ISSN: 2454-1907 DOI: 10.5281/zenodo.3271356

11. В.А. Кулигин, М.В. Корнева, Г.А. Кулигина. 2018. «Механические» основы уравнений Максвелла. <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0016/001f/00163788.htm>
12. О.Д. Хвольсон. 1897. Курс физики, Том 1. Избранное. (Конструктивы механики и измерения), с.1 – 36. Издание К.Л. Риккера,
13. В. Кулигин . 2020. По ошибкам теоретиков и корпускулярно-волновому дуализму ... *ПЛИ!* <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0001/005d/00012454.htm>
14. V. Kuligin. 2020. Attack on the Wave-Particle Duality and Errors in Physics . Publising Polmarum. # (5281), ISBN 978-620-2-39434-5.
15. М.В. Корнева, В.А. Кулигин. 2020. СТО как отражение философского невежества/ <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0016/001h/4464-kk.pdf>
16. В.А. Кулигин. 2018. Материалистическая теория познания научной истины. <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0001/005c/00012135.htm>
17. О.И. Перова. 2004. ТЕМНЫЕ ИГРЫ В ФИЗИКЕ. <http://bourabai.kz/articles/dark-games.htm>

Глава 2. Гениальная ошибка Максвелла

1. Введение
2. От экспериментов Фарадея к уравнениям Максвелла
3. Свойства непрерывных полей зарядов.
4. Гениальное решение Максвелла
5. Фатальная ошибка физиков XIX века
6. Заключение

1. ВВЕДЕНИЕ

Считается, что ученые стремятся вперед, к новым открытиям. Это осталось в прошлом. Сейчас, в эпоху догматизма, увяла романтика научного поиска. Исследовательские публикации полны мелкотемья, повторения пройденного в разных вариантах и т.д. Целью становится не научная истина, а защита диссертации. Это печально, поскольку такой неприятный факт свидетельствует о тупике в развитии физики. В таких случаях полезно остановиться и повторно проанализировать путь, пройденный наукой.

Спешка, возникающая из желания исследователя сделать «открытие», выдвижение «сумасбродных гипотез» редко ведут к желаемым результатам. Здание науки должно строиться на *прочном* фундаменте. Поэтому проверка корректности оснований науки и логической непротиворечивости ее содержания есть *необходимое условие* ее поступательного развития. В этом смысле важен *принцип преемственности знаний*, т.е. *кумулятивный эффект* в развитии науки. Знание не может возникнуть из «ничего» на основе полного отказа от предыдущих результатов практики. Увы. Позитивизм *отрицает* кумулятивный эффект.

Мы проведем краткий анализ электродинамики от Максвелла до наших дней. Для этого нам придется отбросить многие предрассудки, рожденные на переломе 19-20 веков. Мы должны расстаться с ошибочными мнениями и предрассудками о том, что механика Ньютона «устарела», что мгновенное действие на расстоянии это анахронизм и т.д.

2. ОТ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ФАРАДЕЯ К УРАВНЕНИЯМ МАКСВЕЛЛА

Максвелл совершил научный подвиг, описав явления электродинамики в своих уравнениях. История скрывает много загадок. Прошло много времени. Сейчас нам трудно восстановить логику суждений Максвелла, его мысли и сомнения. Но есть математические теории (теория потенциала, например), которые открывают возможность анализа и косвенно могут пролить свет на исторические события.

Перед Максвеллом стояла сложная задача. Ему были известны работы Эрстеда, законы Кулона, законы Ампера и исследования Фарадея. Это очень мало, если учесть, что Фарадей практически не использовал математику, ограничиваясь словесными описаниями экспериментов и выводами. Мы должны заметить, что в тот период ученые имели дело с квазистатическими явлениями. Измерительные приборы *не позволяли уловить* запаздывание электромагнитных полей.

Мы выбрали путь, который в определенном смысле «параллелен» рассуждениям Максвелла. Прежде всего, отметим важную аналогию между квазистатическими явлениями электродинамики и теорией тяготения, поскольку потенциалы этих полей описываются одним и тем же уравнением Пуассона. Это позволяет нам использовать классическую теорию потенциала, развитую для теории тяготения Ньютона и механику сплошных сред.

Итак, покоящееся заряженное тело создает вокруг себя электростатическое поле. Поле есть *образная физическая модель* (отражение фрагмента реальности), позволяющая нам дать умозрительное представление и на основе *аналогии* представить картину физических явлений и процессов. Электрическое поле обладает энергетическими и силовыми свойствами.

Определение 1. Потенциал электрического поля покоящегося заряда *в данной точке пространства* это *энергетическая* характеристика поля покоящегося заряда в этой точке. Потенциал численно равен работе, которую мы должны совершить, чтобы переместить пробный (единичный, положительный, точечный) заряд из бесконечности в данную точку пространства.

Определение 2. Напряженность электрического поля неподвижного заряда *в некоторой точке пространства* есть *силовая* характеристика поля. Она численно равна силе, которая будет действовать на пробный (единичный, положительный, точечный) заряд, *покоящийся* в данной точке пространства в системе отсчета наблюдателя.

Выделенные слова отражают весьма важный момент. Отсутствие слова «*покоящийся*» в старых определениях приводило к противоречиям (к неоднозначности) и позволяло релятивистам сделать ошибочный вывод о неспособности классических теорий объяснить магнитные явления.

Теория потенциала часто использует понятие точечного заряда. Это заряженное тело, которое в условиях рассматриваемой физической задачи имеет пренебрежимо малый размер. Отметим, что заряженное тело «точечного размера» имеет конечную инерциальную массу покоя и величину электрического заряда.

В физике и в теории потенциала имеет место закон сохранения заряда. Точечный заряд не исчезает и не возникает. Он не «расползается» в пространстве под действием расталкивающих кулоновских сил. Кулоновские силы «уравновешены» силами не электростатического происхождения. Эти силы обеспечивают заряду устойчивость. Если заряженное точечное тело движется со скоростью \mathbf{v} , то $\operatorname{div} \mathbf{v} = 0$.

Помимо этого, если точечное заряженное тело вращается вокруг своей оси, вокруг него не возникает вращения скалярного потенциала ($\operatorname{rot} \varphi = 0$) и, соответственно, не возникает магнитного поля.

Это свидетельство важного факта. При движении заряда его поле движется только *поступательно* независимо от характера и кривизны траектории. Каждая точка потенциала точечного заряда в пространстве всегда имеет одинаковый с зарядом вектор скорости. Иными словами, **все точки** потенциала имеют один и тот же вектор скорости одновременно независимо от траектории движения заряда. Потенциал заряда не совершает вращательного движения относительно своего центра масс. Это утверждение справедливо для любой безграничной среды.

Теперь, закончив формальную сторону, мы можем насладиться математикой.

3. СВОЙСТВА НЕПРЕРЫВНЫХ ПОЛЕЙ ЗАРЯДОВ

Как и Максвелл, мы на первом этапе будем считать, что поля не являются запаздывающими. Как уже мы говорили выше, у нас для этого нет достаточных логических и экспериментальных оснований. *Условно* мы можем рассматривать *потенциал* заряженной частицы как некую безграничную «среду» и можем воспользоваться результатами механики сплошных сред [1].

Замечание. Обычные «материальные среды» (твердые протяженные тела, объемы жидкостей или газовые среды) состоят из элементарных частиц, в состав которых входят заряженные частицы со своими

полями. Отрывать эти скалярные и векторные поля от самих частиц нельзя. Поэтому преобразование Лоренца, как и преобразование Галилея применимо к сплошным средам и к квазистатическим потенциалам заряженных частиц. Позже мы обсудим *предрассудок*, утверждающий, что все без исключения поля являются в рамках релятивистских представлений *запаздывающими* и покажем его ошибочность. Мгновенные потенциалы есть неизбежный элемент *любой* материальных сред.

Напомним, что скалярный потенциал заряженного тела удовлетворяет уравнению Пуассона:

$$\Delta\phi = -\rho/\epsilon$$

Уравнение непрерывности для скалярного потенциала. Уравнение непрерывности скалярного потенциала имеет стандартный вид:

$$\frac{\partial\phi}{\partial t} + \operatorname{div}\mathbf{v}\phi = 0 \quad (2.3.1)$$

Это известное уравнение механики сплошных сред. Мы можем ввести векторный потенциал \mathbf{A} . Пусть $\mathbf{A} = \phi\mathbf{v}/c^2$, тогда мы можем записать новую форму уравнения непрерывности:

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial\phi}{\partial t} + \operatorname{div}\mathbf{A} = 0 \quad (2.3.2)$$

В электродинамике это условие обычно называют условием калибровки Лоренца. Мы напоминаем, что потенциал поля точечного заряда движется всегда поступательно, т.е. все точки потенциала ϕ имеют *одну и ту же скорость*.

Уравнение сохраняемости векторных трубок и их интенсивности. [1]. Для некоторого произвольного вектора \mathbf{a} это уравнение имеет вид:

$$\frac{\partial\mathbf{a}}{\partial t} + \mathbf{v}\operatorname{div}\mathbf{a} + \operatorname{rot}[\mathbf{a} \times \mathbf{v}] = 0 \quad (2.3.3)$$

Если мы заменим вектор \mathbf{a} векторным полем $\mathbf{E}_q = -\operatorname{grad}\phi$, то можем записать:

$$\frac{\partial\operatorname{grad}\phi}{\partial t} + \mathbf{v}\Delta\phi + \operatorname{rot}[\operatorname{grad}\phi \times \mathbf{v}] = \frac{\partial\operatorname{grad}\phi}{\partial t} + \mathbf{v}\Delta\phi + \operatorname{rot}(\phi\mathbf{v}) = 0. \quad (2.3.4)$$

Мы введем следующие обозначения:

$$\mathbf{H} = \frac{1}{\mu} \operatorname{rot}\mathbf{A}; \quad \mathbf{E}_q = -\operatorname{grad}\phi; \quad \mathbf{j} = \rho\mathbf{v}$$

где: $\mathbf{E}_q = -\operatorname{grad}\phi$ есть кулоновское электрическое поле.

Окончательная форма уравнения (2.4) имеет вид:

$$\operatorname{rot}\mathbf{H} = \epsilon \frac{\partial\mathbf{E}_q}{\partial t} + \mathbf{j}; \quad (2.3.5)$$

Стороннее электрическое поле (фарадеевское поле) [2]. При движении скалярного потенциала относительно неподвижного наблюдателя наблюдатель обнаружит «добавку» к напряженности поля. Эта добавка есть *стороннее электрическое поле*. Напряженность стороннего поля равна:

$$\mathbf{E}_f = -\frac{\partial\mathbf{A}}{\partial t}. \quad (2.3.6)$$

Сторонним это поле является потому, что оно не может быть выражено в форме градиента потенциала электростатического поля как \mathbf{E}_q , т.е. поле \mathbf{E}_f не имеет электростатического происхождения. Сторонняя ЭДС есть *результат движения* поля скалярного потенциала относительно покоящегося пробного заряда в системе отсчета наблюдателя. Нетрудно показать, что имеет место тождество:

$$\operatorname{rot}\mathbf{E}_f = -\mu\operatorname{rot}\frac{\partial\mathbf{A}}{\partial t} = -\mu\frac{\partial\mathbf{H}}{\partial t} \quad (2.3.7)$$

Это тождество получило название «закон Фарадея». Обычно к фарадеевскому полю \mathbf{E}_f добавляют кулоновское поле \mathbf{E}_q . Мы этого делать не будем, поскольку такой шаг не вносит новой информации и нарушает симметрию и общую логику объяснения.

Если бы Максвелл следовал законам теории потенциала и механики сплошных сред, он записал бы следующую систему уравнений:

$$\operatorname{rot}\mathbf{H} = \varepsilon\frac{\partial\mathbf{E}_q}{\partial t} + \mathbf{j}; \quad \operatorname{rot}\mathbf{E}_f = -\mu\frac{\partial\mathbf{H}}{\partial t}; \quad \operatorname{div}\mathbf{E}_q = -\frac{1}{\varepsilon}\Delta\phi = \frac{\rho}{\varepsilon}; \quad \operatorname{div}\mathbf{E}_f = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\phi}{\partial t^2} \quad (2.3.8)$$

$$\text{где: } \mathbf{H} = \frac{1}{\mu}\operatorname{rot}\mathbf{A}; \quad \mathbf{E}_q = -\operatorname{grad}\phi; \quad \mathbf{E}_f = -\frac{\partial\mathbf{A}}{\partial t}; \quad \frac{1}{c^2}\frac{\partial\phi}{\partial t} + \operatorname{div}\mathbf{A} = 0; \quad \mathbf{j} = \rho\mathbf{v}$$

Система уравнений (2.3.8) превосходно описывает *квазистатические явления*. Все поля и потенциалы имеют *мгновенно действующий характер*. В первое уравнение (2.3.8) входит ток смещения $\mathbf{j}_q = \varepsilon\frac{\partial\mathbf{E}_q}{\partial t}$, который создается кулоновским полем. Ток смещения $\mathbf{j}_f = \varepsilon\frac{\partial\mathbf{E}_f}{\partial t}$ отсутствует, поскольку он *не имеет электростатического происхождения* (см. выражение (2.3.4)). В тот период механика сплошных сред находилась в стадии становления, и Максвеллу пришлось *самостоятельно* решать задачу введения токов смещения, опираясь на логику и интуицию.

4. ГЕНИАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ МАКСВЕЛЛА

Рассмотрим хронологию событий.

1885 г. Джеймс Максвелл дал первую математически обоснованную формулировку теории электромагнетизма **без учета токов смещения**.

1861—1862 г. Джеймс Максвелл опубликовал статью в 2 частях «*О физических силовых линиях*» [3], в которых он впервые ввел ток смещения.

Обратите внимание на период 6 лет. Максвелл долго искал окончательную формулировку своих уравнений. Проблема была действительно сложная. С одной стороны, на него влиял авторитет механики Ньютона (мгновенное действие на расстоянии). Чтобы реализовать

мгновенное действие в уравнениях, он мог бы ввести только «кулоновский» ток смещения

$$\mathbf{j}_{bc} = \mathbf{j}_q = \varepsilon\frac{\partial\mathbf{E}_q}{\partial t}. \text{ В этом случае он получил бы систему квазистатических уравнений (2.3.8).}$$

С другой стороны, он должен был учитывать мнение Фарадея и сторонников близкодействия, которые считали, что поля распространяются в пространстве с конечной скоростью, как и свет. Мнение Фарадея оказалось более сильным.

Здесь Максвелл поддается искушению и, вопреки логике механики сплошных сред, объединяет фарадеевское и кулоновское поля $\mathbf{E} = \mathbf{E}_q + \mathbf{E}_f$. Почему вопреки логике? Потому, что фарадеевское поле является *сторонним полем*, имеющим другую природу. *Свойства этих полей различны*, и объединение их, по сути, *не является законным*. Это *была гениальная ошибка Максвелла*. Похожий шаг, т.е. незаконное «объединение» инерциальной и гравитационной масс сделал Эйнштейн. Но это уже не было «гениальной» ошибкой. Шаг Эйнштейна породил монстра, т.е. ОТО. Итак,

$$\mathbf{j}_{bc} = \mathbf{j}_q + \mathbf{j}_f = \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}_q}{\partial t} + \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}_f}{\partial t}. \quad (2.4.1)$$

Благодаря работам Хэвисайда, Лоренца и других ученых сейчас уравнения Максвелла в калибровке Лоренца для электромагнитных потенциалов имеют следующий вид:

$$\Delta \mathbf{A} - \frac{\partial^2 \mathbf{A}}{\partial (ct)^2} = -\mu \mathbf{j}; \quad \Delta \phi - \frac{\partial^2 \phi}{\partial (ct)^2} = -\frac{\rho}{\varepsilon}; \quad \mathbf{j} = \rho \mathbf{v}; \quad \operatorname{div} \mathbf{A} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \phi}{\partial t} = 0$$

$$\mathbf{E} = -\operatorname{grad} \phi - \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t}; \quad \mathbf{H} = \operatorname{rot} \mathbf{A} \quad (2.4.2)$$

Система уравнений приобрела «волновой вид». Максвелл и его коллеги не заметили ошибку. Ошибка опиралась заблуждения сторонников близкодействия, которые казались «очевидными».

Первое заблуждение. Волновая форма уравнений (2.4.2) для электромагнитных потенциалов *обманчива*. Ученые, даже не задумываясь, приходят к следующему выводу. Потенциалы \mathbf{A} и ϕ являются решениями волновых уравнений, и они *всегда* являются *запаздывающими потенциалами*. Это заблуждение имеет место даже сейчас.

На самом деле Максвелл, *сохранив кулоновский ток смещения* в сумме $\mathbf{j}_{bc} = \mathbf{j}_q + \mathbf{j}_f$, тем самым сохранил *мгновенное действие на расстоянии* в «скрытой форме». Ни он сам, ни последователи так и *не осознали* этого. *Непонимание этого факта* способствовало с одной стороны бурному развитию радиосвязи и радиолокации, с другой стороны оно спровоцировало кризис физики в начале XX века.

Второе заблуждение. Это заблуждение связано с предельным переходом от волновых уравнений (2.4.2) к квазистатическим уравнениям. Считается, что уравнения квазистатической электродинамики достаточно легко получить из (2.4.2), если в уравнениях устремить скорость света c к бесконечности. С формально-математической точки зрения это утверждение справедливо. Уравнение (2.4.2) в этом случае получает «квазистатическую» форму:

$$\Delta \mathbf{A} = -\mu \mathbf{j}; \quad \Delta \phi = -\frac{\rho}{\varepsilon}; \quad \mathbf{j} = \rho \mathbf{v}; \quad \operatorname{div} \mathbf{A} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \phi}{\partial t} = 0; \quad \mathbf{E} = -\operatorname{grad} \phi - \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t}; \quad \mathbf{H} = \operatorname{rot} \mathbf{A}$$

Но это утверждение также является физически ошибочным. Действительно, мы хорошо знаем, что $c^2 = 1/\varepsilon\mu$. Следовательно, мы можем получить предел $c \rightarrow \infty$ двумя способами.

- Если $\varepsilon \rightarrow 0$, тогда $c \rightarrow \infty$. Однако, мы «теряем» закон Кулона, без которого невозможно описать квазистатические явления.

- Если $\mu \rightarrow 0$, тогда $c \rightarrow \infty$. Однако, мы «теряем» закон Фарадея, без которого также невозможно описать квазистатические явления.

Таким образом, хотя предельный переход $c \rightarrow \infty$ математически существует, он неприменим с точки зрения описания физических явлений. Это косвенно свидетельствует о *независимости* волновых полей и квазистатических полей зарядов. Ниже приведена Таблица 1 для сравнения свойств запаздывающих полей и мгновенных полей. *Остается удивляться: почему эти факты физики игнорируют?* Взгляните на Таблицу 1.

Таблица 1

Квазистатические поля заряда (мгновенное действие на расстоянии)	Волновые поля (запаздывающие потенциалы)
Поля E и H заряда всегда « привязаны » к заряду и не могут существовать без заряда.	После излучения волна распространяется и уже не зависит от источника излучения
Магнитное поле заряда зависит от скорости перемещения заряда. Если заряд покоится, магнитное поле равно нулю.	Магнитное поле волны всегда жестко связано с электрическим полем. Эти поля не могут существовать раздельно.
Электрическое поле заряда обладает инерциальными свойствами , т.е. имеется электромагнитная масса (масса покоя), импульс и кинетическая энергия. Электромагнитная масса обладает всеми свойствами обычной (механической) инерциальной массы	Плотности энергии электромагнитной волны нельзя поставить в соответствие плотность инерциальной массы. Плотность массы покоя электромагнитной волны всегда равна нулю.
Скорость перемещения полей заряда всегда равна скорости движения заряда и может быть равна нулю.	Скорость перемещения электромагнитной волны в свободном пространстве постоянна и всегда равна c .
Связь между электромагнитной массой, электромагнитным импульсом описывается законом Умова .	Связь между плотностью энергии и плотностью импульса электромагнитной волны определяется законом сохранения Пойнтинга .

Добавлено примечание (IV1):

Третье заблуждение. Теперь мы знаем, что решения уравнений Максвелла могут содержать мгновенные и запаздывающие потенциалы. Как следствие *калибровочная инвариантность не имеет место!* Она не существует. Поэтому различные «доказательства» справедливости *калибровочной инвариантности*, например в [4], [5], следует считать ошибочными. Их можно было бы считать корректными, если бы все без исключения потенциалы были запаздывающими.

Еще раз повторим, что никаких физических оснований для *введения гипотезы о корпускулярно-волновом дуализме* нет. Дуализм с позиции *классической физики* есть **ложное направление** в физике, обусловленное математическими ошибками, нарушениями логики и философским невежеством физиков.

Замечание. В физике (особенно в КЭД) широко используется *кулоновская калибровка*. Она, в силу существования двух ветвей решений уравнений Максвелла, **не эквивалентна** калибровке Лоренца. Тем не менее, заблуждение об эквивалентности калибровок стало догмой (*третье заблуждение*). Не случайно у

авторов книг возникают трудности при объяснении явлений в рамках кулоновской калибровки. Например, автор [4] пишет:

«..... Наряду с калибровкой Лоренца, иногда, (особенно в квантовой теории поля) пользуются другой, так называемой кулоновской калибровкой, при которой

$$\operatorname{div}\mathbf{A} = 0$$

При этой калибровке уравнения для потенциалов приобретают вид

$$\Delta\mathbf{A} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{A}}{\partial t^2} - \operatorname{grad} \frac{\partial\phi}{\partial t} = -\frac{4\pi}{c} \mathbf{j}; \quad \Delta\phi = -4\pi\rho$$

При кулоновской калибровке скалярный потенциал ϕ определяется распределением зарядов так, как будто бы они покоились. Само собой разумеется, напряженности поля \mathbf{E} и \mathbf{H} , найденные из решений уравнений для потенциалов с кулоновской калибровкой и калибровкой Лоренца совпадают...»

Автор «небрежно» рассматривает вопрос об эквивалентности калибровки Лоренца и кулоновской калибровки. Он противник мгновенного действия на расстоянии. Поэтому ему нужно как-то скрыть факт появления в кулоновской калибровке мгновенно действующих потенциалов (уравнение Пуассона для скалярного потенциала).

Он обманывает читателей, говоря: «скалярный потенциал ϕ определяется распределением зарядов так, как будто бы они покоились». Это он говорит о движущихся зарядах, создающих плотность тока \mathbf{j} (!) и констатирует *отсутствие запаздывания* у скалярного потенциала. Более того, записанная форма калибровки дефективна физически. В такой записи утрачивается всякая связь между скалярным и векторным потенциалами (уравнение непрерывности для скалярного потенциала исчезает). Кулоновская калибровка получается некорректной:

Во-первых, скалярный потенциал в кулоновской калибровке удовлетворяет уравнению Пуассона, поэтому он не может быть запаздывающим, а векторный потенциал всегда запаздывает (волновое уравнение).

Во-вторых (как следствие), электрическое поле $\mathbf{E} = -\operatorname{grad}\phi$ движется синхронно с зарядом (мгновенное действие на расстоянии), а магнитное поле $\mathbf{H} = \operatorname{rot}\mathbf{A}$ должно «отставать» от заряда (поле запаздывающего потенциала).

Авторы «Теории поля» и «Электродинамики сплошных сред» Ландау и Лифшиц прекрасно понимали суть вопроса. Чтобы *скрыть* проблему, они в своих учебниках ни разу *не упомянули* о существовании кулоновской калибровке, хотя постоянно и «незаметно» обращаются к ней.

5. ФАТАЛЬНАЯ ОШИБКА ФИЗИКОВ XIX ВЕКА

Итак, как сказано было в Главе 1, начиная с середины 19 века обстановка в науке начала кардинально меняться. Развитие техники и промышленной механики способствовало общему техническому прогрессу. В науке стала интенсивно развиваться техника эксперимента и расширилась база измерительных приборов.

Сообщество ученых пополнилось молодыми энергичными учеными, которые искали славы и жаждали новых открытий. Юношеский максимализм не позволял им искать компромиссы. Это состояние поддерживалось революционными настроениями в обществе и в среде молодежи, порожденными в тот период революционной теорией Маркса.

Развитие техники эксперимента привело к новым многочисленным экспериментальным открытиям.

Вот некоторые из этих открытий:

1881 г. Американский физик Майкельсон провел измерение скорости «эфирного ветра». Позже Майкельсон и Эдвард Морли повторили опыт несколько раз с возрастающей точностью, но результат был неизменно отрицательным — «эфирного ветра» не существовало.

1888 г. Г. Герц. Экспериментальное обнаружение электромагнитных волн и подтверждение уравнений Максвелла.

1895 г. Открытие рентгеновского излучения (В. К. Рентген)

1896 г. Открытие радиоактивности (А. А. Беккерель). Эффект Зеемана.

1896 г. А. Попов, Маркони. Опыты по передаче и приему электромагнитных волн.

1897 г. Открытие Дж. Дж. Томсоном электрона.

1898 г. Открытие радия (П. и М. Кюри)

1899 г. Разделение радиоактивного излучения на компоненты: альфа-, бета- и гамма-излучение (П. Виллар, Э. Резерфорд).

1911 г. Открытие сверхпроводимости металлов (Х. Камерлинг-Оннес).

1919 г. Искусственная ядерная реакция, открытие протона (Э. Резерфорд)

1921 г. Открытие ядерной изомерии (О. Ган) и др.

Мы хорошо знаем, что в тот период шла ожесточенная и бескомпромиссная борьба между сторонниками близкодействия и сторонниками мгновенного действия на расстоянии. Открытие Г.Герца и последующее широкое использование электромагнитных волн в радиосвязи склонило чашу весов на сторону теории близкодействия.

Старая классическая физика в руках *молодых и неопытных ученых* не позволяла дать объяснение новым экспериментальным результатам. Молодые сторонники близкодействия «увидели» главную причину (ошибка молодости – отрицание преемственности знаний!) в том, что старая классическая механика использует мгновенное действие на расстоянии. Они подвергли сомнению *всю* старую классическую физику! Коллективными усилиями мгновенное действие на расстоянии было изгнано из физики, как *ошибочное представление*. Молодые ученые испытывали эйфорию, радость «успеха». Они «превзошли **самого** Ньютона» и свято верили в *свою непогрешимость!*

Этот шаг стал одной из главных **фатальных ошибок**, которые спровоцировали кризис в физике на границе XIX – XX веков. Ученые полагали, что только новейшие теории, которые они начали создавать, помогут «исправить устаревшие» классические теории и обеспечат прогресс в области научных исследований.

Этим надеждам не удалось сбыться. Сами новейшие теории (квантовые теории, теория элементарных частиц, КЭД и др.) не могли решить главные проблемы даже классической электродинамики: **проблему электромагнитной массы и проблему «самоускорения» излучающего электрона.**

Более того, новые теории неожиданно столкнулись с проблемами. Оказалось, что многие трудности в «новейших теориях» имеют **«классические корни»** [6]. Поэтому часть ученых начала периодически обращаться к анализу старой физики, чтобы понять причины и устранить их (например, [7] и др.).

До кризиса строгая старая физика напоминала красивого Аполлона. Она опиралась на материалистическое мировоззрение, которое к тому времени застыло в развитии. После изгнания

мгновенного действия на расстоянии философия материализма была вытеснена из физики *позитивистскими философиями*. Физика, лишенная мгновенного действия на расстоянии, стала похожа на Аполлона с ампутированной ногой.

В следующей главе нам предстоит рассмотреть две независимые ветви электродинамики.

ССЫЛКИ.

1. Н.Е. Кочин. Векторное исчисление и начала тензорного исчисления, Наука, М. 1963
2. И.Е. Тамм Основы теории электричества, М.: ФИЗМАТЛИТ, Россия. 2003, ISBN 5-9221-0313-X
3. Maxwell, J. C. (1861). "On physical lines of force". *Philosophical Magazine*. **90**: 11–23. Bibcode:2010PMag...90S..11M. doi:10.1080/14786431003659180
4. В.Г. Левич Курс Физики т.1, ГИФМЛ, М. 1962.
5. J.D. Jackson Classical Electrodynamics **Publisher:** John Wiley & Sons; 3rd Edition edition (1 Dec. 1998) **ISBN-10:** 047130932X **ISBN-13:** 978-0471309321
6. Lee Smolin. The Trouble With Physics: *The Rise of String Theory, The Fall of a Science, and What Comes Next* . Publisher: Mariner Books; Reprint edition (September 4, 2007), Language: English, , ISBN-10: 061891868X, ISBN-13: 978-0618918683
7. Гэри Бейтс. Теория струн как очередная идея фикс? http://www.origins.org.ua/page.php?id_story=1344

Глава 3. Две ветви решений уравнений Максвелла.

1. Квазистатическая ветвь электродинамики
2. Электромагнитная масса
3. Волновая ветвь электродинамики
4. Обобщенный закон сохранения энергии-импульса Пойнтинга
5. Виртуальные заряды и токи.
6. Заряды и токи на поверхности металла
7. Заключение

Мы установили в Главе 2, что решения уравнений Максвелла могут содержать не только запаздывающие потенциалы, но и мгновенно действующие потенциалы. Электродинамика Максвелла содержит две независимые ветви: квазистатическая ветвь и волновая ветвь. Следствия мы рассмотрим в других главах.

1. КВАЗИСТАТИЧЕСКАЯ ВЕТВЬ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

Скрытый мгновенный потенциал. В четвертом параграфе предыдущей главы мы установили, что мгновенные потенциалы в уравнениях Максвелла присутствуют в «скрытой» форме. Другими словами, мы можем задать такие условия, при которых решение системы уравнений (3.1.1) будет содержать мгновенные потенциалы. Это удобно показать, если записать потенциалы уравнения Максвелла через 4-потенциалы [1].

$$\frac{\partial^2 A_i}{\partial x_i^2} = -\mu j_i \quad (3.1.1); \quad \frac{\partial A_i}{\partial x_i} = 0 \quad (3.1.2); \quad \frac{\partial j_i}{\partial x_i} = 0 \quad (3.1.3)$$

где: $u_i = dx_i / ds$; $j_i = c\rho u_i$; $A_i = \phi u_i / c$.

Уравнения Максвелла описываются выражением (3.1.1); выражение (3.1.2) есть условие калибровки Лоренца; выражение (3.1.3) это уравнение непрерывности для 4-вектора тока. Это стандартная релятивистская запись уравнений Максвелла употребляется во многих учебниках.

Нас будут интересовать два выражения: условие (3.1.2) и 4-вектор A_i для полей заряда. Классические аналоги этих выражений имеют вид:

$$\operatorname{div} \mathbf{A}_0 + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \phi_0}{\partial t} = 0 \quad (3.1.4); \quad \mathbf{A}_0 = \phi_0 \mathbf{v} / c^2 \quad (3.1.5)$$

Чтобы избежать путаницы, мы будем присваивать мгновенным потенциалам индекс «0». Выражение (3.1.5) закрепляет «жесткую связь» между скалярным и векторным потенциалами. Напомним, что мгновенный скалярный потенциал способен совершать только *поступательное* (прямолинейное или криволинейное) движение в пространстве.

Легко убедиться, что при подстановке выражения (3.1.5) в условие калибровки Лоренца (3.1.4) мы получим уравнение непрерывности для скалярного потенциала ϕ_0 .

$$c^2 \operatorname{div} \mathbf{A}_0 + \frac{\partial \phi_0}{\partial t} = \operatorname{div} \mathbf{v} \phi_0 + \frac{\partial \phi_0}{\partial t} = 0 \quad \text{или} \quad \frac{\partial \phi_0}{\partial t} + \operatorname{div} \mathbf{v} \phi_0 = 0 \quad (3.1.6)$$

Теперь мы можем исключить частные производные по времени из уравнений Максвелла. Для иллюстрации рассмотрим скалярный потенциал точечного инерционного заряда, который перемещается вдоль оси x со скоростью \mathbf{v} . Используя (3.1.6), можно найти следующие выражения:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \phi_0}{\partial t} &= -\operatorname{div} \mathbf{v} \phi_0 = -v \frac{\partial \phi_0}{\partial x}; \\ \frac{\partial^2 \phi_0}{\partial t^2} &= -\frac{\partial}{\partial t} \left(v \frac{\partial \phi_0}{\partial x} \right) = -v \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial \phi_0}{\partial t} - \frac{\partial \phi_0}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial t} = v^2 \frac{\partial^2 \phi_0}{\partial x^2} - \frac{\partial \phi_0}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial t} \end{aligned} \quad (3.1.7)$$

Правая часть уравнений (3.1.7) уже не содержит производных по времени скалярного потенциала. Если заряд движется с постоянной скоростью \mathbf{v} , тогда выражение (3.1.7) можно упростить

$$\frac{\partial^2 \phi_0}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 \phi_0}{\partial x^2} \quad (3.1.8)$$

Используя (3.1.8), приведем *волновое уравнение* для скалярного потенциала к уравнению пуассоновского (*эллиптического*) типа

$$\frac{\partial^2 \phi_0}{\partial x^2} \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right) + \frac{\partial^2 \phi_0}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi_0}{\partial x^2} = -\frac{q}{4\pi\epsilon_0 \sqrt{1 - (v/c)^2}} \delta(x - vt; y; z) \quad (3.1.9)$$

Решением уравнения (6.9) является скалярный потенциал ϕ_0 :

$$\phi_0 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \sqrt{(x - vt)^2 + (1 - v^2/c^2)(y^2 + z^2)}} \quad (3.1.10)$$

Этот потенциал ϕ_0 является мгновенным. Мы обращаем внимание на то, что выражение (3.1.10) мы можем получить другим путем. Мы можем, например, применить преобразование Лоренца к потенциалу покоящегося заряда. Аналогичные выражения можно получить для векторного потенциала \mathbf{A}_0 , если принять во внимание замечания, изложенные в параграфе 3.

2. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ МАССА ЗАРЯДА.

Докажем закон сохранения Умова для **инерциальных зарядов**. Запишем уравнения Максвелла в калибровке Лоренца (3.1.1) – (3.1.3). Покажем, что для уравнения Максвелла в калибровке Лоренца имеет место закон сохранения Умова. Но сначала сделаем предварительное замечание: величины ρ и ϕ берутся в системе отсчета, связанной с равномерно движущимся зарядом ($\mathbf{v} = 0$).

Для доказательства закона Умова умножим выражение (3.1.1) на $-(c/2\mu) \cdot (\partial A_k / \partial x_i)$ и преобразуем полученный результат.

Правая часть.

$$\frac{c}{2} j_i \frac{\partial A_k}{\partial x_i} = \frac{1}{2} c^2 \rho u_i \frac{\partial A_k}{\partial x_i} = \frac{c^2 \rho}{2} \frac{\partial \phi u_k}{\partial x_i} u_i = \frac{c^2}{2} \rho \phi \frac{du_k}{ds} = 0$$

Итак, правая часть обращается в нуль, поскольку потенциал ϕ берется в собственной системе отсчета, где он не зависит от времени. Заряд не ускоряется, поскольку на заряд не действуют внешние силы.

$$\left(\frac{du_k}{ds} = 0 \right).$$

Левая часть

$$-\frac{c}{2\mu} \frac{\partial A_k}{\partial x_i} \frac{\partial^2 A_i}{\partial x_i^2} = -\frac{c}{2\mu} \frac{\partial}{\partial x_i} (A_k \frac{\partial^2 A_i}{\partial x_i^2}) = \frac{c}{2} \frac{\partial}{\partial x_i} (A_k j_i) = c \frac{\partial}{\partial x_i} (\frac{\rho \phi}{2} u_k u_i) = 0 \quad (3.2.1)$$

Итак, мы получили в левой части выражение для дивергенции **тензора плотности энергии-потока** для поля заряда. Если компоненты этого тензора разделить на квадрат скорости света и проинтегрировать по пространственному объему, то получим выражение для тензора **энергии-импульса** T_{ik} релятивистской частицы с электромагнитной массой m_e [2]. 4-дивергенция тензора T_{ik} определяется выражением:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (T_{ik}) = \frac{\partial}{\partial x_i} (m_e c u_i u_k) = 0 \quad (3.2.2)$$

Из полученного выражения следует, что *релятивистский импульс электромагнитной массы постоянен*. Это очевидно, поскольку, как было сказано выше, силы на заряд не действуют, и заряд перемещается с постоянной скоростью $\frac{\partial \mathbf{P}_e}{\partial t} = 0$

Из (3.2.1) вытекает закон сохранения энергии **Умова**, имеющий стандартную форму. $\text{div} \mathbf{S}_u + \frac{\partial w}{\partial t} = 0$

(3.2.3)

Отсюда вытекают следующие релятивистские результаты:

$$m_e = \int \frac{1}{c^2} w_0 dV = \int \frac{\rho_0 \phi_0}{2c^2 \sqrt{1 - (v/c)^2}} dV = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \quad \text{есть} \quad \text{электромагнитная} \quad \text{масса}$$

релятивистского заряда, «зависящая от скорости»;

$$m_0 = \int \frac{\rho_0 \phi_0}{2c^2} dV \quad \text{есть} \quad \text{электромагнитная} \quad \text{масса} \quad \text{покоящегося} \quad \text{заряда};$$

$$\mathbf{P}_e = \int \frac{\mathbf{S}_u}{c^2} dV = \int \frac{\rho_0 \phi_0 \mathbf{v}}{2c^2 \sqrt{1 - (v/c)^2}} dV = \frac{m_0 \mathbf{v}}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \quad \text{есть} \quad \text{электромагнитный} \quad \text{импульс} \quad \text{заряда}.$$

Нетрудно видеть, что полученное выражение соответствует классическому выражению с точностью до релятивистского множителя. А почему уравнениям Максвелла отвечают **два разных** закона сохранения энергии-импульса (Умова и Пойнтинга)? Ответ прост: каждый закон соответствует определенному **функциональному** решению (один закон для запаздывающих потенциалов, другой для мгновенно действующих потенциалов в рамках уравнений Максвелла). Каждой ветви отвечает свой закон сохранения.

Закон **Умова** описывает сохранение энергии **мгновенно действующих потенциалов**, а закон сохранения энергии **Пойнтинга** применим только для **запаздывающих потенциалов**! Это положение является ключевым для понимания явлений электродинамики.

Итак, электромагнитная масса поля заряда m_e обладает всеми свойствами обычной инерциальной массы.

Принцип причинности. Много ошибок в объяснении явлений физики связано с незнанием, непониманием или неумением использовать для анализа философские категории. Как следствие, у ученых возникают ложные представления (заблуждения, предрассудки), мешающие правильному объяснению явлений физики. Принцип причинности есть одна из малоизвестных категорий. Как показано в [3], имеют место две модели причинных связей.

Первая модель называется *диалектической моделью* причинности. Она справедлива, когда рассматриваются парные взаимодействия. Причиной в этой модели выступает взаимодействие двух объектов. Следствие есть изменение состояния обоих взаимодействующих объектов (изменения импульса, кинетической энергии, траекторий и т.д.).

Взаимодействие связано с непосредственным или опосредованным *контактом* между объектами. Если нет контакта, взаимодействие отсутствует. Мгновенное действие на расстоянии не противоречит диалектической модели причинности.

Вторая модель называется *эволюционной моделью* причинности. Она широко распространена среди ученых и *ошибочно* считается «единственной» моделью причинной связи. Эволюционная модель не рассматривает взаимодействие как причину. Модель рассматривает цепочку связанных между собой и обусловленных явлений. Первое явление считается «причиной». Фактически первое явление цепи может оказаться *поводом* для цепи последующих явлений. Следствием считается явление, замыкающее причинную цепь.

Скорость распространения взаимодействий. Это понятие было введено Эйнштейном. Он опирался на преобразование Лоренца, в которое входил множитель $1/\sqrt{1-(v/c)^2}$. Эйнштейновский «постулат» не корректен по следующим причинам. Атрибутом парного взаимодействия является *непосредственный или опосредованный* (через поля) *контакт* взаимодействующих объектов.

Если нет контакта, нет и взаимодействия. Область контакта принадлежит *обоим взаимодействующим объектам одновременно*. Следовательно, термин «скорость распространения взаимодействий» принадлежит не одному из взаимодействующих объектов, а именно этой области. Если контакта нет, тогда нет взаимодействия и бессмысленно говорить о скорости его распространения.

Термин «скорость распространения взаимодействий» есть *эмоциональное*, но не научное понятие. Поэтому в учебниках вы обнаружите массу попыток иллюстрировать постулат, но не найдете ни одного строгого определения этого понятия.

Мы дадим новое определение идеи Эйнштейна:

В рамках преобразования Лоренца скорости перемещения инерциальных систем, физических объектов, материальных сред и мгновенных потенциалов не могут превышать скорость света.

Преобразование Лоренца и мгновенные потенциалы. Теперь мы должны вернуться к параграфу 3 и продолжить обсуждение мгновенного действия на расстоянии. Преобразование Лоренца есть обычное алгебраическое преобразование. Оно не способно «превратить» мгновенные потенциалы в запаздывающие и обратно. Как мы убедились, преобразование Лоренца прекрасно преобразует скалярный кулоновский потенциал.

Итак, мгновенный скалярный потенциал мы можем рассматривать на законных основаниях (см. Глава 2) как некую *гипотетическую среду*, которая вписывается в релятивистские представления. Скорость заряда не может превышать скорость света. Как мы ранее установили, каждая точка потенциала имеет скорость, равную скорости заряда. Ученым необходимо избавиться от предрассудка («постулата»), связанного с некорректной интерпретацией А. Эйнштейном одного из аспектов преобразования Лоренца.

3. ВОЛНОВАЯ ВЕТВЬ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

В предыдущих параграфах мы выполнили важную работу. Мы показали, что мгновенные потенциалы прекрасно описывают явления квазистатической электродинамики. Но есть еще более важный результат. Фактически *мы реабилитировали классические теории*, например, классическую механику и сделали законным мгновенное действие на расстоянии. Как и в далеком прошлом, классическая механика вновь обрела статус *фундаментальной* науки. Теперь без боязни совершить ошибку мы можем использовать ее методы. Мы будем использовать их при описании волновой ветви электродинамики.

Три вида волн. Вернемся к уравнениям Максвелла в калибровке Лоренца (3.2). Нетрудно видеть, что волновая электродинамика имеет дело с тремя различными потенциалами:

- Вихревой векторный потенциал \mathbf{A}_1 ; ($\text{div}\mathbf{A}_1 = 0$)
- Безвихревой векторный потенциал \mathbf{A}_2 ; ($\text{rot}\mathbf{A}_2 = 0$).
- Скалярный потенциал ϕ .

Векторный потенциал \mathbf{A} в уравнениях (3.2) мы представили как сумму $\mathbf{A} = \mathbf{A}_1 + \mathbf{A}_2$. Соответственно плотности токов в уравнениях Максвелла мы должны записать как сумму $\mathbf{j} = \mathbf{j}_1 + \mathbf{j}_2$, где $\text{div}\mathbf{j}_1 = 0$; $\text{rot}\mathbf{j}_2 = 0$

Каждый из потенциалов удовлетворяет *волновому уравнению* и описывает поток энергии, переносимый в пространстве в виде волн. Покажем это.

Функция Лагранжа для электромагнитного поля. Мы пойдем не традиционным общепринятым путем, а попробуем выявить и исследовать закономерности, опираясь *на методы классической аналитической механики*. В [2] справедливо утверждается, что функция Лагранжа, вообще говоря, не является однозначной. Однако в физике она всегда должна иметь форму, инвариантную относительно преобразования Галилея (классическая теория) или Лоренца (релятивистский вариант).

В книге [2] построение теоретических основ электродинамики идет от функции Лагранжа для заряда. Затем получают тензор электромагнитного поля F_{kl} . На его основе строится тензор энергии-импульса электромагнитного поля, из дивергенции которого следует одно из уравнений Максвелла. Далее анализ приводит к другим уравнениям системы уравнений Максвелла и к теореме Пойнтинга. Изложение, мягко говоря, не последовательное.

Замечание. Обратите внимание: *только два уравнения* из четырех Ландау получает на основе релятивистского принципа наименьшего действия. Даже закон сохранения Пойнтинга *не следует* из 4-дивергенции *тензора энергии-импульса*, как это обычно имеет место в аналитической механике.

Во-первых, это свидетельствует о скрытой внутренней несогласованности современной теории электромагнитного поля и о противоречии ее с классическими теориями.

Во вторых, сказывается желание авторов «*спрятать трудности*».

Мы, напротив, будем широко использовать *классические аналитические методы*, чтобы выявить главные источники проблем. Мы покажем, что описание электромагнитных явлений *прекрасно укладывается в рамки аналитической механики*. Для этого будем анализировать основы электродинамики *в обратной последовательности*, т.е. начнем с плотности функции Лагранжа для электромагнитного поля, продвигаясь затем от волн к полям зарядов.

В [2] (§33) приводится следующее выражение для плотности функции Лагранжа

$$\Lambda = -\frac{1}{16\pi} F_{ik}^2 = -\frac{1}{16\pi} \left(\frac{\partial A_i}{\partial x_k} - \frac{\partial A_k}{\partial x_i} \right)^2 \quad (3.3.1)$$

Такой вид плотности функции Лагранжа неудобен для нашего исследования. Его необходимо преобразовать. Запишем выражение (3.3.1) в системе **СИ**.

$$\begin{aligned} \Lambda &= [-(F_{ik})^2 / 4 + \mu j_i A_i] / \mu = \\ &= -[(\partial A_k / \partial x_i)^2 - 2\partial A_i / \partial x_k \cdot \partial A_k / \partial x_i + (\partial A_i / \partial x_k)^2] / 4\mu + j_i A_i / 4\mu \end{aligned} \quad (3.3.2)$$

Поскольку функция Лагранжа не определяется *однозначно*, преобразуем выражение (3.3.2) и придадим ему иную форму функции Лагранжа, используя интеграл действия

$$S = \int \Lambda d\Omega = \int \frac{1}{\mu} \left[-\frac{1}{4} (F_{ik})^2 + \mu j_i A_i \right] d\Omega \quad (3.3.3)$$

где: $d\Omega = dx_1 dx_2 dx_3 dx_4$; $j_k = c \rho u_k$ – 4-вектор плотности тока; $u_k = dx_k / ds$ – 4-вектор скорости; ρ – плотность пространственного заряда.

Раскроем подынтегральное выражение, преобразуем и проинтегрируем по частям

$$\begin{aligned} S &= \int \frac{1}{\mu} \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\partial A_i}{\partial x_k} \right)^2 + \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial x_k} \left(A_i \frac{\partial A_k}{\partial x_i} \right) + \mu j_i A_i \right] d\Omega = \\ &= \int \frac{1}{\mu} \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\partial A_i}{\partial x_k} \right)^2 + \mu j_i A_i \right] d\Omega + \int \frac{1}{2\mu} A_i \frac{\partial A_k}{\partial x_i} dS_k \end{aligned} \quad (3.3.4)$$

Во втором интеграле конечного выражения (3.3.4) пределами интегрирования является бесконечность, где при интегрировании по координатам поле исчезает. При интегрировании по времени начальные и конечные точки варьирования фиксированы, и там вариация интеграла равна нулю. Следовательно, последний интеграл в выражении (3.3.4) обращается в нуль. Таким образом, получаем новое весьма простое выражение для плотности функции Лагранжа

$$\Lambda = -\frac{1}{2\mu} \left(\frac{\partial A_i}{\partial x_k} \right)^2 + j_i A_i \quad (3.3.5)$$

Выражение (3.3.2) полностью эквивалентно выражению (3.14). Такая форма функции Лагранжа для электромагнитного поля упоминается, например, в КЭД [4]. Легко убедиться, что уравнения Максвелла в калибровке Лоренца сразу вытекают из лагранжиана (3.3.5).

$$\frac{\partial^2 A_i}{\partial x_k^2} = -\mu j_i. \text{ Такой естественный подход проще, чем в [2].}$$

4. ОБОБЩЕННЫЙ ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ПОЙНТИНГА

Аналитическая механика дает способ построения тензора энергии-импульса по заданной функции Лагранжа. Этот способ описан в [2]. Тензор энергии-импульса равен

$$T_{ik} = \delta_{ik} \Lambda - \sum_l \frac{\partial A_l}{\partial x_i} \frac{\partial \Lambda}{\partial x_k} \quad (3.4.1)$$

$$\text{где } \Lambda = -(\partial A_i / \partial x_k)^2 / 2\mu$$

Вычисления дают следующее выражение для тензора энергии-импульса

$$T_{ik} = \frac{1}{\mu} \frac{\partial A_l}{\partial x_i} \frac{\partial A_l}{\partial x_k} - \frac{1}{2\mu} \delta_{ik} \left(\frac{\partial A_l}{\partial x_l} \right)^2 \quad (3.4.2)$$

Нетрудно заметить, что тензор энергии-импульса симметричен $T_{ik} = T_{ki}$. Известно, что 4-дивергенция этого тензора для свободного пространства (когда поля описываются за пределами источников) равна нулю, т.е. $\partial T_{ik} / \partial x_k = 0$.

Из этого выражения вытекают законы сохранения энергии и импульса волны. Мы запишем результаты для *свободного от источников полей пространства*.

Закон сохранения плотности потока \mathbf{S} электромагнитного поля волны

$$\frac{\partial \mathbf{S}}{\partial t} + \frac{1}{c^2} \text{grad} w = 0 \quad (3.4.3)$$

Закон сохранения плотности энергии w электромагнитного поля волны

$$\text{div} \mathbf{S} + \frac{\partial w}{\partial t} = 0 \quad (3.4.4)$$

где:

$$\mathbf{S} = -\frac{1}{\mu} \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} \text{div} \mathbf{A} - \frac{1}{\mu} \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} \times \text{rot} \mathbf{A} + \varepsilon (\text{grad} \phi \frac{\partial \phi}{\partial t}) \quad (3.4.5)$$

$$w = \frac{1}{2\mu} [(\text{div} \mathbf{A})^2 + (\text{rot} \mathbf{A})^2 + \left(\frac{\partial \mathbf{A}}{\partial ct} \right)^2] - \frac{\varepsilon}{2} [(\text{grad} \phi)^2 + \left(\frac{\partial \phi}{\partial ct} \right)^2] \quad (3.4.6)$$

Мы аналитически получили *обобщенные законы* сохранения Пойнтинга, которые описывают не только закон сохранения плотности *энергии* электромагнитной волны, но и закон сохранения плотности *потока*.

Представим векторный потенциал \mathbf{A} в виде суммы вихревого \mathbf{A}_1 ($\text{div} \mathbf{A}_1 = 0$) и безвихревого \mathbf{A}_2 ($\text{rot} \mathbf{A}_2 = 0$) потенциалов. $\mathbf{A} = \mathbf{A}_1 + \mathbf{A}_2$. В результате мы получаем два векторных закона сохранения для вихревой и безвихревой частей векторного потенциала и для скалярного потенциала. Полученные выражения для законов сохранения плотности энергии и плотности импульса мы занесем в Таблицу 2.

Таблица 2. Энергетические компоненты волновых полей

Поперечные волны векторного потенциала		
$\mathbf{S}_1 = -\frac{1}{\mu} \frac{\partial \mathbf{A}_1}{\partial t} \times \text{rot} \mathbf{A}_1$	$w_1 = \frac{1}{2\mu} [(\text{rot} \mathbf{A}_1)^2 + \left(\frac{\partial \mathbf{A}_1}{\partial ct} \right)^2]$	$p_1 = -\mathbf{j}_1 \frac{\partial \mathbf{A}_1}{\partial t}$
Продольные волны векторного потенциала		
$\mathbf{S}_2 = -\frac{1}{\mu} \frac{\partial \mathbf{A}_2}{\partial t} \text{div} \mathbf{A}_2$	$w_2 = \frac{1}{2\mu} [(\text{div} \mathbf{A}_2)^2 + \left(\frac{\partial \mathbf{A}_2}{\partial ct} \right)^2]$	$p_2 = -\mathbf{j}_2 \frac{\partial \mathbf{A}_2}{\partial t}$
Продольные волны скалярного потенциала		
$\mathbf{S}_3 = \varepsilon \frac{\partial \phi}{\partial t} \text{grad} \phi$	$w_3 = -\frac{\varepsilon}{2} [(\text{grad} \phi)^2 + \left(\frac{\partial \phi}{\partial ct} \right)^2]$	$p_3 = \rho \frac{\partial \phi}{\partial t}$

Из полученных результатов следуют весьма интересные выводы.

Во-первых, в общем случае уравнения Максвелла в калибровке Лоренца описывают *три* различных вида потоков энергии. Это очевидно, поскольку уравнения Максвелла в калибровке Лоренца описываются векторным и скалярным *волновыми* уравнениями.

- **Первый поток** энергии есть известный поток *поперечных* электромагнитных волн, описываемый вектором Пойнтинга. Его плотность равна $S_1 = -\frac{1}{\mu} \frac{\partial A_1}{\partial t} \times \text{rot} A_1 = E \times H$, где **E** и **H** *вихревые* составляющие электромагнитных полей!

- **Второй поток** – поток *продольных* электрических волн векторного потенциала A_2 . Его плотность равна $S_2 = -\frac{1}{\mu} \frac{\partial A_2}{\partial t} \text{div} A_2$.

- **Третий поток** – поток *продольных* волн, образованный скалярным потенциалом ϕ . Его плотность равна $S_3 = \varepsilon \frac{\partial \phi}{\partial t} \text{grad} \phi$.

Во вторых, плотность энергии и плотность потоков S_1 и S_2 , образованных векторным потенциалом **A**, *положительны*, а плотность энергии и плотность потока S_3 , созданного скалярным потенциалом ϕ , *отрицательны*. Это отнюдь *не новый факт*. Об этом знают некоторые специалисты по квантовой теории поля. Но этот факт, как обычно, *мало известен* физикам, которые специализируются в других направлениях. Здесь логический позитивизм постарался *утаить* истину.

Из законов сохранения вытекает интересное следствие. В свободном пространстве плотности потоков и плотности энергий должны удовлетворять волновому уравнению, т.е. плотность потока и плотность энергии тоже являются *запаздывающими*, подобно потенциалам полей электромагнитной волны.

$$\Delta S - \frac{\partial^2 S}{\partial (ct)^2} = 0; \quad \Delta w - \frac{\partial^2 w}{\partial (ct)^2} = 0 \quad (3.4.7)$$

Как мы видим, предельный переход от волновых явлений к явлениям квазистатическим *принципиально невозможен* из-за *отрицательной* энергии поля скалярного потенциала. Одновременно *невозможно* решить проблему *электромагнитной массы* в рамках запаздывающих потенциалов. Электромагнитная масса должна иметь *отрицательный* знак, а ее кинетическая энергия должна быть *положительной*!

Очевидно, что положение не соответствует ни классическим, ни последующим релятивистским представлениям! Теперь вы понимаете причину, по которой П. Дирак, формулируя КЭД, отказался от калибровки Лоренца в пользу кулоновской калибровки, не подозревая, что они *не эквивалентны*! Отрицательная электромагнитная масса не соответствовала его представлениям.

5. ВИРТУАЛЬНЫЕ ЗАРЯДЫ В ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ

Продольные и поперечные волны. Поперечные электромагнитные волны нашли широкое применение на практике. К сожалению, мы не знаем ничего о существовании *продольных* электромагнитных волн. Возможно, они возникают в природе. Однако продольные волны не обнаружены экспериментально до настоящего времени. Поэтому мы должны наложить такие условия на заряды и токи, при которых в решениях волновых уравнений продольные волны не появлялись.

Как показано в [2], для уравнений Максвелла справедливо условие *градиентной инвариантности*. Это условие позволяет исключить из уравнений Максвелла одно уравнение.

Очевидно, что продольные волны \mathbf{S}_2 и \mathbf{S}_3 могут гасить друг друга, поскольку плотности потоков \mathbf{S}_2 и \mathbf{S}_3 плотности энергий w_2 и w_3 имеют противоположные знаки.

Как показано в [1] продольные волны будут отсутствовать только тогда, когда плотности зарядов и плотности токов в правых частях уравнений будут удовлетворять условию:

$$\Delta \rho - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \rho}{\partial t^2} = 0; \quad \Delta \mathbf{j}_2 - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{j}_2}{\partial t^2} = 0 \quad (3.5.1)$$

Такие заряды мы назовем «виртуальными» зарядами.

Виртуальные заряды. Что такое виртуальные заряды (заряды без инерции)? Этот вопрос ученые *не ставили перед собой*. Известно, что для электромагнитных полей должны всегда выполняться граничные условия. Например, на поверхности идеального проводника эти условия имеют следующий вид:

$$\rho_{surf} = (\mathbf{n} \mathbf{E}_s); \quad \mathbf{j}_{surf} = [\mathbf{n} \times \mathbf{H}_s] \quad (3.5.2)$$

где: ρ_{surf} - поверхностная плотность зарядов; \mathbf{j}_{surf} - поверхностная плотность тока; \mathbf{E}_s - электрическое поле вблизи поверхности; \mathbf{H}_s - магнитное поле вблизи поверхности; \mathbf{n} - единичная нормаль к поверхности металла.

У любознательного исследователя всегда возникает вопрос: почему граничные условия выполняются *практически мгновенно*?

Чтобы препятствовать проникновению электрического поля внутрь металла, на поверхности металла должны появляться двигающиеся «избыточные заряды» ρ_{surf} . Учитывая закон сохранения заряда, это явление трудно объяснить. Куда и с какой скоростью уходят «ненужные» заряды одного знака, чтобы остались только избыточные заряды другого знака?

Мы хорошо знаем, что средняя скорость электронов при протекании тока в проводнике составляет величину порядка нескольких миллиметров за секунду. Электроны обладают большой инерцией. Почему на поверхности металла мгновенно возникают большие поверхностные заряды ρ_{surf} и токи \mathbf{j}_{surf} ? Куда исчезает «инерция»? В учебной и научной литературе эти вопросы стараются не комментировать.

Ранее мы показали, что заряды ρ и токи \mathbf{j}_2 в выражении (3.27) должны удовлетворять волновому уравнению. Они подобно запаздывающим потенциалам распространяются со скоростью света. В силу этого масса покоя виртуальных зарядов должна равняться нулю, инерция и кинетическая энергия у виртуальных зарядов отсутствует.

Мы имеем дело с *новым видом проводимости*, который существует одновременно с электронной, ионной и другими видами проводимости. Отсутствие инерции, как мы говорили, способствует быстрому выполнению граничных условий.

6. ЗАРЯДЫ И ТОКИ НА ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛА

Проблема объяснения не простая проблема, поэтому мы начнем издалека. В электродинамике строго выведены граничные условия для полей на границе раздела двух сред. Нас будут интересовать исключительно проводники, поэтому мы запишем граничные условия для электрического и магнитного поля для поверхности проводника.

На поверхность металла падают электромагнитные или световые волны. Поля меняются очень быстро. Какие процессы протекают при этом на поверхности металла? Почему граничные условия выполняются *практически мгновенно*?

Попробуем дать объяснение с позиций классической физики, тем более что мы рассматриваем макроскопические явления. Проблема эта достаточно сложная. Она усугубляется тем, что в электродинамике существует много предрассудков (догм), которые часто противоречат друг другу и здравому смыслу.

Мы знаем, что при протекании тока в проводнике средняя скорость упорядоченного движения электронов проводимости составляет миллиметры в секунду. Это очень маленькая скорость для выполнения граничных условий.

Для того чтобы иметь высокую скорость, электрон должен ее набрать под действием внешнего поля. Инерция электрона препятствует этому процессу, затрудняя быстро менять величину и направление скорости под действием внешних полей. Таким образом, попытки объяснить выполнение классических граничных условий с помощью электронов проводимости (электронная проводимость Друде, например) не выдерживает критики.

Начнем с «азов». Любой проводник является квазинейтральной системой. Чтобы вокруг изолированного проводника существовало электрическое поле, необходимо, чтобы на поверхности проводника были *избыточные заряды*. Они нарушают условие квазинейтральности системы. Электрическое поле не проникает внутрь проводника. Поэтому поверхность заряженного проводника является *эквипотенциальной*, т.е. поверхностью одинакового потенциала.

Будем считать, что потенциал бесконечно удаленной поверхности равен нулю. Тогда изолированное заряженное тело можно рассматривать как собственную емкость изолированного проводника (Рис.3.1). Связь потенциала изолированного уединенного проводника описывается формулой $q = C\phi$; ($\phi_\infty = 0$).

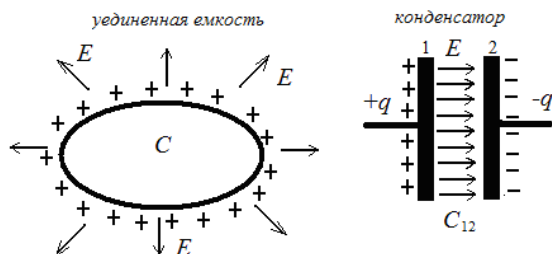


Рис. 3.1 Емкости и избыточные заряды.

Избыточные положительные и отрицательные заряды это, как мы установили раньше, не избыток или недостаток электронов проводимости в проводнике. Это *особые заряды*, существующие *параллельно* электронам, позитронам, протонам и т.д. Чтобы проиллюстрировать сказанное, рассмотрим распространение короткого электромагнитного импульса в коаксиальной линии (см. Рис. 3.2).

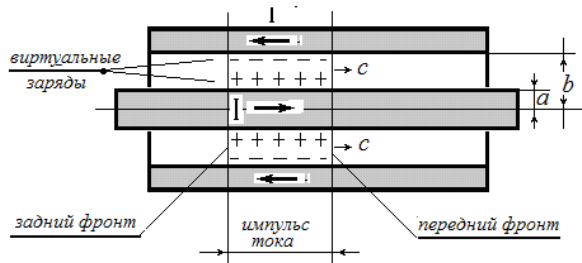


Рис. 3.2. Распространение электромагнитного импульса вдоль коаксиальной линии.

Поля \mathbf{E} и \mathbf{H} внутри коаксиальной линии создаются движущимися избыточными положительными и отрицательными зарядами. Пусть импульс распространяется вдоль оси z . Вычислим некоторые величины:

- Величина заряда на элементарном отрезке dz внешнего коаксиального цилиндра равна $dq_1 = 2\pi\epsilon b E_r(b) dz$; где $E_r(b)$ – электрическое поле при $r = b$.
- Величина заряда на элементарном отрезке dz внутреннего коаксиального цилиндра равна $dq_2 = 2\pi\epsilon a E_r(a) dz$; где $E_r(a)$ – электрическое поле при $r = a$.
- Очевидно, что имеет место закон сохранения заряда: $|dq_1| = |dq_2| = dq$. Вычислим величины поверхностных токов в этих проводниках.
- Внешний коаксиальный цилиндр: $I_1 = 2\pi b H_\phi(b)$. Внутренний коаксиальный цилиндр: $I_2 = 2\pi a H_\phi(a)$. Поверхностные токи этих проводников соответственно равны $|I_1| = |I_2| = I$.

Теперь мы можем легко подсчитать скорость перемещения избыточных зарядов, например, для внутреннего проводника коаксиальной линии.

С одной стороны мы имеем:

$$I = \frac{dq}{dt} = \frac{dq}{dz} \frac{dz}{dt} = v \frac{dq}{dz} = v 2\pi a \epsilon E_r(a)$$

С другой стороны

$$I = 2\pi a H_\phi(a)$$

Сравнивая эти выражения и учитывая, что $E_r(a)/H_\phi(a) = \sqrt{\mu/\epsilon}$ получаем: $v = c$. Попробуйте заставить «свободный» электрон проводимости двигаться с подобной скоростью! А ведь в волноводах фазовая скорость избыточных зарядов превышает скорость света в вакууме!

Итак, избыточные заряды в коаксиальной линии перемещаются со скоростью света! Поэтому такие заряды мы назовем *виртуальными зарядами*. Именно виртуальные заряды, *главным образом*, ответственны за мгновенное выполнение граничных условий на поверхности проводников. Нельзя эти явления объяснить тем, что «электроны теряют инерцию» на поверхности проводника. Этот аргумент разбивается при объяснении прохождения электромагнитной волны по коаксиальной линии. В объяснении всегда появляется постоянное магнитное поле, противоречащее эксперименту.

Примечание. Мы пока не имеем достаточных экспериментальных результатов для выдвижения гипотезы, объясняющей природу токов Тесла. Однако мы видим качественную аналогию между безинерционными зарядами в классической электродинамике и «фотонным газом» в квантовых теориях. Мы можем предложить следующую предварительную модель. Некоторая субстанция подобно «облаку»

обволакивает любую частицу (атом, молекула и т.д.). Это облако не имеет инерции. При определенных внешних или внутренних воздействиях это «облако» поляризуется. В «облаке» мгновенно возникают движущиеся со скоростью света заряды без инерции. Они мгновенно исчезают при прекращении внешнего воздействия.

Возникающие в «облаке» заряды не имеют инерции, как мы говорили, что способствует быстрому выполнению граничных условий.

Эти заряды «облака» взаимодействуют с электронами атомов и ионами. С одной стороны, они способны поглощать электромагнитные волны и передавать электромагнитный импульс электронам. Например, передавая этот импульс валентному электрону металла, они способны увеличить его кинетическую энергию до величины, превышающей работу выхода электрона из металла (фотоэффект).

С другой стороны, сами заряженные частицы способны возбуждать «облако» и передавать движущимся безинерциальным зарядам свою энергию. Безинерциальные заряды отвечают за излучение и поглощение электромагнитных волн веществом.

7. ЭКСПЕРИМЕНТ АВРАМЕНКО

Описание эксперимента. Теперь мы можем обсудить эксперимент Авраменко [5], [6]. Итак, 5.08.90 в одной из лабораторий МЭИ³ был продемонстрирован эксперимент, схема которого изображена на Рис. 3.3.

В экспериментальную установку входил машинный генератор 1 мощностью до 100 кВт, генерирующий напряжение с частотой 8 кГц. Этот машинный генератор питал первичную обмотку трансформатора Тесла 2.

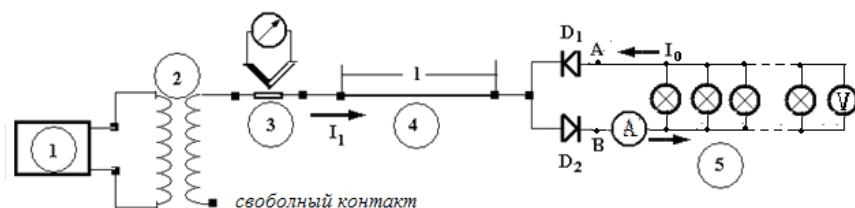


Рис. 3.3 Схема эксперимента Авраменко

Один конец вторичной обмотки был свободен (ни к чему не подключен, как показано на рис. 3). Ко второму концу были подсоединены последовательно следующие элементы: термоэлектрический миллиамперметр 3, тонкий вольфрамовый провод 4 (длина провода 2,75 м, диаметр 15 мкм) и «вилка Авраменко» 5.

Вилка Авраменко представляет собой замкнутый контур, содержащий два последовательно соединенных диода, у которых общая точка подсоединена к описанной ранее цепи, и нагрузку. Нагрузкой служили 6 параллельно подсоединенных лампочек накаливания. По этой однопроводной цепи Авраменко смог передать от генератора к нагрузке (лампам накаливания) электрическую мощность порядка 1300 Вт (!). Электрические лампочки ярко светились.

Казалось бы, это явление легко объяснимо. Однако при детальном объяснении явления возникли трудности. Ток I_0 в вилке Авраменко судя по мощности равен 6 А. Казалось бы, что ток I_1 в цепи,

³ Московский энергетический институт, Россия

соединяющей конец обмотки трансформатора Тесла с вилкой Авраменко, должен быть близок или приблизительно равен по величине току I_0 . Однако термоэлектрический миллиамперметр **3** зафиксировал очень малую величину тока I_1 ($I_1=2\text{mA}(!)$), а тонкий вольфрамовый провод **4** даже не нагрелся! Именно это обстоятельство послужило главной причиной трудности объяснения результатов эксперимента Авраменко.

Приведем некоторые выводы, сделанные Авраменко и его коллегами на основании этих исследований.

1. Ток I_0 в вилке Авраменко *линейно увеличивается с ростом частоты* (диапазон измерений 5 – 100 кГц) и практически линейно возрастает с ростом напряжения генератора при постоянной частоте. Это свидетельствует о *емкостном* характере электрической цепи.

2. Магнитное поле в проводнике, соединяющем вилку Авраменко с генератором, Авраменко *не обнаружил*.

3. Ток I_1 был очень мал по сравнению с током I_0 и *практически не обнаруживался ни тепловым, ни магнитоэлектрическим измерителем тока*. По этой причине наличие в соединительной цепи (трансформатор Тесла – вилка Авраменко) последовательно соединенных резисторов (до нескольких десятков МОм), конденсаторов и индуктивностей оказывало *чрезвычайно малое ослабляющее действие* на ток I_0 в вилке Авраменко.

4. В вилке Авраменко этот ток преобразуется в обычный пульсирующий ток I_0 . Однако, в подобном объяснении не все ясно. Если измерять напряжение U в точках АВ электростатическим вольтметром, а ток обычным амперметром, то при вычислении мощности в нагрузке наблюдается несоответствие с классическими законами. Вычисленные мощности $P_2' = I_0^2 R$; $P_2'' = I_0 U$, закон Ома $U = I_0 R$ (где R – сопротивление цепи, содержащей лампочки) не соответствовали друг другу. Авторы пишут, что резисторы “как бы теряют свои номиналы” [6].

Поиск объяснения. Авраменко и его коллеги на смогли дать объяснение эксперименту. Нами были проведены специальные исследования. Результаты мы обсудим позже. Начнем с простого примера. Рассмотрим диполь Герца (Рис. 3.4).

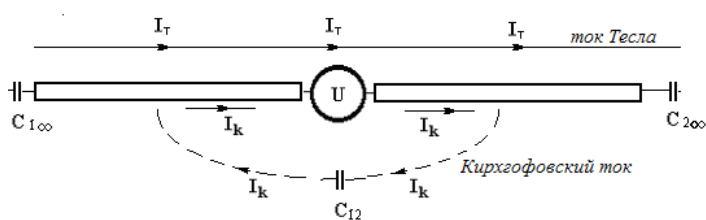


Рис. 3.4 Диполь Герца

Между «усами» диполя Герца включен генератор U . Он создает два тока:

1. Кирхгофовский ток. Этот ток течет по *замкнутой* цепи «ус 1» - генератор – «ус 2» - взаимная емкость между «усами» C_{12} . Кирхгофовский ток интересен тем, что ток в любом сечении неразветвленной замкнутой цепи один и тот же. В данном случае в кирхгофсовской замкнутой цепи течет одинаковый ток I_k , зависящий от времени. Это ток, созданный электронами проводимости.

2. Ток Тесла. Этот ток образован виртуальными зарядами. Опишем цепь: ток смещения, протекающий от бесконечно удаленной поверхности к «усу 1» (уединенная емкость $C_{1\infty}$) – проводник «ус 1» - генератор – проводник «ус 2» - ток смещения от «уса 2» к бесконечно удаленной поверхности (уединенная емкость $C_{2\infty}$).

Мы ограничимся случаем малых частот, когда длина «уса» много меньше длины волны. Помимо этого, мы будем считать, что взаимная емкость между «усами» весьма мала и кирхгофовскими токами мы можем пренебречь. Это позволяет исследовать явления в «чистом виде». Схема, пригодная для исследования, приведена на Рис. 3.5.

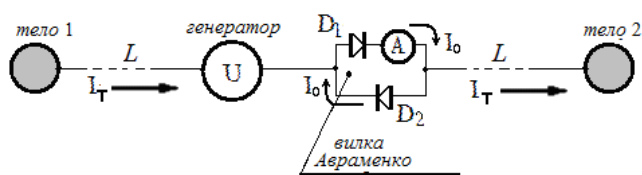


Рис. 3.5 Упрощенная схема для анализа

Теперь перечислим те упрощения, которые позволяют провести анализ эксперимента Авраменко.

1. Длина L между «Телом 1» или «Телом 2» и генератором значительно меньше длины волны. Это позволяет нам не рассматривать явления, связанные с электромагнитным излучением системы $L \ll \lambda$. Если длина проводника порядка нескольких метров, то длина волны на частоте 10 кГц равнялась 30 000 метров.

2. Проводники L , соединяющие клеммы генератора с каждым телом имели весьма малый диаметр, что способствовало значительному уменьшению взаимной емкости тел C_{12} . Этому же способствовало обстоятельство, что размеры тел были весьма невелики по сравнению с расстоянием L .

Оказывается, что для наблюдения явлений можно использовать стандартные приборы, не требующие использования трансформатора Тесла.

1. **Генератор ГЗ-35.** Характеристики: ГЗ-35 - генератор сигналов звуковой частоты с малым уровнем гармонических искажений. Прибор собран на 8 электронных лампах. Вырабатывает синусоидальный сигнал 20 Гц - 200 кГц в 4 поддиапазонах при коэффициенте гармоник менее 0,05% на нагрузке 600 Ом. Максимальное выходное напряжение 8 В.

2. Обычный **силовой трансформатор** с железным сердечником. Коэффициент трансформации есть $N_1/N_2 = 50 : 5000$.

Эффект сохранялся без существенных отклонений на частотах до 200 кГц и мало зависел от частотных свойств и типа диодов. В качестве индикатора использовался многопредельный магнитоэлектрический миллиамперметр.

Удивительные результаты. Мы приведем описание наших экспериментов. На Рис.6 изображены 3 варианта подключения вилки Авраменко к соединительному проводу. **Вариант а** это стандартное включение вилки в разрыв провода. К вилке подтекает ток Тесла I_T весьма малой величины, в контуре вилки течет пульсирующий ток I_0 , в сотни и тысячи раз превышающий ток I_T .

Ниже изображен **вариант b** для тех, кто желает проверить свои знания в теории электрических цепей. В этом варианте диод D_2 заменен **короткозамкнутой перемычкой**. Какой теперь будет величина пульсирующего тока I ? Согласно теории электрических цепей в «испорченной» вилке Авраменко вообще не должно протекать пульсирующего тока. Стрелка измерительного прибора должна оставаться на нуле. Однако прибор будет регистрировать ток $I = I_0/2$, т.е. в 2 раза меньше!

Не менее интересен **вариант c**. В нем вилка Авраменко исключена из цепи с током I_T . Она соединена лишь одиночным проводником с проводом, по которому протекает ток Тесла. И здесь мы сталкиваемся с нарушениями классической теории электрических цепей. Ток I'' в вилке существует и также равен половине тока I_0 , $I'' = I_0/2$.

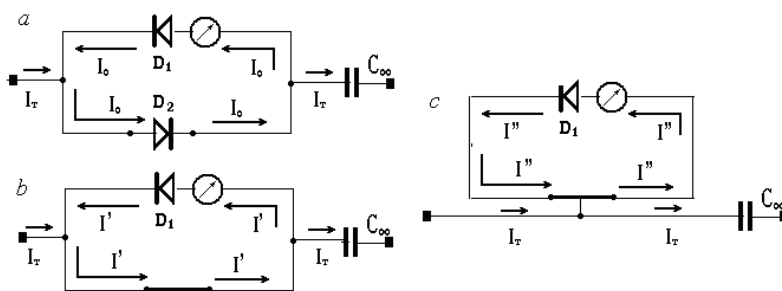


Рис. 3.6

Если внимательно присмотреться, то их топологическая тождественность вариантов на Рис.6 (b, c) очевидна. Как мы видим, никаких «специальных устройств» кроме диода в цепи нет. Следовательно, вся «изюминка» в работе p-p перехода транзистора.

Ученые должны ответить на вопрос: каким образом виртуальные заряды могут воздействовать на основные и неосновные носители p-p перехода и создавать при этом электронные токи, в сотни раз превосходящие токи Тесла.

Мы обращаем внимание на еще один важный экспериментальный результат. В одном из экспериментов (см. рис. 3) Авраменко изменил нагрузку в вилке, как показано на Рис.3.7. Вместо ламп накаливания был использован воздушный искровой разрядник и зарядная емкость C .

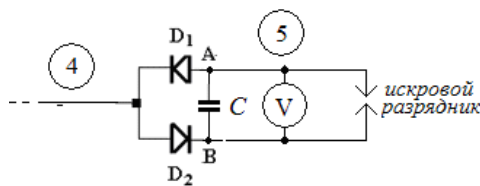


Рис. 3.7

Автор пишет [6]:

«... если ... присоединить вилку к проводу, находящемуся под переменным напряжением 10-10000 В, в контуре вилки начнет циркулировать ток, постоянный по направлению, но пульсирующий по величине, и вскоре из разрядника P посылаются искры. Когда? Это зависит от величины емкости C , частоты

пульсации и размера зазора разрядника. Вольтметр, подключенный к разряднику, покажет разность потенциалов, достигающую до 10-20кВ, а то и до 100-150 кВ.»

И вновь возникают интересные вопросы. Напряжение на конденсаторе растет по мере зарядки конденсатора. Это напряжение создает потенциальный барьер для электронов, проходящих через диоды и заряжающих конденсатор.

Искровой разряд возможен, если между электродами разрядника возникает разность потенциалов более 5000 вольт. В экспериментах напряжение на разряднике достигало 100-150 кВ.

Как удастся виртуальным зарядам «перебрасывать» электроны проводимости с одной пластины конденсатора на другую через диоды, преодолевая это напряжение? Почему при таких высоких напряжениях на емкости C и между электродами разрядника не возникает явление обратного пробоя n - p перехода в диодах?

Виртуальные токи, как мы видим, имеют специфику, отличающую их от токов в стандартных кирхгофовских цепях. Позже мы вернемся к виртуальным зарядам.

8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализируя основы классической электродинамики, была обнаружена фатальная ошибка, допущенная физиками в начале XX века. Физики вместо детального анализа уравнений Максвелла вынесли необоснованный приговор мгновенному действию на расстоянии и всей классической физике. В силу этого развитие новейших теорий было обречено на трудности и неудачи. Ученым теперь предстоит переосмыслить эксперименты и дать им новое объяснение.

Мы подведем итоги нашему анализу.

1. Мы показали ошибку, которая спровоцировала кризис физики в начале XX столетия.
2. Было установлено, что электродинамика имеет две независимые ветви. *Первая ветвь* описывает квазистатические явления электродинамики и опирается на мгновенные потенциалы. Это позволило решить проблему электромагнитной массы и описать квазистатические явления.
3. Наличие двух ветвей свидетельствует о функциональном различии решений. По этой причине **любые доказательства калибровочной инвариантности** (например, в [7]) при записи уравнений Максвелла через потенциалы **некорректны** (ошибочны). Калибровочная инвариантность не имеет места в электродинамике.
4. Мы показали, что мгновенное действие на расстоянии (*первая ветвь*) вопреки сложившимся предрассудкам отвечает физическим явлениям и не противоречит преобразованию Лоренца.
5. *Вторая ветвь* описывает волновые явления электродинамики. Потенциалы здесь имеют запаздывающий характер. Оказалось, что уравнения Максвелла могут описывать продольные и поперечные волны. Получено условие, при котором в решениях продольные волны отсутствуют.
6. Мы показали, что электромагнитные волны излучаются виртуальными зарядами. Масса покоя этих зарядов равна нулю. В силу отсутствия у виртуальных зарядов инерции граничные условия выполняются быстро.
7. Было установлено, что **инерциальные заряды не могут взаимодействовать с поперечной волной непосредственно**. Волны излучаются и поглощаются виртуальными зарядами.

8. Замкнутая система инерциальных зарядов является **консервативной**. Излучение – диссипативный процесс. Пока у нас нет механизма описания взаимодействия волн и инерциальных зарядов в рамках уравнений Максвелла. К анализу этой проблемы мы вернемся позже.

9. Многие результаты могут оказаться неожиданными, но они не являются гипотезами и имеют строгое математическое и экспериментальное обоснование. Полученные результаты могут повлиять на основы термодинамики и микромеханики. Эта тема для самостоятельного изложения.

ССЫЛКИ:

1. В.А. Кулигин, М.В. Корнева. 2015. Обсудим книгу Ландау и Лифшица «ТЕОРИЯ ПОЛЯ» <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0016/001e/00162877.htm>

2. Ландау и Лифшиц. 1961. Теория поля. Физматгиз М.

3. Кулигин В.А. Причинность и взаимодействие в физике. 1987. В сборнике Воронежского госуниверситета: «Детерминизм в современной науке». Воронеж, (Collective book “Determinism in modern science”, University Press, Voronezh, Russia)

См. эл. копию статьи на сайте: <http://n-t.ru/tp/ns/pvf.htm>

4. А.И. Ахиезер, В.Б. Берестецкий. Квантовая электродинамика. - М.: Наука. 1969.

5. Н. Заев. Однопроводная ЛЭП. Почему спят законы? 1994. ИР № 10. <http://prometheus.al.ru/phisik/phys2.htm>.

6. Н.Е. Заев, С.В. Авраменко, В.Н. Лисин. 1990. Измерения тока проводимости, возбуждаемого поляризационным током. Русская физическая мысль, №2, Реутово, Московской обл.

7. J.D. Jackson Classical Electrodynamics. 1998. **Publisher:** John Wiley & Sons; 3rd Edition edition . **ISBN-10:** 047130932X **ISBN-13:** 978-0471309321

Глава 4. Электромагнитная масса

1. Проблема «4/3»
2. Классическая форма закона Умова
3. Закон Ленца для кинетической энергии
4. Баланс энергии для элементарного тока
5. Излучает ли ускоренный электрон?

1. ПРОБЛЕМА «4/3»

В этой главе мы рассмотрим классическое решение проблемы электромагнитной массы (закон Умова, Закон Ленца) и проиллюстрируем свойства электромагнитной массы. В соответствии с формулой $E = mc^2$ электромагнитную массу покоящейся заряженной частицы можно определить двойственным образом: либо через квадрат электрического поля заряда, либо через плотность пространственного заряда и его потенциал

$$m_e = \int \frac{\varepsilon(\text{grad}\phi)^2}{2c^2} dV = \int \frac{\rho\phi}{2c^2} dV \quad (4.1.1)$$

где ρ и ϕ есть, соответственно, плотность пространственного заряда и потенциал этого заряда.

В классической механике инерциальная масса частицы m связана со своим импульсом \mathbf{P} соотношением $\mathbf{P} = m\mathbf{v}$. Такое же соотношение имеет место (закон Умова) для плотности частицы или материальной среды w с плотностью потока \mathbf{S} :

$$\mathbf{S} = w\mathbf{v}.$$

Можно было предположить (Томсон, 1881), что теми же свойствами должна обладать и плотность электромагнитной энергии поля заряда

$$\mathbf{S}_e = w_e \mathbf{v} \quad (4.1.2),$$

где $w_e = \frac{\varepsilon}{2}(\text{grad}\phi)^2$ – плотность энергии электромагнитной массы.

Проблема электромагнитной массы возникла после подобных неудачных попыток связать электромагнитную массу заряженной частицы с ее электромагнитным импульсом и кинетической энергией, подобно тому, как это делается в классической механике. Установление такой связи могло бы **подтвердить электромагнитную природу вещества**.

Действительно, электромагнитный импульс поля \mathbf{P}_e заряда можно вычислить, опираясь на вектор Пойнтинга \mathbf{S} , а кинетическую энергию поля K_e логически можно связать с энергией магнитного поля \mathbf{H} , поскольку у неподвижного заряда магнитное поле отсутствует. Магнитное поле заряда возникает тогда, когда заряд движется. Казалось бы, что каждый элемент движущегося заряда, имеющий скорость \mathbf{v} , должен иметь электромагнитный импульс, направленный вдоль вектора скорости.

Однако исследователи на этом пути столкнулись с трудностями, которые в то время решить не удалось. Вычисления для заряженной частицы с равномерным распределением пространственного заряда по поверхности приводили к следующим не характерным для механики соотношениям

$$\mathbf{P}_e = \int \frac{\mathbf{E} \times \mathbf{H}}{c^2} dV = \frac{4}{3} m_e \mathbf{v}; \quad K_e = \int \frac{\mu \mathbf{H}^2}{2c^2} dV = \frac{4}{3} m_e \frac{\mathbf{v}^2}{2} \quad (4.1.3)$$

Как мы видим, в формулах появился странный коэффициент «4/3» вместо единицы. По этой причине проблема электромагнитной массы получила название «проблемы 4/3».

Формулы (4.1.3) отражают интегральные соотношения для модели заряда, в которой весь заряд распределен *в тонком поверхностном слое*. Заметим, что этот коэффициент зависит от распределения плотности заряда. Если заряд напоминал «мыльный пузырь» (сфера), по поверхности которого был равномерно распределен электрический заряд, мы имеем коэффициент «4/3». При любом другом распределении плотности пространственного заряда в сферическом объеме мы будем иметь новый коэффициент. При любых других распределениях этот коэффициент оказывался всегда больше 4/3.

Иллюстрация. Паллиатив вместо решения – типичный прием логического позитивизма. Не зная, как решить проблему, позитивисты подменяют решение словесным «суррогатом», создавая видимость решения. Проанализируем детальную картину плотности потока частицы с равномерным распределением заряда, *опираясь на вектора Пойнтинга*.

Рассмотрим заряд, движущийся с постоянной скоростью v вдоль оси z . Это означает, что любой элемент заряда имеет одну и ту же скорость \mathbf{v} (см. рис. 1а). Однако, как показано на этом же рисунке (см. рис. 1б), для различных точек заряда локальные векторы Пойнтинга \mathbf{S} имеют различные величины и направления. В точках, наиболее удаленных от оси z , плотность вектора \mathbf{S} максимальна, а на осевой линии она равна нулю, поскольку здесь нет магнитного поля.

Направление вектора Пойнтинга напоминает перемещение резинового тора, надетого на палку. Внутренние слои тора за счет трения о палку не перемещаются, как показано на рис. 1в. Поэтому для перемещения тора приходится «закручивать» верхние слои тора. При этом слои поперечного сечения тора (имеющие форму окружности, как показано на рис. 1в) перекачиваются по палке. Их мгновенный центр скоростей (IVC) расположен на поверхности палки. Мгновенным центром скоростей для движущегося заряда служит отрезок (см. 1б), где вектор Пойнтинга равен нулю ($\mathbf{S} = 0$).

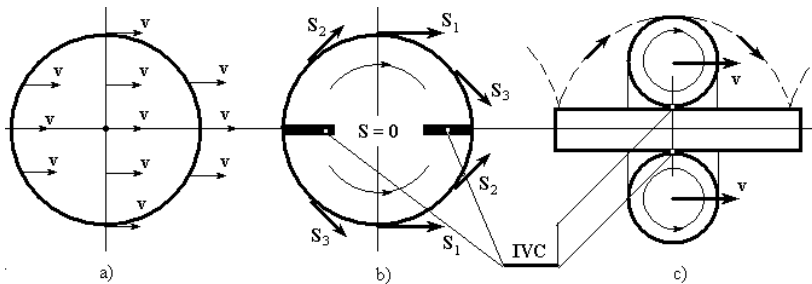


Рис.1 Движущийся заряд: а) распределение скоростей в движущемся заряде; б) распределение вектора Пойнтинга в этом заряде; в) перемещение резинового тора по деревянной палке; IVC– мгновенный центр скоростей.

Вот здесь и возникают вопросы. Почему направление вектора Пойнтинга не совпадает с вектором скорости движения *частей заряда*? Почему в системе отсчета, где заряд неподвижен, нет кругового потока вектора Пойнтинга, а в движущейся системе существует круговой поток электромагнитного импульса (в

соответствии с вектором Пойнтинга)? Почему различные точки заряда, имеющие один и тот же вектор скорости и одинаковую плотность, дают различный вклад в суммарный электромагнитный импульс заряда?

Абсурдность рассмотренной картины подтверждается и теоремой (Л.Д. Ландау), согласно которой движение тела всегда можно представить как сумму двух независимых движений: **поступательного и вращательного**. Следовательно, если есть вращательное движение в одной инерциальной системе отсчета, то оно должно существовать в любой другой инерциальной системе. Если же вращательного движения нет, то его не должно быть и в других инерциальных системах. Здесь явное несоответствие (расхождение) между механикой и электродинамикой.

Положение усугубляется следующим обстоятельством. Мы предполагали, что заряд сферически симметричен. Но это лишь гипотеза. Форма заряда нам неизвестна. С тем же успехом мы можем допустить, что заряд имеет форму эллипсоида с равномерным распределением заряда. В этом случае мы имеем парадоксальный результат. Скалярная электромагнитная масса принимает «тензорный» характер.

$$P_i = m_{ik} v_k$$

где P_i - электромагнитный импульс заряда; m_{ik} - симметричный тензор электромагнитной массы; v_k - вектор скорости.

Это действительно конфуз! Как мы убедились, вектор Пойнтинга мы **не можем использовать** для описания электромагнитной массы. Чтобы «исправить» этот множитель и связать электродинамику с механикой была выдвинута гипотеза о существовании у заряда массы **неэлектромагнитного** происхождения. Эта масса должна отвечать за устойчивость заряда, «раздираемого» кулоновскими силами расталкивания. В результате сумма электромагнитной и неэлектромагнитной «масс» должна давать классическую инерциальную массу частицы.

Идея в принципе верная, но ее реализация абсурдна. Это не решение проблемы, поскольку «**плюс-дефективность**» электромагнитной массы компенсируется «**минус-дефективностью**» неэлектромагнитной массы. Эту проблему легко решить в рамках квазистатической ветви уравнений Максвелла. Квазистатическую ветвь, как мы знаем, физики «не увидели».

Подробное изложение истории проблемы электромагнитной массы можно найти в [1], [2].

2. КЛАССИЧЕСКАЯ ФОРМА ЗАКОНА УМОВА

Мы уже имеем решение этой проблемы в рамках релятивистских представлений. Теперь мы докажем закон Умова и другие законы в рамках квазистатической электродинамики.

Пусть некоторый потенциал ϕ создается источником поля с обильностью ρ/ϵ . Запишем интеграл I .

$$I = \frac{1}{2} \int \rho \frac{\partial \phi}{\partial t} dV = -\frac{\epsilon}{2} \int \Delta \phi \frac{\partial \phi}{\partial t} dV = \frac{\epsilon}{2} \int [\text{div}(\text{grad} \phi \cdot \frac{\partial \phi}{\partial t}) - \frac{1}{2} \frac{\partial \phi}{\partial t} (\text{grad} \phi)^2] dV \quad (4.2.1)$$

где dV - элемент объема.

Используя теорему Гаусса, преобразуем интеграл

$$I = -\frac{\epsilon}{2} \oint \text{grad} \phi \frac{\partial \phi}{\partial t} \mathbf{n}^0 d\sigma + \frac{\epsilon}{4} \int \frac{\partial}{\partial t} (\text{grad} \phi)^2 dV \quad (4.2.2)$$

где: $d\sigma$ - элемент поверхности; \mathbf{n}^0 - единичная нормаль к поверхности.

С другой стороны мы можем представить уравнение (4.2.1) в следующей форме.

$$I = -\frac{\varepsilon}{2} \int \Delta \phi \frac{\partial \phi}{\partial t} dV = -\frac{\varepsilon}{4} \int \frac{\partial (\text{grad } \phi)^2}{\partial t} dV - \int [\text{grad } \phi \times [\mathbf{v} \times \text{grad } \phi]] \mathbf{n}^0 d\sigma \quad (4.2.3)$$

Приравнявая уравнения (4.2.2) и (4.2.3), получим закон сохранения энергии. Этот закон для сплошных сред был установлен Умовым в 1874 г [3]:

$$\oint \mathbf{S}_u \mathbf{n}^0 d\sigma + \int \frac{\partial w_e}{\partial t} dV = 0 \quad (4.2.4)$$

где:

$$\mathbf{S}_u = \frac{\varepsilon}{2} \left\{ -\frac{\partial \phi}{\partial t} \text{grad } \phi + [\text{grad } \phi \times [\mathbf{v} \times \text{grad } \phi]] \right\} = w_e \mathbf{v} \quad (4.2.5)$$

– плотность потока вектора Умова;

$$w_e = \frac{\varepsilon}{2} (\text{grad } \phi)^2 \quad (4.2.6)$$

- плотность энергии поля заряда.

Уравнение (4.2.4) есть интегральная форма закона сохранения энергии Умова. Очевидно уравнения (4.2.5) и (4.2.6) прекрасно соответствуют соотношениям механики Ньютона. Используя этот результат, мы можем дать корректное вычисление электромагнитной массы. Полученные соотношения справедливы для зарядов произвольной формы.

$$m_e = \frac{1}{2c^2} \int w_e dV; \quad \mathbf{P}_e = \frac{1}{c^2} \oint \mathbf{S}_u dV \quad \mathbf{P}_{\underline{e}} = m_e \mathbf{v}$$

Аналогичные результаты были доказаны позже [4], [5].

Что касается вектора Пойнтинга, то его неприменимость для подобных задач очевидна.

3. ЗАКОН ЛЕНЦА ДЛЯ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Теперь мы опишем и докажем другой важный закон сохранения энергии. Мы рассмотрим уравнение баланса кинетической энергии для поля заряда. Вряд ли вызовет сомнение факт, что электромагнитное поле обладает кинетической энергией. Наличие электромагнитного импульса поля свидетельствует об этом. Однако мы приведем доказательство, чтобы дать полную картину явлений.

Сначала мы рассмотрим физическую модель кинетической энергии поля заряда. Если на заряд воздействуют внешние силы, заряд ускоряется, и кинетическая энергия поля заряда увеличивается. Ускоренное движение заряда мы можем рассматривать как прыжок (переход) заряда из одной сопутствующей инерциальной системы отсчета в другую. Сопутствующая и ускоренная системы отсчета имеют равные скорости в бесконечно малом интервале времени. В них скорость частицы практически одинакова в данный момент времени и вблизи.

Электрическое поле $\mathbf{E}_q = -\text{grad } \phi$ в сопутствующей системе не зависит от времени и векторный потенциал \mathbf{A} равен в ней нулю. Ускоренное движение заряда возбуждает *добавочное* электрическое поле \mathbf{E}' , которое обусловлено изменением векторного потенциала \mathbf{A} во времени. Поле \mathbf{E}' *не является фарадеевским*.

Это поле мы не можем рассматривать как пренебрежимо малую величину. В сопутствующей системе отсчета оно равно:

$$\mathbf{E}' = -\frac{1}{2} \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} = -\frac{\phi}{2c^2} \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} \quad (4.3.1)$$

Подчеркнем различие стороннего поля \mathbf{E}_f от поля \mathbf{E}' . Стороннее поле \mathbf{E}_f возникает для неподвижного наблюдателя *при движении* мимо него заряда q . Поле \mathbf{E}' рождается в сопутствующей системе отсчета ($\mathbf{v} = 0$) *при ускорении заряда* и воздействует на сам заряд (*противодействует ускорению*), обуславливая электромагнитную инерцию. Поле \mathbf{E}' это своеобразная реакция инерции, препятствующей ускорению. заряда. Плотность мощности, которая идет на ускорение точечного заряда, равна:

$$p_k = \rho \mathbf{v} \mathbf{E}' = \mu_e \frac{\partial \mathbf{v}^2}{\partial t} \quad (4.3.2)$$

где μ_e – плотность электромагнитной массы.

Эта мощность не зависит от выбора инерциальной системы отсчета в механике Ньютона. Теперь мы должны описать эту модель математически.

Доказательство закона Ленца [6]. Для доказательства закона Ленца воспользуемся формулой Грина для векторного потенциала.

$$\int \mathbf{G} \cdot \Delta \mathbf{M} dV = \oint \{ \mathbf{G} \cdot \text{div} \mathbf{M} + [\mathbf{G} \times \text{rot} \mathbf{M}] \cdot \mathbf{n}^0 d\sigma - \int (\text{div} \mathbf{G} \cdot \text{div} \mathbf{M} + \text{rot} \mathbf{G} \cdot \text{rot} \mathbf{M}) dV \quad (4.3.3)$$

где: \mathbf{G} и \mathbf{M} – вектора двух некоторых полей.

Пусть $\mathbf{G} = \mathbf{E}' = -\frac{1}{2} \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t}$ будет полем, которое создается ускоренным зарядом, а $\mathbf{M} = \mathbf{A} / \mu$. В этом случае мы автоматически получаем уравнение баланса кинетической энергии в стандартной форме (закон сохранения энергии Ленца):

$$\text{div} \mathbf{S}_L + \frac{\partial w_k}{\partial t} + p_k = 0 \quad (4.3.4)$$

где:

$$\text{а) } p_k = -\frac{1}{2} \mathbf{j} \cdot \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} \quad (4.3.5);$$

это плотность мощности, которая изменяет кинетическую энергию заряда;

$$\text{б) } w_k = \frac{1}{4\mu} [(\text{div} \mathbf{A})^2 + (\text{rot} \mathbf{A})^2] \quad (4.3.6);$$

выражение (5.1) есть плотность кинетической энергии поля заряда. Легко видеть, что $w_k = \frac{\mathbf{v}^2}{2c^2} \frac{\varepsilon (\text{grad} \phi)^2}{2} = \frac{w_e \mathbf{v}^2}{2c^2} = \mu_e \frac{\mathbf{v}^2}{2}$, μ_e – плотность электромагнитной массы заряда.

$$\text{в) } \mathbf{S}_L = -\frac{1}{2\mu} \left\{ \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} \text{div} \mathbf{A} + \left[\frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} \times \text{rot} \mathbf{A} \right] \right\} \quad (4.3.7);$$

выражение (4.3.7) это плотность потока кинетической энергии (плотность потока кинетической энергии или вектор Ленца).

Выражение (4.3.4) представляет собой закон сохранения, который является математическим выражением *правила Ленца*. В следующем параграфе мы проиллюстрируем этот закон примером.

4. БАЛАНС ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТАРНОГО ТОКА

Теперь предстоит проиллюстрировать выражение для баланса кинетической энергии на примере. В квазистатической электродинамике векторный потенциал элемента тока определяется выражением:

$$d\mathbf{A} = \mu \frac{I(t)d\mathbf{l}}{4\pi r} \quad (4.4.1)$$

Подставляя выражение (4.4.1) в уравнение (4.3.3), мы можем записать такие результаты:

1. **Плотность кинетической энергии** элементарного тока равна:

$$d^2 w_k = \frac{\mu}{2} \left(\frac{I(t)d\mathbf{l}}{4\pi r^2} \right)^2 \quad (4.4.2)$$

Распределение плотности кинетической энергии обладает радиальной симметрией. Плотность кинетической энергии убывает как r^4 .

2. **Плотность потока кинетической энергии** (*вектор Ленца*), окружающего элементарный ток, равна:

$$d^2 \mathbf{S}_L = \mathbf{r} \frac{\partial}{\partial t} d^2 w_k = \mu \frac{I(t)(d\mathbf{l})^2}{(4\pi r^2)^2} \frac{\partial}{\partial t} I(t) \mathbf{r} \quad (4.4.3)$$

Теперь нам следует обсудить характерные особенности плотности потока кинетической энергии. Изменение плотности кинетической энергии $d^2 w_k$, окружающей элемент тока, связано с плотностью потока кинетической энергии $d^2 \mathbf{S}_L$. Плотность потока $d^2 \mathbf{S}_L$, в свою очередь, зависит от изменения квадрата силы тока I^2 во времени.

Если величина тока (независимо от его направления) увеличивается, плотность потока кинетической энергии $d^2 \mathbf{S}_L$ положительна и $d^2 \mathbf{S}_L$ направлена вдоль радиуса. Она увеличивает кинетическую энергию поля, окружающего элемент тока. Если же ток уменьшается, тогда плотность потока $d^2 \mathbf{S}_L$ движется в обратном направлении, т.е. направлена к этому элементу тока. Поток Ленца стремится поддержать и сохранить величину тока в этом элементе.

Когда происходит изменение тока, плотность потока кинетической энергии возникает одновременно во всех точках пространства безо всякого запаздывания, т.е. мгновенно. При любом изменении величины тока потери на излучение отсутствуют. Заметим, что плотность потока $d^2 \mathbf{S}_L$, уменьшается в пространстве по мере удаления от элемента тока как $1/r^3$. В противовес вектору Умова, который описывает конвективный перенос энергии зарядом, движущимся с постоянной скоростью \mathbf{v} , плотность потока Ленца существует только при ускоренном движении заряда (при изменении тока).

Электрическое поле, равное $\mathbf{E}' = -\frac{1}{2} \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t}$, определяет инерцию, т.е. величину силового противодействия ускорению заряда (*противо - ЭДС*). Мы можем рассматривать его как напряженность электрического поля (*ЭДС самоиндукции*). Поток Ленца никак не может быть следствием вектора Пойнтинга хотя бы по тому, что поток Ленца описывает не только движение энергии в пространство *от источника*, но и обратное движение энергии *к источнику*, если обильность источника уменьшается.

Интересно отметить, что *противо - ЭДС*, возникающая при ускорении, воздействует не только на сам ускоренный электрон, но и на соседние (покоящиеся или движущиеся вблизи) заряды и токи.

5. ИЗЛУЧАЕТ ЛИ УСКОРЕННЫЙ ЭЛЕКТРОН?

Итак, мы убедились, что квазистатическая электродинамика хорошо вписывается в рамки классической и релятивистской механики. Это мы проиллюстрируем также на примерах взаимодействия зарядов и на анализе парадоксов, связанных с магнитными взаимодействиями зарядов и токов. Излучение,

как и поглощение электромагнитной волны это **диссипативный** процесс, связанный с преобразованием энергии. Квазистатическая ветвь описывает **консервативные** системы зарядов.

Здесь следует различать два взаимосвязанных уровня. **Первый уровень** это макроскопическая теория волн (волновая ветвь уравнений Максвелла). Волновая оптика, излучение волн антенными системами и распространение их в различных средах все это относится к макроскопической волновой электродинамике. К этой же области можно отнести взаимодействие зарядов с полями в вакуумных СВЧ приборах и ускорителях частиц. Здесь есть специфика, которую следует рассмотреть специально.

Второй уровень это уровень микромира, где заряды (электроны, протоны, ядра и т.д.) взаимодействуют с электромагнитной волной. Здесь попытки объяснить явления, опираясь на логически противоречивый корпускулярно-волновой дуализм завели физику в тупик. Это большая отдельная тема.

Излучение инерциального заряда. Из уравнений Максвелла в кулоновской калибровке следует, что ускоренные инерциальные заряды не излучают электромагнитную волну вопреки сложившимся предрассудкам. Излучение создают безинерциальные заряды. Этот вывод имеет экспериментальное подтверждение. Обратимся к независимым исследованиям. Вот что пишет Ю.К. Сахаров [7]:

«Ускорение, которое испытывают электроны у катода электронной пушки кинескопа современного телевизора, на два порядка превышает максимальные нормальные ускорения в циклических ускорителях, но излучение в рентгеновском диапазоне вблизи телевизоров не наблюдается.... В циклических ускорителях.. (по мнению автора) .. источником синхротронного излучения являются не сами заряженные частицы, но возбуждаемые ими атомы газа (азот, аргон), часть которых неизбежно остается в камере прибора после его промывки и вакуумирования. (При разряде 10^{-13} мм. рт. ст. в 1 см^3 содержится 4000 атомов газа)...

..... Однако элементарный расчет показывает, что СИ (синхротронное излучение) не может являться следствием нормального ускорения частиц, так как последнее на ускорителях различного диаметра варьируется на два порядка и более, что показано в приведенной ниже таблице, тогда как параметры СИ на всех ускорителях достаточно близки».

Таблица 1

Место установки		W	R	$a_n = v^2/R$ при $v \rightarrow c$	s	Наблюдаемое излучение
		(ГэВ)	(м)	(м/сек ²)		
Циклические ускорители	Дубна	10	36	$2,5 \cdot 10^{15}$	1	Мягкий рентген $\nu \geq 10^{18} \text{ сек}^{-1}$
	Серпухов	76	236	$3,8 \cdot 10^{14}$	0,15	
	Женева	400	1100	$8,1 \cdot 10^{13}$	0,03	

В таблице параметр $s = a_n/a_n(\text{дубна})$ в Таблице 1 есть отношение нормального ускорения ускорителей к нормальному ускорению ускорителя в Дубне. Как мы видим, это отношение меняется от 1 до 30. Однако характер излучения, как пишет автор, практически не изменяется. Свободные электроны в ускорителях не излучают при движении, хотя им пытаются приписать, так называемое, «синхротронное излучение» и «торможение».

В предыдущей главе мы уже писали, что квазистатическая ветвь и волновая ветвь решений уравнений Максвелла независимы. Поэтому заряженные частицы не могут *непосредственно* взаимодействовать с электромагнитной волной. Нужен некий «посредник». Обычно таким посредником может выступать диссипативная функция Релея или виртуальные частицы. К этому вопросу мы позже вернемся.

ССЫЛКИ:

1. П. С. Кудрявцев. История физики. 1971. *Том III* (От открытия кванта до создания квантовой механики (1900-1925)). Издательство "Просвещение", Москва. <http://physiclib.ru/books/item/f00/s00/z0000058/st012.shtml>
2. С.В. Беллюстин. 1971. Классическая электронная теория. Высшая школа. М.
3. N.A. Umoff (Umov) *Beweg – Gleich. d. Energie in contin.* 1874. *Korpern, Zeitschrift d. Math. and Phys.* V. XIX, Schломilch.
4. V. Kuligin, G. Kuligina, M. Korneva. 1996.. *The Electromagnetic Mass of a Charged Particle. APEIRON* Vol. 3 Nr. 1.
5. A. Chubykalo , A. Espinoza , V. Kuligin, M. Korneva. 2019. Once again about problem “4/3”. *International Journal of Engineering Nechnologies and Management Research.* Vol.6 (Iss.6): ISSN: 2454-1907 DOI: 10.5281/zenodo.3271356.
6. В.А. Кулигин, М.В.Корнева, Г.А. Кулигина. 2013. Анализ ошибок и заблуждений в современной электродинамике LAP, Berlin. 2012. ISBN-13:978-3-659-32667-7; ISBN-10: 3659326674; EAN: 9783659326677.
7. Ю.К. Сахаров. Противоречия в современной концепции излучения заряженных частиц и строения атома. // Проблемы пространства, времени, тяготения. (IV Международная конференция 16-21.09.1996). С.-П.: Политехника. 1997.

Глава 5. Классическая теория взаимодействия зарядов и токов

1. Введение
2. Классический лагранжиан для двух зарядов
3. Механика квазинейтральных систем
4. Взаимодействие зарядов и токов
5. Старые проблемы и новые объяснения
6. «Конвективный потенциал»

1. ВВЕДЕНИЕ

В этой главе мы рассмотрим взаимодействие зарядов и токов. Обычно функция Лагранжа, описывающая такие взаимодействия, постулируется. Причем записывают выражение некорректное, приводящее к противоречиям и ошибкам. Мы дадим последовательный вывод функции Лагранжа без каких либо допущений или гипотез. Нас будут интересовать квазистатические явления в области магнетизма. Именно здесь очень много ошибок и путаницы в объяснении явлений.

2. Классический ЛАГРАНЖИАН для двух зарядов

Классический интеграл действия мы получим на основе релятивистского интеграла действия. Вспомним, что электромагнитная масса выражается через величину заряда и потенциал или через квадрат электрического поля. С математической точки зрения оба подхода эквивалентны.

$$m_e = \int \frac{\varepsilon(\text{grad}\varphi)^2}{2c^2} dV = \int \frac{\rho\varphi}{2c^2} dV$$

Запишем интеграл действия для свободного заряда.

$$S = -\frac{1}{c} \int m_e c^2 ds = -\frac{1}{c} \int c^2 \left[\int \frac{\rho\varphi}{2c^2} dV \right] ds = -\frac{1}{c} \int \left[\int \frac{\rho\varphi}{2} ds \right] dV \quad (5.2.1)$$

Теперь преобразуем внутренний интеграл

$$-\int \frac{\rho\varphi}{2c} ds = \int \frac{1}{2c} \rho \varphi u_i dx_i = \frac{1}{2c} \int \frac{\varphi u_i}{c} \rho dx_i = \frac{1}{2c} \int A_i j_i ds \quad (5.2.2)$$

В выражении (5.1) появились 4-вектор $A_i = \frac{\varphi u_i}{c}$ и электрический момент ρdx_i .

Допустим, что заряженная частица распалась на две различные части, но при условии сохранения суммарного заряда. В этом случае мы должны записать выражение (5.2.2) в следующем виде:

$$\frac{1}{2} \int A_i c \rho dx_i = \frac{1}{2} \int A_i c \rho u_i ds = \frac{1}{2} \int (A_i^{(1)} + A_i^{(2)}) (c \rho_1 u_i^{(1)} + c \rho_2 u_i^{(2)}) ds$$

Числовые индексы 1 и 2 относятся к первой и второй частице соответственно. Выражение можно (5.2.1) теперь мы можем привести к следующему виду:

$$S = -\frac{1}{2c} \int [(c\rho_1 u_i^{(1)} A_i^{(1)} + c\rho_2 u_i^{(2)} A_i^{(1)} + c\rho_1 u_i^{(1)} A_i^{(2)} + c\rho_2 u_i^{(2)} A_i^{(2)})] ds dV =$$

$$= -\frac{1}{2c} \int [(-\rho_1 \varphi_1 + \varphi_1 \rho_2 u_i^{(2)} u_i^{(1)} + \rho_1 \varphi_2 u_i^{(1)} u_i^{(2)} - \rho_2 \varphi_2)] ds dV$$

Теперь, поменяв порядок интегрирования, мы проинтегрируем по объему каждое слагаемое. При интегрировании мы должны учесть очень малые размеры заряженных частиц. Поэтому в каждом случае потенциал в объеме одной частицы, создаваемый другой частицей, можно считать постоянным. В свою очередь, интеграл по плотности заряда будет равен величине этого заряда.

$$-\frac{1}{2} \int \rho_1 \varphi_1 dV = -m_1 c^2; \quad -\frac{1}{2} \int \rho_2 \varphi_2 dV = -m_2 c^2;$$

$$\int [\varphi_1 \rho_2 u_i^{(1)} u_i^{(2)} + \varphi_2 \rho_1 u_i^{(1)} u_i^{(2)}] dV = e_2 \varphi_1 u_i^{(1)} u_i^{(2)} + e_1 \varphi_2 u_i^{(1)} u_i^{(2)}$$

Итак, релятивистский интеграл действия для двух частиц равен

$$S = \frac{1}{c} \int [m_1 c^2 ds + \frac{1}{2} e_1 u_i^{(1)} \varphi_2 u_i^{(2)} ds + \frac{1}{2} e_2 u_i^{(2)} \varphi_1 u_i^{(1)} ds + m_2 c^2 ds] \quad (5.2.3)$$

Учитывая, что второй и третий члены симметричны и равны $e_1 \varphi_2 = e_2 \varphi_1 = \frac{e_1 e_2}{4\pi\epsilon_{12}}$, запишем:

$$S = \frac{1}{c} \int [-m_1 c^2 ds + \frac{1}{2} e_1 u_i^{(1)} A_i^{(2)} ds + \frac{1}{2} e_2 u_i^{(2)} A_i^{(1)} ds - m_2 c^2 ds] =$$

$$= \frac{1}{c} \int [-m_1 c^2 ds + e_1 u_i^{(1)} A_i^{(2)} ds - m_2 c^2 ds] \quad (5.2.4)$$

Мы хотим обратить внимание на следующее положение. Для поиска, например, уравнения движения первой частицы вторая частица остается «замороженной». Ее координаты и скорости *не варьируются* (постоянны). Поэтому мы можем исключить последний член в интеграле действия как *постоянную величину*. Совершенно аналогично мы можем поступить с первым членом подынтегрального выражения, если мы будем искать траекторию второй частицы. Итак, мы можем записать окончательные варианты интегралов действия для каждой из двух частиц.

$$S_1 = \frac{1}{c} \int [m_1 c^2 ds - e_1 A_i^{(2)} dx_i^{(1)}]; \quad S_2 = \frac{1}{c} \int [m_2 c^2 ds - e_2 A_i^{(1)} dx_i^{(2)}]$$

Мы не будем рассматривать релятивистское взаимодействие зарядов, а перейдем к поиску функции Лагранжа для классического случая ($v \ll c$). В учебниках при переходе к классическому описанию взаимодействия допускают ошибку. Член вида $e A_i dx_i$ некорректно «упрощают»

$$e A_i dx_i = e A_i u_i ds \approx e \mathbf{A} \mathbf{v} dt$$

Мы дадим строгий вывод. Запишем, как обычно:

$$-m_1 c^2 ds \approx m_1 \frac{v^2}{2} dt \quad \text{и} \quad e_1 A_i^{(2)} dx_i^{(1)} = e_1 \varphi_2 u_i^{(1)} u_i^{(2)}$$

Скалярное произведение двух 4-векторов есть истинный скаляр. Произведение 4-скоростей можно раскрыть, используя аппарат кватернионов.

$$u_i^{(1)} u_i^{(2)} = \left(\frac{-ic, \mathbf{v}_1}{\sqrt{c^2 - v_1^2}} \cdot \frac{-ic, \mathbf{v}_2}{\sqrt{c^2 - v_2^2}} \right) \approx \frac{-1 + \mathbf{v}_1 \mathbf{v}_2}{(1 - v_1^2/2c^2)(1 - v_2^2/2c^2)} \approx -\left[1 + \frac{(\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_2)^2}{2c^2}\right]$$

Итак, функции Лагранжа, описывающие взаимодействие и движение двух зарядов равны

$$L_1 = -\frac{m_1 v_1^2}{2} - e_1 \varphi_2 \left[1 + \frac{(\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_2)^2}{2c^2}\right] \quad (5.2.5) \quad \text{и} \quad L_2 = -\frac{m_2 v_2^2}{2} - e_2 \varphi_1 \left[1 + \frac{(\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_2)^2}{2c^2}\right] \quad (5.2.6)$$

Замечательной особенностью выражений (5.2.5) и (5.2.6) является их инвариантность относительно преобразования Галилея. Это объясняет *причину ошибок* при анализе магнитных явлений.

Общий подход к системе зарядов. Мы теперь можем исправить ошибки в описании взаимодействия инерциальных зарядов. Напомним, что мы должны отбросить требование выполнения Лоренц-ковариантности уравнений в силу описания нерелятивистского взаимодействия зарядов. Единственным условием является его инвариантность относительно преобразования Галилея. Такой лагранжиан взаимодействия должен зависеть от **относительного расстояния** между зарядами и **относительной скорости** их движения.

Запишем общую форму лагранжиана взаимодействия зарядов

$$L_{\text{вз}} = -e_1 e_2 f(v_{12}^2/c^2) / 4\pi\epsilon_{12}$$

где: $f(v_{12}^2/c^2)$ может быть $\sqrt{1+(v_{12}/c)^2}$, или $\text{ch}(v_{12}/c)$, или $1/\sqrt{1-(v_{12}/c)^2}$ и т.д.

Относительная скорость v_{12} равна $v_{12} = |\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_2|$. Современная техника позволяет экспериментально установить вид функции $f(v_{12}^2/c^2)$ как для малых, так и для больших скоростей.

3. МЕХАНИКА КВАЗИНЕЙТРАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Теперь мы можем описать *общие свойства и законы сохранения* для системы взаимодействующих зарядов. Общий вид функции действия для квазинейтральной замкнутой консервативной системы можно записать в следующем виде:

$$S = \int \sum_{i=1}^N \left[\frac{m_i v_i^2}{2} + \sum_{k \neq i} L_{ik}(r_{ik}, v_{ik}) \right] dt \quad (5.3.1)$$

$$\text{где } L_{ik} = -\frac{e_i e_k}{4\pi\epsilon_{ik}} f(v_{ik}^2) = L_{ki} \quad L_{ii} = 0$$

Изучим свойства системы, описываемой действием (5.3.1). Прежде всего, найдем уравнение движения для i -той частицы. Для этого найдем вариацию действия dS и обратим ее в нуль. Варьировать подынтегральное выражение мы будем при следующих условиях: мы будем менять координату i -той частицы r_i , полагая t и координаты других частиц фиксированными (постоянными). В результате мы получим следующую систему уравнений движения:

$$\frac{dm_i \mathbf{v}_i}{dt} = \sum_{k=1}^N \left(\frac{\partial L_{ik}}{\partial \mathbf{r}_{ik}} - \frac{d}{dt} \frac{\partial L_{ik}}{\partial \mathbf{v}_{ik}} \right) = \sum_{k=1}^N \mathbf{F}_{ki} \quad (5.3.2)$$

где: $d\mathbf{r}_{ik} = d\mathbf{r}_i - d\mathbf{r}_k = d\mathbf{r}_i$ поскольку $d\mathbf{r}_k$ постоянна; $d\mathbf{v}_{ik} = d\mathbf{v}_i - d\mathbf{v}_k = d\mathbf{v}_i$ поскольку $d\mathbf{r}_k$ постоянна;

$$\mathbf{F}_{ki} = \left(\frac{\partial L_{ik}}{\partial \mathbf{r}_{ik}} - \frac{d}{dt} \frac{\partial L_{ik}}{\partial \mathbf{v}_{ik}} \right) = -\mathbf{F}_{ik}$$

Из (5.3.2) видно, что **третий принцип Ньютона выполняется**, т.е. действие равно противодействию. Более того, сила \mathbf{F}_{ki} оказывается инвариантной относительно преобразования Галилея, поскольку зависит от относительных величин \mathbf{v}_{ik} и \mathbf{R}_{ik} . Ниже мы обсудим содержание понятий “сила” и “работа”, а сейчас найдем работу, совершаемую, i – частицей.

Кинетическая энергия. Умножим (5.3.2) на скорость i – частицы.

$$dK_i = d \frac{m_i v_i^2}{2} = \sum_{k=1}^N \mathbf{F}_{ki} \mathbf{v}_i dt \quad i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (5.3.3)$$

Это дифференциал кинетической энергии частицы при ее взаимодействии с другими частицами при условии, что все остальные частицы покоятся. Просуммируем (5.3.3) по индексу i .

$$dK = \sum_{i=1}^N dK_i = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^N \mathbf{F}_{ki} \mathbf{v}_i dt = \sum_{i=1}^N \sum_{k \neq i}^N \mathbf{F}_{ki} (\mathbf{v}_i - \mathbf{v}_k) dt = \sum_{i=1}^N \sum_{k \neq i}^N \mathbf{F}_{ki} d\mathbf{r}_{ik} \quad (5.3.4)$$

Соотношение (5.3.4) показывает, что изменение кинетической энергии всех взаимодействующих частиц системы равно работе всех сил. Величина dK инвариантна относительно преобразования Галилея, т.е. не зависит от выбора инерциальной системы отсчета.

Работа и энергия. Время t можно рассматривать как четвертую координату частиц. Мы можем варьировать и эту координату. Наложим условие при варьировании t : положение i – частицы фиксировано ($\mathbf{r}_i = \text{const}$; $\mathbf{v}_i = 0$), а все остальные частицы перемещаются, но взаимодействуют только с i – частицей. Такое взаимодействие описывается следующей частной функцией Лагранжа

$$L_i = \frac{m_i v_i^2}{2} + \sum_{k=1}^N L_{ik}(r_{ik}, v_{ik}) \quad L_{ii} = 0 \quad (5.3.5)$$

Найдем вариацию этой функции Лагранжа

$$\delta L_i = \frac{dL_i}{dt} \delta t = \frac{d}{dt} \sum_{k=1}^N L_{ik} \delta t$$

При выводе последнего выражения мы учли, что i – частица покоится. Продолжим преобразование, воспользовавшись уравнением движения для k – частицы (5.8)

$$\delta L_i = \left[\sum_{k=1}^N \left(\frac{\partial L_{ik}}{\partial \mathbf{r}_{ki}} \mathbf{v}_k + \frac{\partial L_{ik}}{\partial \mathbf{v}_{ik}} \frac{d\mathbf{v}_k}{dt} \right) \right] \delta t = \left\{ \sum_{k=1}^N \frac{\partial L_{ik}}{\partial \mathbf{r}_{ki}} \mathbf{v}_k \right\} \delta t + \left\{ \sum_{k=1}^N \left[\frac{\partial L_{ik}}{\partial \mathbf{r}_{ki}} - \frac{d}{dt} \frac{\partial L_{ik}}{\partial \mathbf{v}_{ik}} \right] \right\} \mathbf{v}_k \delta t$$

Перенесем полную производную в левую часть

$$\frac{d}{dt} \left\{ L_i - \sum_{k=1}^N \frac{\partial L_{ik}}{\partial \mathbf{v}_{ik}} \right\} = - \sum_{k=1}^N \mathbf{F}_{ik} \mathbf{v}_k = \frac{dE_i}{dt} \quad (5.3.6)$$

Выражение (5.12) – это изменение потенциальной энергии i – частицы при ее взаимодействии с другими частицами, при условии что i – частица покоится, а остальные частицы перемещаются и взаимодействуют только с ней. Суммируя (5.3.6) по индексу i , получим полное изменение потенциальной энергии всех взаимодействующих частиц.

$$dE = \sum_{i=1}^N dE_i = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^N \mathbf{F}_{ik} \mathbf{v}_k dt = \sum_{i=1}^N \sum_{k \neq i}^N \mathbf{F}_{ik} (\mathbf{v}_k - \mathbf{v}_i) dt = - \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^N \mathbf{F}_{ik} \mathbf{r}_{ki} dt \quad (5.3.7)$$

Как и (5.3.7) соотношение (5.3.6) инвариантно относительно преобразования Галилея. Оно выражается через работу всех сил, действующих на заряды замкнутой квазинейтральной системы. Поэтому величину dA , равную $dA = dK = -dE$, мы назовем дифференциалом работы, а саму величину A – работой.

Выясним теперь содержание понятий “сила” и “работа”. Понятию “сила” можно дать в классической механике следующее определение:

“Сила – это свойство материального объекта (источника данного свойства), которое проявляется при взаимодействии материальных объектов и приводит к изменению состояния взаимодействующих объектов (импульс, траектория и др.)”.

Отметим, что сила это **свойство** объекта, а не некий материальный объект. “Голой” силы, т.е. **силы без источника**, как свойства без объекта не бывает. Поэтому сила всегда имеет свой источник. Источниками сил могут быть самые разнообразные материальные объекты: заряд со своим полем, электромагнитная волна, которая несет с собой свое свойство – силовую характеристику, т.е. **напряженность своего поля** и т.д.

Сила проявляется только во взаимодействии, т.е. во взаимном действии. Взаимность действия в классической механике отражается третьим принципом Ньютона. Для проявления силы необходимы, по крайней мере, два объекта, которые должны взаимодействовать.

Очень важно, что сила зависит только от относительных величин: скоростей и расстояний. Положение субъекта-наблюдателя не влияет на силу взаимодействия. Как нами ранее было установлено, сила инвариантна относительно преобразования Галилея.

Работа является второй стороной (характеристикой) взаимодействия. Дадим следующее определение:

“Работа – объективная количественная характеристика качественного изменения движения материи, характеризующая энергетическую сторону взаимодействия”.

Отметим, что работа связана не с движением объекта относительно наблюдателя, т.е. не с самим движением в системе отсчета наблюдателя, а с его качественным измерением, рассматриваемым в **любой** фиксированной инерциальной системе отсчета. Качественное изменение движения в широком смысле есть переход одного вида энергии в другой, от одного материального объекта к другому.

Работа – объективное понятие. Работа определяется в механике **относительным движением материальных объектов**, а также движение не зависит от положения наблюдателя. Это определяет **инвариантность работы относительно преобразования Галилея**, т.е. независимость работы от волевого выбора наблюдателем инерциальной системы отсчета.

Законы сохранения. Запишем теперь законы сохранения, вытекающие. Мы не будем промежуточных результатов, поскольку существуют стандартные способы получения законов сохранения (первых интегралов), изложенные в любом учебнике по теоретической механике.

Закон сохранения энергии. В силу того, что функция Лагранжа не зависит явно от времени (инвариантна относительно преобразования $t = t' + t_0$, где $t_0 - const$) имеет место закон сохранения энергии

$$E = \sum_{i=1}^N \frac{m_i v_i^2}{2} + \sum_{i=1}^N \sum_{k \neq i}^N \left(\frac{\partial L_{ik}}{\partial \mathbf{v}_{ik}} \mathbf{v}_{ik} - L_{ik} \right) = const \quad (5.3.8)$$

Закон сохранения импульса. Закон сохранения импульса вытекает из инвариантности функции Лагранжа относительно преобразования $\mathbf{r} = \mathbf{r}' + \mathbf{r}_0$, где $\mathbf{r}_0 - const$.

$$\mathbf{P} = \sum_{i=1}^N \frac{\partial L}{\partial \mathbf{v}_i} = \left(\sum_{i=1}^N m_i \mathbf{v}_i + \sum_{i=1}^N \frac{\partial L_{ik}}{\partial \mathbf{v}_i} \right) = \sum_{i=1}^N m_i \mathbf{v}_i = const \quad (5.3.9)$$

Закон сохранения момента импульса. Из инвариантности функции Лагранжа относительно вращений пространственных координат $\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + [\mathbf{r}_0 \times d\Phi]$, где \mathbf{r}_0 – постоянен, а $d\Phi$ – угол поворота, следует закон сохранения момента импульса

$$\mathbf{M} = \sum_{i=1}^N \left([m_i \mathbf{r}_i \times \mathbf{v}_i] + \sum_{k\phi i} \left[\mathbf{r}_{ik} \times \frac{\partial L_{ik}}{\partial \mathbf{v}_{ik}} \right] \right) = const \quad (5.3.10)$$

Центр инерции замкнутой системы. Из инвариантности функции Лагранжа относительно преобразования Галилея следует, что центр инерции замкнутой системы, определяемый выражением

$$\mathbf{R}_c = \sum_{i=1}^N m_i \mathbf{R}_i / \sum_{i=1}^N m_i, \text{ движется относительно наблюдателя с постоянной скоростью}$$

$$\mathbf{V}_c = \sum_{i=1}^N m_i \mathbf{v}_i / \sum_{i=1}^N m_i. \quad (5.3.11)$$

4. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЗАРЯДОВ И ТОКОВ

Взаимодействие двух зарядов. Запишем интеграл действия:

$$S \approx \int \left(m_1 \frac{v_1^2}{2} - \frac{e_1 e_2}{4\pi\epsilon_{12}} \left[1 + \frac{(\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_2)^2}{2c^2} \right] + m_2 \frac{v_2^2}{2} \right) dt \quad (5.4.1)$$

Примечание. В общем случае это выражение может иметь более сложный вид, например,

$$S = \iint \left[\frac{m_1 v_1^2}{2} - \frac{e_1 e_2}{4\pi\epsilon_{12}} f\left(\frac{v_{12}^2}{c^2}\right) + \frac{m_2 v_2^2}{2} \right] dt$$

где $f(v_{12}^2/c^2)$ может быть $\sqrt{1+(v_{12}/c)^2}$, или $\text{ch}(v_{12}/c)$, или $1/\sqrt{1-(v_{12}/c)^2}$ и т.д.

Это связано с тем, что преобразований, родственных преобразованию Лоренца, много [1], [2]. Это большая специальная тема.

Можно придать выражению (6.4.1) стандартный вид

$$S \approx \int \left(m_1 \frac{v_1^2}{2} - e_1 \phi_2 - \frac{1}{2} e_1 \mathbf{v}_{12} \mathbf{A}_2 + m_2 \frac{v_2^2}{2} \right) dt \quad (5.4.2)$$

где: $\mathbf{v}_{12} = \mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_2$; $\mathbf{A}_2 = \varphi_2 \mathbf{v}_{12} / c^2$ это векторный потенциал, воздействующий на заряд e_1 , который создается зарядом e_2 , движущимся относительно заряда e_1 .

Из интеграла действия (6.4.2) следует уравнение движения для первого заряда при условии, что заряд e_2 как бы «заморожен» (\mathbf{r}_2 и \mathbf{v}_2 постоянны).

$$m_1 \frac{d\mathbf{v}_1}{dt} = -e_1 \text{grad} \phi_2 - e_1 \frac{\partial \mathbf{A}_2}{2\partial t} - \frac{1}{2} e_1 (\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_2) \times \text{rot} \mathbf{A}_2 \quad (5.4.3)$$

Уравнение движения второго заряда можно получить тем же путем.

$$m_2 \frac{d\mathbf{v}_2}{dt} = -e_2 \text{grad} \phi_1 - e_2 \frac{\partial \mathbf{A}_1}{2\partial t} - \frac{1}{2} e_2 (\mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_1) \times \text{rot} \mathbf{A}_1 \quad (5.4.4)$$

где: $\mathbf{A}_1 = \varphi_1(\mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_1)/c^2$ это векторный потенциал, действующий на заряд e_2 , который создается зарядом e_1 , движущимся относительно заряда e_2 .

Кажется, что множитель $1/2$ в выражении (5.4.4) противоречит современной точке зрения. Однако прямых экспериментов по прямой проверке взаимодействия двух зарядов при малых скоростях $v \ll c$ не велось. Мы рассмотрим ниже взаимодействие заряда с током и покажем правильность наших выкладок.

Выражения (5.4.3) и (5.4.4) являются инвариантными относительно преобразования Галилея. Взаимодействие зарядов не зависит от выбора наблюдателем инерциальной системы. Третий принцип Ньютона (действие равно противодействию) всегда выполняется $\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$.

Взаимодействие заряда и проводника с током. Мы будем считать, что отдельно взятые положительные и отрицательные заряды проводника много больше свободного заряда q , и не будем учитывать его влияние на проводник. В точке, где движется заряд q , положительный заряд проводника создает потенциал φ_1 , а отрицательный – потенциал φ_2 как показано на рис. 5.1. Проводник квазинейтрален, т.е. суммарный скалярный потенциал вне проводника равен нулю $\varphi_1 + \varphi_2 = 0$.

Запишем функцию Лагранжа, учитывая, что он равен сумме лагранжианов взаимодействия заряда с положительными и отрицательными зарядами проводника.

$$L = \frac{mv^2}{2} - q\varphi_1\left[1 + \frac{(\mathbf{v}_1 - \mathbf{v})^2}{2c^2}\right] - q\varphi_2\left[1 + \frac{(\mathbf{v}_2 - \mathbf{v})^2}{2c^2}\right] \quad (5.4.5)$$

Учитывая квазинейтральность проводника, мы можем записать функцию Лагранжа в следующем виде:

$$L = \frac{mv^2}{2} + q\varphi_1 \frac{(\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_2)(\mathbf{v} - \frac{(\mathbf{v}_1 + \mathbf{v}_2)}{2})}{c^2} \quad (5.4.6)$$

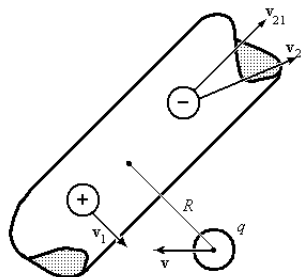


Рис. 5.1. Обозначения: \mathbf{v}_1 – скорость положительных зарядов проводника (ионов); \mathbf{v}_2 – скорость электронов проводимости проводника; \mathbf{v} – скорость свободного заряда; $\mathbf{v}_{21} = \mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_1$ – средняя скорость электронов проводимости в проводнике.

Можно выражению (5.4.6) придать стандартный вид после введения следующих обозначений:

- $\mathbf{A} = \frac{\varphi_1(\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_2)}{c^2}$ – векторный потенциал проводника в точке заряда q ;
- $\mathbf{v}_0 = (\mathbf{v}_1 + \mathbf{v}_2)/2$ – скорость базовой системы отсчета;
- $\mathbf{v}_r = \mathbf{v} - \mathbf{v}_0$ – скорость движения заряда q в базовой системе.

Базовая система отсчета это инерциальная система, в которой положительные заряды (ионы) проводника и электроны проводимости движутся с **равными скоростями в противоположные стороны**. Это своеобразный «центр инерции» зарядов проводника. Выражение (5.4.6) можно теперь записать в «стандартной» форме.

$$L = \frac{mv^2}{2} + q\mathbf{v} \cdot \mathbf{A}$$

Известно, что средняя скорость электронов проводимости в проводнике ($\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_2$) это весьма малая величина. Поэтому потенциал ϕ_1 практически есть функция $(\mathbf{r} - \mathbf{v}_0 t) \approx (\mathbf{r} - \mathbf{v}_1 t)$. Другими словами, мы можем считать, что базовая система отсчета проводника связана с самим проводником. Принимая это во внимание, можно записать уравнение движения заряда, в правой части которого имеется сила Лоренца:

$$m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = -q \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} + q(\mathbf{v} - \mathbf{v}_0) \times \text{rot} \mathbf{A} \quad (5.4.7)$$

Выражение (5.4.7) может быть записано в другой форме

$$m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = q\mathbf{E}' - q \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} + [q\mathbf{v} \times \text{rot} \mathbf{A}]$$

$$\text{где } \mathbf{E}' = -[\mathbf{v}_0 \times \text{rot} \mathbf{A}] = -[\mathbf{v}_0 \times \mathbf{B}]$$

Это известный результат преобразования магнитного поля с помощью преобразования Лоренца, примененного для заряда, движущегося в базовой системе отсчета. В базовой системе, как было сказано, положительные и отрицательные заряды проводника имеют одинаковую скорость, но движутся в противоположных направлениях. Система отсчета заряда движется относительно базовой системы со скоростью \mathbf{v}_0 [3].

Вернемся к выражению (5.4.7) и заменим в нем векторный потенциал скалярным

$$m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = q \text{grad} \phi_1 \frac{(\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_2)(\mathbf{v} - \mathbf{v}_0)}{c^2} \quad (5.4.8)$$

Из (5.4.8) следует, что заряды не взаимодействуют с проводником, если:

- $\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_2 = 0$; тривиальный случай отсутствия тока в проводнике;
- $\mathbf{v} - \mathbf{v}_0 = 0$; заряд покоится в базовой системе отсчета проводника;
- $(\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_2)(\mathbf{v} - \mathbf{v}_0) = 0$, но $\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_2 \neq 0$ и $\mathbf{v} - \mathbf{v}_0 \neq 0$; точечный заряд движется в базовой системе перпендикулярно проводнику. Если бы мы рассматривали сферический протяженный заряд, то при таком движении он бы начал вращение.

Обычно средняя скорость электронов проводимости является маленькой. Поэтому возможно приближенно полагать, что базовая система отсчета проводника связана с проводником. Если движущийся заряд пересекает силовые линии магнитного поля, то на заряд действует сила. Если же заряд покоится в базовой системе, то магнитные силы отсутствуют.

Мы можем распространить понятие «Базовая система отсчета» на замкнутые контуры с током, на электромагниты и магниты. У магнита, электромагнита и т.д. есть свои базовые системы отсчета.

Например, токовое кольцо создает магнитное поле. Такое кольцо можно сравнить с магнитом. Если кольцо вращается или движется, тогда магнитное поле вращается или движется вместе с кольцом (магнитом).

В системе отсчета наблюдателя движение магнитного поля производит электрическое поле. Это важный аспект для понимания сути магнитных взаимодействий.

Взаимодействие двух проводников с током. Рассмотрим взаимодействие двух проводников с токами. Проводник мы можем представить в виде ионной решетки положительных зарядов и электронов проводимости. Пусть первый проводник (т.е. его положительная ионная решетка) движется со скоростью \mathbf{v}_1 , а второй проводник движется со скоростью \mathbf{v}_3 , как показано на рис. 5.2.

Функция Лагранжа определяется суммой парных взаимодействий положительных и отрицательных зарядов двух проводников. Выделим во втором проводнике объем dV . В этом проводнике ρ_3 и ρ_4 — это плотности положительных и отрицательных зарядов соответственно. Пусть в этом объеме положительные заряды первого проводника создают потенциал ϕ_1 , а отрицательные — ϕ_2 .

Мы рассматриваем оба проводника как квазинейтральные системы:

$$\rho_3 + \rho_4 = 0; \phi_1 + \phi_2 = 0.$$

Плотность	лагранжиана	взаимодействия	равна
-----------	-------------	----------------	-------

$$\Lambda = -\frac{\phi_1 \rho_3}{c^2} \left(1 + \frac{(\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_3)^2}{2c^2}\right) - \frac{\phi_1 \rho_4}{c^2} \left(1 + \frac{(\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_4)^2}{2c^2}\right) - \frac{\phi_2 \rho_3}{c^2} \left(1 + \frac{(\mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_3)^2}{2c^2}\right) - \frac{\phi_2 \rho_4}{c^2} \left(1 + \frac{(\mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_4)^2}{2c^2}\right) = \frac{\phi_1 \mathbf{v}_{12}}{c^2} \rho_3 \mathbf{v}_{34} = \mathbf{jA} \quad (5.4.9)$$

где: $\mathbf{j} = \rho_3 \mathbf{v}_{34} = \rho_4 \mathbf{v}_{43}$ — это плотность тока в проводнике 2; $\mathbf{A} = \phi_1 \mathbf{v}_{12} / c^2 = \phi_2 \mathbf{v}_{21} / c^2$ — это векторный потенциал, создаваемый проводником 1 в объеме dV проводника 2.

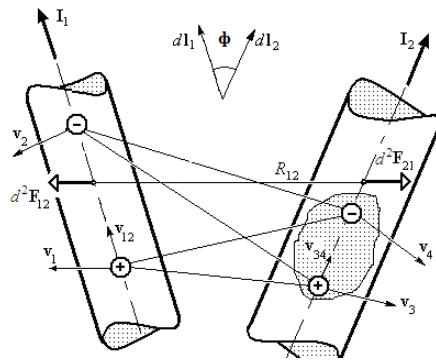


Рис. 5.2. Обозначения на рисунке 2 следующие: \mathbf{v}_1 — скорость положительных зарядов проводника 1; \mathbf{v}_2 — средняя скорость отрицательных зарядов проводника 1; \mathbf{v}_3 — скорость положительных зарядов проводника 2; \mathbf{v}_4 — средняя скорость отрицательных зарядов проводника 2; $\mathbf{v}_{21} = \mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_1$ — средняя скорость движения отрицательных зарядов в проводнике 1 относительно положительных; $\mathbf{v}_{43} = \mathbf{v}_4 - \mathbf{v}_3$ — средняя скорость движения отрицательных зарядов в проводнике 2 относительно положительных.

Мы видим, что плотность функции Лагранжа совпадает с известной релятивистской функцией Лагранжа. Однако это только *внешнее* сходство. Вид функции (5.4.9) является следствием полной компенсации кулоновских потенциалов в квазинейтральных системах. Это не релятивистский эффект. Выражение (5.4.9) инвариантно относительно преобразования Галилея.

Для получения функции Лагранжа необходимо (5.4.9) проинтегрировать по всему объему, содержащему проводники.

$$L = \int \mathbf{j} \mathbf{A} dV \quad (5.4.10)$$

Пусть длины проводников dl_1 и dl_2 и размеры их поперечных сечений s_1 и s_2 малы по сравнению с расстоянием R_{12} между этими проводниками. Тогда мы можем векторный потенциал первого проводника записать в известной форме:

$$\mathbf{A} = \frac{\mu}{4\pi} \frac{I_1 d\mathbf{l}_1}{r_{12}} \quad (5.4.11)$$

где: $I_1 = \int \rho_2 \mathbf{v}_{21} dS$, I_1 ток, протекающий через поперечное сечение первого проводника.

Подставим выражение (5.4.11) в формулу (5.4.10).

$$L = \int \frac{\mu}{4\pi} \mathbf{j} \frac{I_1 d\mathbf{l}_1}{r_{12}} dV \quad (5.4.12)$$

Объем dV маленький. Векторный потенциал \mathbf{A} можно считать постоянным в этом объеме. С учетом этого выражение (5.4.12) принимает окончательный вид

$$L = \frac{\mu}{4\pi} \frac{I_1 d\mathbf{l}_1}{r_{12}} \int \mathbf{j} dV = \frac{\mu}{4\pi} \frac{(I_1 d\mathbf{l}_1 I_2 d\mathbf{l}_2)}{r_{12}} \quad (5.4.13)$$

где $I_2 = \int \rho_4 \mathbf{v}_{43} dS_2$.

Отметим, что выражение (5.4.13) инвариантно относительно преобразования Галилея.

Теперь мы можем, опираясь на (5.4.13), рассмотреть взаимодействие двух бесконечно малых проводников с токами, т.е. взаимодействие двух элементарных токов.

Чтобы выяснить особенности взаимодействия элементарных токов, запишем интеграл действия, опираясь на (5.4.13):

$$S = \int L dt = \int \frac{\mu}{4\pi} \frac{(I_1 d\mathbf{l}_1 \cdot I_2 d\mathbf{l}_2)}{r_{12}} dt \quad (5.4.14)$$

Варьировать мы можем только две величины \mathbf{r}_{12} – расстояние между двумя проводниками и ϕ_{12} – угол взаимной ориентации элементов тока.

1) Будем варьировать \mathbf{r}_{12} при постоянном угле ϕ_{12} .

$$\begin{aligned} \delta S &= \delta \int \frac{\mu}{4\pi} \frac{(I_1 d\mathbf{l}_1 \cdot I_2 d\mathbf{l}_2)}{r_{12}} dt = \frac{\mu}{4\pi} \int (I_1 d\mathbf{l}_1 \cdot I_2 d\mathbf{l}_2) \delta \left(\frac{1}{r_{12}} \right) dt = \\ &= \int \frac{\mu}{4\pi} \frac{(I_1 d\mathbf{l}_1 \cdot I_2 d\mathbf{l}_2)}{r_{12}^3} \mathbf{r}_{12} \delta \mathbf{r}_{12} dt = \int d^2 \mathbf{F}_{12} \delta \mathbf{r}_{12} dt = 0 \end{aligned}$$

Отсюда следует, что элементарные силы равны

$$d^2 \mathbf{F}_{12} = \frac{\mu}{4\pi} \frac{(I_1 d\mathbf{l}_1 \cdot I_2 d\mathbf{l}_2)}{r_{12}^3} \mathbf{r}_{12} = -d^2 \mathbf{F}_{21} \quad (5.4.15)$$

Как мы видим, Третий принцип Ньютона выполняется.

2) Будем варьировать угол взаимной ориентации элементов тока ϕ_{12} при неизменном расстоянии \mathbf{R}_{12}

$$\begin{aligned} \delta S &= \int \frac{\mu}{4\pi} \delta \frac{(I_1 d\mathbf{l}_1 \cdot I_2 d\mathbf{l}_2)}{r_{12}} dt = \int \frac{\mu I_1 I_2}{4\pi r_{12}} (d\mathbf{l}_1 \times \delta \boldsymbol{\phi}_{12}) dt = \\ &= - \int \frac{\mu I_1 I_2}{4\pi r_{12}} (d\mathbf{l}_1 \times d\mathbf{l}_2) \delta \boldsymbol{\phi}_{12} dt = \int d^2 \mathbf{M}_{21} \delta \boldsymbol{\phi}_{12} dt = - \int d^2 \mathbf{M}_{12} \delta \boldsymbol{\phi}_{12} dt = 0 \end{aligned}$$

Отсюда следует, что элементарные моменты равны, но направлены в противоположные стороны

$$d^2 \mathbf{M}_{21} = \frac{\mu}{4\pi} \frac{[I_1 d\mathbf{l}_1 \times I_2 d\mathbf{l}_2]}{r_{12}} = -d^2 \mathbf{M}_{12} \quad (5.4.16)$$

Результаты (5.4.15) и (5.4.16) **полностью** описывают явления, связанные с взаимодействием двух элементарных токов. Третий принцип Ньютона не нарушается. Формула Био-Саварра, описывающая взаимодействие проводника и магнитного поля, вообще говоря, не корректна и справедлива лишь для частных случаев.

Правильность полученного вывода можно подтвердить, используя выражение для силы Лоренца при отсутствии электростатических кулоновских сил.

$$\mathbf{F}_{12} = -q_2 \frac{\partial \mathbf{A}_1}{\partial t} + q_2 \mathbf{v}_2 \times \text{rot} \mathbf{A}_1$$

Вычислим значения

$$\mathbf{A}_1 = \frac{\phi_1 \mathbf{v}_1}{c^2} = \mu \frac{q_1 \mathbf{v}_1}{4\pi r_{12}} \quad q_2 \frac{\partial \mathbf{A}_1}{\partial t} = q_2 \frac{\mathbf{v}_1}{c_2} \frac{\partial \phi_1}{\partial t} = -\frac{\mu}{4\pi r_{12}^3} q_1 \mathbf{v}_1 \cdot (q_2 \mathbf{v}_2 \cdot \mathbf{r}_{21})$$

$$q_2 \mathbf{v}_2 \times \text{rot} \mathbf{A}_1 = -\frac{\mu}{4\pi r_{12}^3} q_2 \mathbf{v}_2 \times [\mathbf{r}_{21} \times q_1 \mathbf{v}_1]$$

Подставляя эти выражения в (5.4.15), получим

$$\mathbf{F}_{12} = -\frac{\mu q_1 q_2 (\mathbf{v}_1 \cdot \mathbf{v}_2)}{4\pi r_{12}^3} = -\mathbf{F}_{21} \quad (5.4.17)$$

По своей форме полученное выражение соответствует выражению (5.4.17). Действительно, если $q_1 \mathbf{v}_1$ соответствует $I_1 d\mathbf{l}_1$, а $q_2 \mathbf{v}_2$ соответствует $I_2 d\mathbf{l}_2$, то придем к выражению (5.4.17), что и требовалось показать.

Замечание. Взаимодействие заряда с током или взаимодействие двух элементов тока не зависит от природы токов. Ток может создаваться электронами проводимости или виртуальными зарядами в проводниках, зарядами в плазме или ионами в электролитах. Теория взаимодействия распространяется и на них.

5. СТАРЫЕ ПРОБЛЕМЫ И НОВЫЕ ОБЪЯСНЕНИЯ

Теперь настало время сопоставить старую теорию с новым подходом, обусловленным наличием второй ветви решений уравнений Максвелла.

Парадокс Тамма. Существующая в современной литературе асимметрия закона Ампера (или формулы Био-Саварра) в ряде случаев приводит к нарушению Третьего закона Ньютона. Это видно из современной записи выражений для сил:

$$d^2 \mathbf{F}_{21} = \frac{\mu}{4\pi} \frac{I_1 d\mathbf{l}_1 \times [\mathbf{r}_{12} \times I_2 d\mathbf{l}_2]}{r_{12}^3}; \quad d^2 \mathbf{F}_{12} = \frac{\mu}{4\pi} \frac{I_2 d\mathbf{l}_2 \times [\mathbf{r}_{21} \times I_1 d\mathbf{l}_1]}{r_{12}^3} \quad (5.5.1)$$

В общем случае $d^2 \mathbf{F}_{12} \neq d^2 \mathbf{F}_{21}$. Пример подобного нарушения приведен в [4], а рисунок из этой работы воспроизведен ниже.

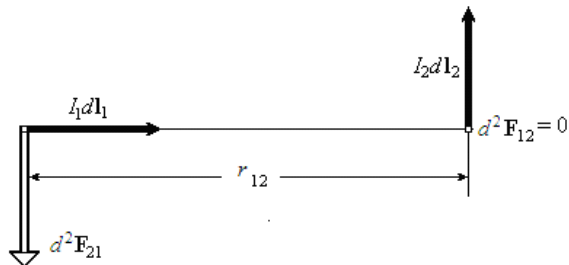


Рис. 5.3

На Рис. 5.3 показано, что второй элемент тока воздействует на первый с силой \mathbf{F}_{21} , отличной от нуля, а сам не испытывает никакого воздействия со стороны первого элемента тока.

Полученные нами соотношения (5.4.15) и (5.4.16) устраняют асимметрию закона Ампера. На элементы токов будет действовать только вращающий момент (5.4.16).

$$\mathbf{M}_{21} = \frac{\mu}{4\pi} \frac{[I_1 d\mathbf{l}_1 \times I_2 d\mathbf{l}_2]}{R_{12}} = -\mathbf{M}_{12} \quad \mathbf{M}_{12} = \frac{\mu}{4\pi} \frac{[I_2 d\mathbf{l}_2 \times I_1 d\mathbf{l}_1]}{r_{12}} = -\mathbf{M}_{21}$$

Сопоставление векторов Умова и Пойнтинга. Чтобы уяснить принципиальное различие векторов Умова и Пойнтинга, рассмотрим пример. Пусть вдоль идеального проводника течет ток. В середине провода имеется тонкий разрыв, образующий емкость между торцевыми концами проводов. Будем для простоты считать, что краевые эффекты малы, а поле в зазоре однородно. Каким образом через эту емкость переносится энергия?

А) Прохождение тока через емкость (проблема Фейнмана). Рассмотрим этот процесс в рамках квазистатических представлений (см. рис 6.2). Р. Фейнман проводит расчеты и пишет следующее в [5], [6]. (стр. 295 - 298):

«Рассмотрим поток энергии в медленно заряжающемся конденсаторе. (Мы не хотим сейчас иметь дело со столь высокими частотами, при которых конденсатор становится похожим на резонансную полость, но нам не нужен и постоянный ток.) Возьмем конденсатор с круглыми параллельными пластинами. Между ними создается однородное электрическое поле, которое изменяется с течением времени. ...

... Когда конденсатор заряжается, внутренний объем приобретает энергию со скоростью

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \epsilon_0 \pi a^2 h E \dot{E}$$

Так, что должен существовать поток энергии, направленный откуда-то со стороны внутрь объема.

... Таким образом, на краях конденсатора, как видно из рисунка, возникает поток энергии, пропорциональный $\mathbf{E} \times \mathbf{V}$

... Удивительная вещь! Оказывается при зарядке конденсатора энергия идет туда не через провода, а через зазор между краями пластин. Вот что говорит нам эта теория!

Как это может быть? Вопрос не из легких...»

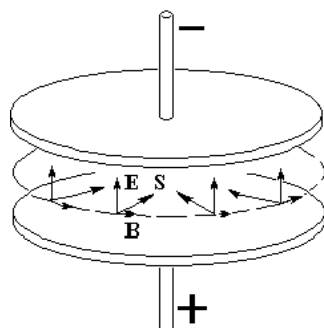


Рис. 5.4

Действительно, почему ток заряжает конденсатор, а энергия поступает «контрабандным» путем не с зарядами, а «извне» «через зазор между краями пластин»? Далее Р. Фейнман пишет:

«... Наконец, чтобы убедить вас в том, что это явно ненормальная теория, возьмем еще один пример ...» и т.д.

Дадим объяснение, показав, что именно упустил из виду Р. Фейнман. Дело в том, что, используя вектор Пойнтинга, Фейнман заведомо рассматривает волновые, а не квазистатические процессы. Он, не зная, что существует квазистатическая ветвь решений, пытается дать стандартное объяснение, опираясь на закон Пойнтинга, и сталкивается с проблемами. Дадим правильное объяснение с точки зрения волновых явлений.

При анализе волновых процессов конденсатор в линии (проводе) является неоднородностью, от которой происходит отражение части энергии волны (Рис. 5.4). Электромагнитная волна распространяется над поверхностью идеального проводника, не проникая внутрь идеального проводника. Это уже известные нам виртуальные (безинерциальные) заряды и токи.

Когда конденсатор заряжается, происходит увеличение энергии между пластинами конденсатора. Это сложный процесс (Рис. 5.5), т.к. между обкладками конденсатора существуют две волны: падающая (направлена к центру) и отраженная (направлена в обратную сторону).

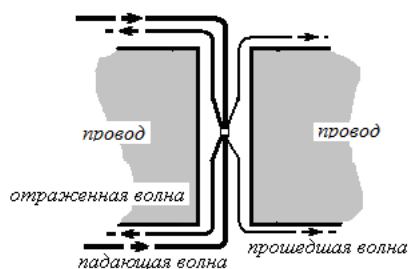


Рис. 5.5

Поток, который подсчитывал Фейнман, фактически складывается из потоков трех волн: падающей, отраженной и прошедшей. В такой цепи (в отличие от квазистатической кирхгофской) в различных сечениях неразветвленной цепи ток $I(t)$ не будет одинаков. То, что энергия «втекает» в объем между пластинами конденсатора извне и отражается, есть реальный волновой процесс.

Мы вовсе не хотим противопоставлять вектор Умова вектору Пойнтинга. Оба вектора отвечают разным процессам. Они применимы *каждый в своей области* и описывают свои явления.

Здесь мы хотим еще раз подчеркнуть, что запаздывающие потенциалы уравнений Максвелла и мгновенно действующие потенциалы описывают разные явления, присущие классической электродинамике. Нельзя в угоду предрассудкам пытаться описать и объяснять квазистатические процессы, опираясь на волновые представления. Нельзя отождествлять поля электромагнитной волны и поля зарядов. Не случайно Р. Фейнман вынужден был сказать о современной электродинамике: «*это явно ненормальная теория*».

Б) Прохождение тока через емкость (квазистатический вариант). Пусть ток увеличивается во времени. Это означает, что на левой части проводника нарастает избыток положительных зарядов. На правой части торца, образующего емкость, накапливаются отрицательные заряды. Разность потенциалов между левой и правой частями увеличивается (см. Рис. 5.6).

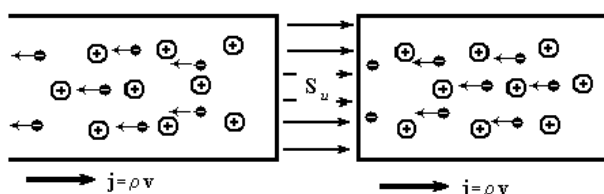


Рис. 5.6

В соответствии с этим через емкостный зазор протекает ток смещения, с плотностью тока равной $\mathbf{j}_{см} = \epsilon \partial \mathbf{E} / \partial t = \mathbf{j}$. В левой и правой частях проводника протекает поток основных носителей с плотностью $\mathbf{j} = \rho \mathbf{v}$. Эти плотности токов равны, поскольку отражения не существует.

С точки зрения теоремы Умова через емкостной зазор проходит поток энергии, определяемый законом Умова. В частности, между торцами проводника существует плотность потока (вектор Умова), которая направлена *вдоль* проводника и равна $\mathbf{S}_u = -\frac{\epsilon}{2} \frac{\partial \phi}{\partial t} \text{grad } \phi = \frac{\epsilon}{2} (\text{grad } \phi)^2 \mathbf{v} = w \mathbf{v}$.

Заметим, что ток в любом сечении неразветвленной цепи (в левом проводнике, в правом проводнике или в зазоре) один и тот же для любого фиксированного момента времени. Благодаря этому свойству «работают» известные **законы Кирхгофа** для электрических цепей. В любом сечении неразветвленного участка цепи протекает один и тот же ток.

6. «КОНВЕКТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ»

Описание «конвективного» потенциала приведено в учебнике [7]. Пусть заряды покоятся. Кулоновские силы двух неподвижных зарядов уравновешены механическими силами. Наблюдателю, который движется мимо зарядов с постоянной скоростью, будет казаться, что на заряды действует момент сил.

Итак, цитируем объяснение в [7]:

«*Два электрона, движущихся параллельно друг другу с одинаковой скоростью u, взаимодействуют между собой. Сила взаимодействия определяется выражением для силы Лоренца...*

$$\mathbf{F} = e(\mathbf{E} + \mathbf{u} \times \mathbf{B})$$

...после преобразования...

$$\mathbf{F} = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon} \nabla \left(\frac{1-u^2/c^2}{s} \right) = -\nabla \psi$$

... Функция

$$\psi = \frac{e^2(1-u^2/c^2)}{4\pi\epsilon s}$$

называется конвективным потенциалом...».

Обращаем ваше внимание на то, что конвективный потенциал является мгновенно действующим, а не запаздывающим в соответствии с Главой 2. Далее [7]:

«Сила F_2 , с которой электрон e_1 , находящийся в точке (x_1, y_1, z_1) , действует на электрон e_2 , находящийся в точке (x_2, y_2, z_2) , должна быть перпендикулярна поверхности эллипсоида

$$s = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + \left(1 - \frac{u^2}{c^2}\right) [(y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2]}$$

ибо последняя является эквипотенциальной поверхностью...

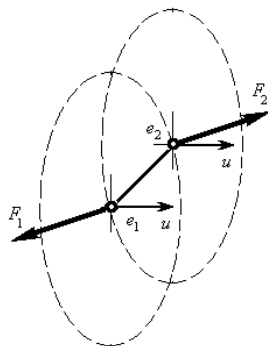


Рис. 5.7

...Таким образом, за исключением случаев, когда линия, соединяющая электроны, параллельна или перпендикулярна к направлению движения, силы действия и противодействия не коллинеарны».

Естественно, что в объяснении появляется вращающий момент (Рис. 5.7). Обратите внимание на комментарий авторов. Они замечают, что [7]:

«...для наблюдателя, движущегося с зарядами, заряды не представляют собой элементов тока. Поэтому взаимодействие между ними будет чисто кулоновским».

Итак, [7]:

«Вращательный момент, предсказываемый теорией, реально существует для наблюдателя, движущегося относительно зарядов со скоростью u . Он мог бы быть измерен, если бы не нужно было учитывать механические соображения. Мы уже указывали, что представление о «жестком» стержне несовместимо с теорией относительности Положение полностью аналогично тому, которое было при рассмотрении равновесия рычага – вращательный момент компенсируется приростом момента импульса. Во всяком случае, равновесие есть свойство, инвариантное относительно преобразований Лоренца».

Ясно, что здесь мы имеем дело не с объяснением физического явления, предсказываемого СТО, а с декларацией об **инвариантности** равновесия в любой инерциальной системе отсчета («Во всяком случае,

равновесие есть свойство, инвариантное относительно преобразований Лоренца» [7]). Мы читали нечто подобное в объяснении «Парадокса рычага» тех же авторов. В следующем параграфе мы выясним причину парадокса.

Объяснение «появления» вращающего момента. Мы сейчас не будем рассматривать формализм релятивистских формул. Мы будем интересоваться только ошибкой объяснения. Ошибка обусловлена существующим (некорректным) определением напряженности поля.

В зарубежных учебниках можно прочесть [8]:

“The electric field intensity is defined as the force per unit positive charge that would be experienced by a stationary point charge, or «test charge», at a given location in the field:

$$\mathbf{E} = \mathbf{F} / q_t”.$$

Это определение принято и у нас: *Напряженность электрического поля в данной точке пространства численно равна силе, действующей на единичный положительный точечный заряд* (пробный заряд).

Однако приведенные определения не полны и, следовательно, они *некорректны*. Пробный заряд должен *покоиться* в точке $A(x, y, z)$, где измеряется поле (система отсчета наблюдателя). *Это весьма важно!*

Если заряд движется через точку $A(x, y, z)$ со скоростью \mathbf{u} , тогда на заряд будет действовать *другая сила* $\mathbf{F}' \neq \mathbf{F}$. По этой причине объяснение в [7] содержит непоправимую ошибку. Автор приписывает *движущемуся* заряду силу, которая действовала бы *на неподвижный пробный заряд*. Как следствие мы вычисляем вращающий момент, который *не существует* в реальности. Напомним, что сила инвариантна относительно преобразования Галилея. Дадим *свое* определение напряженности электрического поля \mathbf{E} , пригодное для релятивистского и классического вариантов.

Определение. *Напряженность электрического поля (в данной точке пространства и в данный момент времени) есть силовая характеристика этого поля, численно равная силе, действующей на единичный, положительный, точечный заряд (т.е. на пробный заряд), покоящийся в этой точке, и имеющая направление, совпадающее с направлением вектора силы.*

Это определение корректно.

Во-первых, философская сторона определения - «силовая характеристика» - позволяет нам не воспринимать напряженность как самостоятельный вид материи, а как определенное свойство. Напряженность поля одно из *свойств* такого явления как электромагнитное поле. Заметим, что «энергетической характеристикой» электрического поля является потенциал (в том числе и конвективный), поскольку он определяется через понятие «*работа*».

Сила есть одно из *свойств* волны или материального тела. Без введения подобных уточнений возникает путаница. Например, некоторые исследователи ошибочно пытаются рассматривать силу, как некий *самостоятельный* «материальный объект», существующий как бы независимо от объекта, который создает эту силу. Взаимодействуют именно заряды, а силы, возникающие между ними, это *свойства* самих частиц (источников этих сил).

Во вторых, мы хотим обратить внимание на появление в определении понятия «напряженность» слова «*покоящийся*». Дело в том, что в данный момент времени в данной точке пространства мы можем

«поместить» в исследуемое поле *движущийся* единичный заряд. Естественно, что на него со стороны поля будет действовать уже *другая* сила (= будет измерена *другая* напряженность поля), отличная от той, которая действовала бы на *покоящийся* заряд.

Приведем пример. Пусть мы имеем однородное магнитное поле *покоящегося* в нашей системе отсчета магнита. Если пробный заряд **покоится**, то на него магнитное поле не будет действовать, т.е. напряженность электрического поля, действующего на пробный единичный заряд, равна нулю. Но если заряд движется со скоростью \mathbf{v} относительно магнита, то в соответствии с формулой Лоренца на него будет действовать сила и существовать, пропорциональная ей напряженность электрического поля

$$\mathbf{E} = \mathbf{F} / e = \mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

Рассмотрим теперь случай, когда этот магнит со своим полем перемещается с постоянной скоростью \mathbf{u} в нашей системе отсчета. Иногда можно встретить утверждения, что и в данном случае на *покоящийся* заряд магнитное поле *не будет действовать*. При этом сторонники такой точки зрения «кивают» на приведенную выше формулу Лоренца. Действительно, если скорость заряда равна нулю, то и сила (= напряженность электрического поля) должна быть равной нулю. Но это ошибочная точка зрения.

Движущееся магнитное поле порождает напряженность электрического поля, равную $\mathbf{E}' = -\mathbf{u} \times \mathbf{B}$, (см. выражение (5.4.7)). Эта напряженность создает силу, которая будет действовать на *покоящийся* в нашей инерциальной системе отсчета пробный заряд. Под ее воздействием свободный заряд начнет двигаться ускоренно.

Теперь, опираясь на определение напряженности электрического поля, мы можем дать непротиворечивое объяснение «конвективному потенциалу».

Итак, обратимся к Рис. 5.7 и рассмотрим напряженность поля, создаваемую первым зарядом e_1 , которая существует в той точке пространства, где в данный момент находится движущийся заряд e_2 . Для этой цели (в соответствии с определением понятия «напряженность электрического поля») мы поместим в данную точку пространства в момент времени, соответствующий пролету второго заряда, **неподвижный** пробный заряд.

Естественно, что на этот **неподвижный** заряд будет действовать сила, определяемая формулой Лоренца. Но будет ли действовать та же сила на **движущийся** заряд? Ответ на этот вопрос должен быть в общем случае **отрицательным** (см. выражение (5.4.3)). На движущийся заряд будет действовать **другая** сила, отличная от той, которую мы измерили с помощью неподвижного пробного заряда.

Но вернемся к рассматриваемому парадоксу. Что же мы имеем? А имеем мы **подмену** сил, если говорить с точки зрения физики. Мы **незаконно подменяем** силу, которая действует на движущийся заряд, другой силой, которая действует на **неподвижный** в нашей системе отсчета заряд. Если бы мы вычисленные для неподвижного заряда силы заменили **реальными** силами, то никакого парадокса, связанного с появлением вращающего момента, мы бы не обнаружили.

Заключение. Как мы видим, математический формализм классической механики позволяет без проблем объяснить явления, связанные с взаимодействием зарядов и токов. А сколько критических замечаний было высказано на «изломе» 10-20 столетий: «Классическая механика не способна дать правильное объяснение магнитным явлениям!» и т.п. Амбиции, вера в свою «непогрешимость» и желание «превзойти Ньютона» сыграли злую шутку с учеными конца 19 столетия.

Взаимодействие в современной квазистатической электродинамике имеет **объективный** характер, как это имеет место в механике Ньютона. Оно не может зависеть от субъективного выбора наблюдателем инерциальной системы отсчета.

ССЫЛКИ:

1. В. Кулигин . 2020. По ошибкам теоретиков и корпускулярно-волновому дуализму... *ПЛИИ!*
<http://www.trinitas.ru/rus/doc/0001/005d/00012454.htm>
2. V. Kuligin. 2020. Attack on the Wave-Particle Duality and Errors in Physics . Publising Polmarum. # (5281), ISBN 978-620-2-39434-.
3. В.Кулигин, Г. Кулигина, М. Корнева. 2012. Анализ ошибок и заблуждений в современной электродинамике. Издат. LAP, ISBN-13:978-3-659-32667-7; ISBN-10: 3659326674; EAN: 9783659326677
4. И.Е. Тамм. 1954. Основы теории электричества. – М.: ГИТТЛ.
5. R.F. Feynman, R.B. Leighton? M. Sands. 1963. The Feynman Lectures on Physics. V. 1, ADDISON-WESLEY PUBLISHING COMPANY, INC.
6. Р.Ф. Фейнман, М.Сэндс, Р.Лейтон. 1977. Фейнмановские лекции по физике. Т 6. Электродинамика, 3-е издание, М.: Мир.
7. W. Panofsky & M. Phillips. 1961. Classical electricity and Magnetism Wesley Publishing Co. Inc., Cambridge, MA: Addison-Wesley, USA.
8. J. Jackson, 1963. Classical Electrodynamics, Wiley, New York.

Глава 6. «Магнитные» парадоксы и их анализ

1. Введение
2. Эксперименты Р. Сигалова
3. Эксперимент Г. Николаева
4. Эксперимент Черникова
5. Мотор Фарадея
6. Эксперимент Солунина и Костина
7. Мотор Маринова
8. Униполярная индукция
9. Эксперимент Траутона и Нобла
10. Заключение.

1. ВВЕДЕНИЕ

Результаты предыдущей Главы 5 позволяют дать непротиворечивое объяснение «магнитным парадоксам» в рамках классических представлений. Часть парадоксов собрана в статье Г.В. Николаева [1], который их собирал в коллекцию и пытался найти им объяснение. Мы подтвердим эффективность использования мгновенно действующих потенциалов для объяснения магнитных явлений.

2. ЭКСПЕРИМЕНТЫ Р. СИГАЛОВА

Приведем описание первого эксперимента [1]. Другие эксперименты (Сигалова и др. № 5, 6, 7, 8, 14, 15, 17, 19 и Николаева № 2, 4, 20, 21, 23) являются вариациями на ту же тему.

Эксперимент № 1. Цитируем:

«При подключении тока к П-образному проводнику последний приходит в поступательное движение. В рамках известных представлений подобное движение возможно только при взаимодействии П-образного проводника с собственным магнитным полем (Рис 6.1).

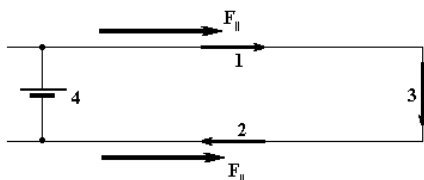


Рис. 6.1

Объяснение основывается на предположении, что магнитное поле H боковых участков тока 1, 2 оказывает давление на жестко связанный с ними участок тока 3 проводника, под действием которого последний приходит в поступательное движение, увлекая за собой и участки тока 1, 2 П-образного проводника. При длине контура в 2-3 раза больше ширины, на 3 порядка меньшей силой действия магнитного поля H неподвижного проводника 4 на участок тока 3 подвижного П-образного проводника можно пренебречь. Для разрешения противоречий с законами механики Ампером было допущено существование продольной силы $F_{||}$, действующей вдоль проводников 1, 2, однако существование данной силы противоречит основам классической электродинамики».

Можно объяснить это явление через взаимодействие проводников или же с энергетической точки зрения. Мы рассмотрим оба подхода, которые приводят к одинаковым качественным и количественным результатам.

Энергетический подход. Рассмотрим плоский замкнутый кольцевой контур радиусом R , образованный проводом радиусом r (Рис. 6.2). Пусть вдоль этого контура течет ток I . Подсчитаем энергию поля векторного потенциала, создаваемую током. Она равна $W = LI^2/2$. Индуктивность этого контура с точностью до членов порядка $(r/R)^4$ равна [2]

$$L = \mu_0 \left[R \ln \frac{8R}{r} - \frac{7}{4} R \right]$$

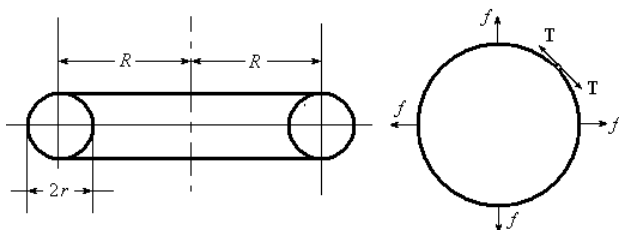


Рис. 6.2

На части контура будут действовать растягивающие сил с погонной величиной f . Они будут создавать натяжение T , стремящееся «растянуть» контур, разорвать его.

Допустим, что в результате этого контур увеличил свой радиус на величину ΔR . Ток при этом не изменится. Изменится индуктивность контура и, соответственно его энергия. Изменение энергии есть работа, совершенная силами f .

Итак

$$\Delta A = [L(R + \Delta R) - L(R)]I^2 / 2 = \Delta LI^2 / 2 = 2\pi R f \cdot \Delta R = 2\pi \Delta R T$$

Отсюда можно найти величину погонной силы

$$f = \frac{\Delta A}{\Delta R} = \frac{I^2 \Delta L}{4\pi R \Delta R} \approx \frac{I^2 dL}{4\pi R dR} = \frac{I^2}{4\pi R} \mu_0 \left[\ln \frac{8R}{r} - \frac{3}{4} \right]$$

Соответственно

$$T = \frac{I^2}{2} \mu_0 \left[\ln \frac{8R}{r} - \frac{3}{4} \right]$$

Таким образом, ничего «странного» в этих экспериментах не обнаруживается. Все плоские замкнутые контуры должны *растягиваться* при прохождении по ним тока.

Силовой подход. Проводники контура 1-2-3 (Рис.6.3) образуют жесткую систему, которая взаимодействует с проводником 4. В соответствии с формулами (5.4.14) и (5.4.15) мы можем рассматривать парные взаимодействия частей контура 1-2-3 с проводником 4.

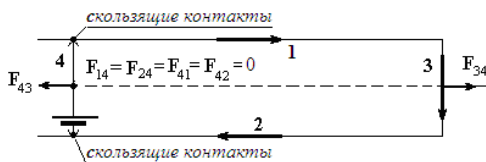


Рис. 6.3

Поскольку проводники 1 и 2 перпендикулярны проводнику 4, они будут создавать только вращающие моменты, противоположного направления (5.4.15). Токи в проводниках 3 и 4 направлены в противоположные стороны. Поэтому эти проводники должны расталкиваться (5.4.14). Точно так же можно рассмотреть и объяснить другие эксперименты этой группы. Никаких «проблем» при объяснении здесь не возникает.

3. ЭКСПЕРИМЕНТ Г. НИКОЛАЕВА

Эксперименты, рассмотренные выше, относились к такому классу, когда движение проводника происходило в направлении, перпендикулярном самому проводнику. Здесь мы рассмотрим эксперименты, когда движение проводника коллинеарно его ориентации.

Эксперимент №3 [1]. Описание (Рис. 6.4).

«Для демонстрации выполнимости законов механики при взаимодействии перпендикулярных элементов тока подвижный прямолинейный проводник 1 на подвесе размещается на расстоянии 2—4 мм от остальных проводников прямоугольного контура. Емкость C заряжается до 10-20 кВ. При пробое промежутков между подвижным проводником 1 и проводниками контура подвижный проводник приходит в поступательное движение вдоль направления тока в нем в направлении действующей на него продольной силы F_{\parallel} . Поперечные силы F_{\perp} реакции от подвижного проводника 1 приложены к боковому проводнику 3 контура».

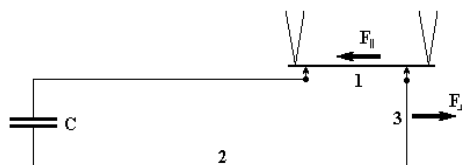


Рис. 6.4

В этом объяснении нет объяснения причин появления сил. При большом напряжении на емкости возникает большой импульсный разрядный ток. Основным переносчиком заряда являются электроны проводимости. На проводник 3 действует сила, источник которой описан в предыдущем эксперименте.

При разряде электроны движутся против направления тока, создавая мощный механический импульс. Этот импульс направлен против направления тока. Соответственно, в силу закона сохранения импульса атомы проводника должны получить тот же импульс, но противоположного знака. Атомы должны начать двигаться **в обратном направлении**. По этой причине их движение (т.е. движение проводника) совпадает с направлением тока. Сила F_{\parallel} для объяснения явления не нужна!

4. ЭКСПЕРИМЕНТ ЧЕРНИКОВА

Эксперимент № 40 [1]. Описание (Рис. 6.5).

«На проводник стоком в магнитном поле постоянного магнита действует сила Лоренца. Однако если проводник закрыть цилиндрическим экраном из магнитомягкого материала, то действие на проводник магнитного поля практически исчезает, но зато сила оказывается приложенной теперь к обесточенному экрану. Явление объяснимо только при учете взаимодействия токов проводника и индуцированных эквивалентных токов экрана с полями векторного потенциала во внутренней полости экрана».

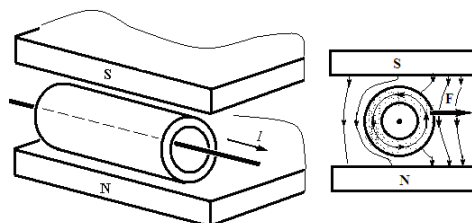


Рис. 6.5

Однако имеется и другое объяснение. Цилиндрический экран «забирает на себя» силовые внешнего линии магнитного поля и тока. Проводник с током оказывается под меньшим воздействием внешнего магнитного поля (*эффект экранирования*). В силу этого **«действие на проводник магнитного поля практически исчезает»**. Это одна часть объяснения.

Рассмотрим другую часть. Проводник с током создает вокруг себя магнитное поле напряженностью H . Поле убывает как R^{-1} по мере удаления от центра проводника. В магнитном экране эта напряженность порождает индукцию магнитного поля B . Индукция будет приблизительно в μ раз больше, чем индукция в воздухе вблизи экрана.

Внешнее магнитное поле тоже создает свою индукцию в этом экране. Экран перехватывает часть силовых линий. В результате в левой половине цилиндрического экрана и его окрестности (Рис. 6.5) индукция оказывается больше. Слева силовые линии в цилиндре плотнее, чем в правой. В одной половине внешнее и токовое поля складываются, а в другой - вычитаются. Возникает неравномерное магнитное поле, градиент которого воздействует на цилиндрический экран, заставляя его перемещаться. Картинка напоминает тетиву натянутого лука, действующую на цилиндр. Сила F как бы выталкивает цилиндр вправо. Причем сила воздействия на цилиндр оказывается во много раз больше, чем сила воздействия на проводник без экрана.

Если бы не было этого явления, т.е. если бы сила действовала не на экран, а непосредственно на проводник с током, то электромоторы и генераторы оказались бы недолговечными. Из-за переменного давления на проводник его изоляция не могла бы так долго служить (истирание изоляции).

5. МОТОР ФАРАДЕЯ

Эксперимент А.Родина № 37 [1]. Теория униполярного генератора будет детально разобрана и изложена ниже. В силу обратимости явлений можно тем же способом объяснить принцип действия униполярного мотора. Но есть несколько важных моментов, которые следовало бы здесь рассмотреть. А.Родин экспериментально установил, что реакция на цилиндрическом магните-статоре при вращающемся диске-роторе в униполярном двигателе полностью отсутствует (Рис. 6.6). Здесь мы ответим на два вопроса.

Первый вопрос: *вращается ли магнитное поле вместе с магнитом в униполярном генераторе или же оно покоится, хотя магнит вращается?*

Причина появления этого вопроса в том, что ЭДС *не зависит от скорости вращения магнита*, т.е. магнит остается как бы «безучастным» к взаимодействию. Л.Д. Ландау считал, что поле движется вместе с магнитом [3]. И.Е. Тамм имел другую точку зрения. Он настаивал, что магнитное поле неподвижно, даже если магнит вращается [4]. Именно книга Тамма утвердила у многих *ошибочную точку зрения*.

Попробуем решить простенькую задачку. Пусть имеется бесконечный стержневой магнит прямоугольного сечения (рис.6.6), ориентированный вдоль оси x .

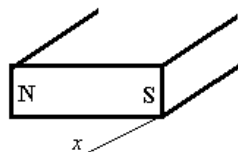


Рис.6.6

Допустим, этот магнит закрыт от Вас непрозрачной диэлектрической пластиной. Можно ли определить: движется ли магнит вдоль оси x или же он неподвижен?

Чтобы дать ответ на этот вопрос экспериментатор может поставить такой эксперимент. Он может наполнить пластмассовый тазик трансформаторным маслом и взять пенопластовые кружки с закрепленными на них сверху металлическими шариками. Затем он может зарядить эти шарики зарядами разного знака и поместить их в тазик, расположив тазик над телом магнита. Если магнитное поле неподвижно, кружки будут плавать, располагаясь случайным образом. Но если магнитное поле движется, то произойдет разделение зарядов. Кружки с положительными зарядами соберутся в одной стороне, а с отрицательными - на противоположной от них стороне!

Если при движении магнита его магнитное поле неподвижно, какая сила их смогла бы разделить? Магнитное поле есть *свойство магнита*. Мы не сможем магнитное поле и «железку» магнита разнести в разные стороны, сделать их независимыми друг от друга.

Второй вопрос мы сформулируем, после рассмотрения эксперимента Родина.

Описание № 37 [1]:

«Обнаружено, что реакция на цилиндрическом магните-статоре при вращающемся диске-роторе в униполярном двигателе полностью отсутствует. В рамках известных представлений явление не имеет корректного объяснения, так как находится в противоречии с законами механики».

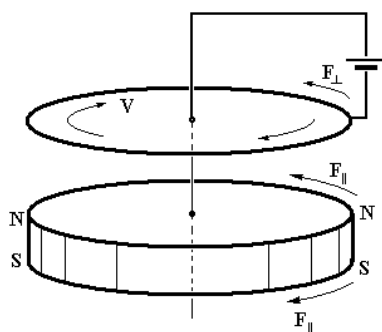


Рис. 6.7

Объяснение автора. «В действительности к магниту приложены скомпенсированные продольные силы F_{\parallel} от вращающегося диска и неподвижного проводника токоподвода, в результате чего суммарный момент на магните равен нулю и он остается в состоянии покоя. Роль статора выполняет неподвижный проводник токоподвода, на который передается реакция от магнита - поперечная сила F_{\perp} , однако непосредственного действия на вращающийся диск-ротор магнитное поле токоподводящего проводника-статора не оказывает. Таким образом, от токоподводящего проводника-статора вращающийся момент передается на магнит, а от магнита, в свою очередь, вращающийся момент передается на диск-ротор, при этом магнит выполняет роль активного передаточного тела, оставаясь все время неподвижным. Суммарный вращающий момент на магните всегда остается равным нулю».

Второй вопрос: Всегда ли суммарный вращающий момент на магните остается равным нулю?

Вопрос этот достаточно важный, поскольку он связан с соблюдением 3 принципа Ньютона (равенство действия противодействию). Мы рассмотрим случай прямолинейного движения, поскольку никаких принципиальных отличий в работе униполярных моторов и генераторов от линейных моторов и генераторов нет.

Как видно из рисунка в контуре $abcd$ протекает ток. На ток, протекающий по движущейся пластине от b к a , со стороны магнита действует сила F_1 , направленная вдоль скорости пластины. Точно такая же сила, но направленная в противоположную сторону, действует на движущийся магнит. На неподвижную перемычку cd со стороны магнита тоже действует сила, поскольку от d к c протекает тот же ток. Точно такая же сила, но направленная в противоположную сторону, действует на движущийся магнит. В результате на магнит воздействует разностная величина ΔF , направленная вдоль скорости магнита (рис.6.8).

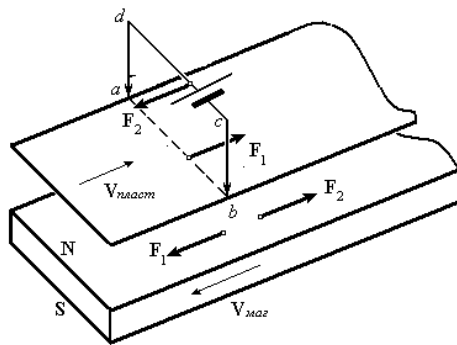


Рис. 6.8

Она равна: $\Delta F = F_1 - F_2$. Поскольку $F_1 = F_2$, силовое воздействие на магнит будет действительно отсутствовать.

6. МОТОР МАРИНОВА

Принцип действия мотора Маринова изложен в [5], а эксперименты, подтверждающие эксперимент Маринова в [6], [7]. Одна из реализаций этого мотора показана на рис.6.12.

Два подковообразных магнита соединены противоположными полюсами. В плоскости, которая проходит через соединение полюсов магнитов, расположен круговой проводящий виток. В качестве витка

Маринов использовал ртуть. Через два скользящих контакта к ртутному кольцу подключается источник тока, который создает ток i в каждой из половин кольца.

Согласно формуле Лоренца сила, действующая на любой элемент $d\mathbf{l}$ этого кольца, равна:

$$d\mathbf{F} = i d\mathbf{l} \times \mathbf{B} \text{ где: } i - \text{ток; } \mathbf{B} - \text{индукция магнитного поля; } d\mathbf{l} - \text{элемент проводящего кольца.}$$

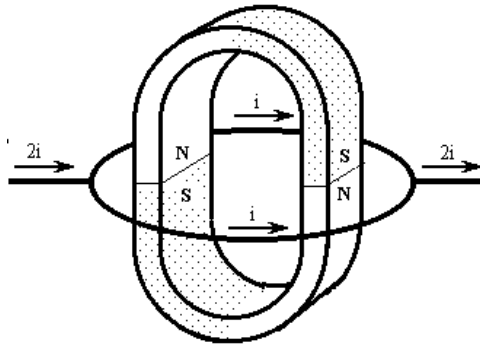


Рис. 6.9.

Она должна действовать перпендикулярно элементу $d\mathbf{l}$. Такая сила не может создавать вращающий момент, действующий на кольцо. Однако это вращение не только наблюдалось экспериментально, но была измерена величина вращающего момента [6], [7]. Было предложено объяснение этого явления.

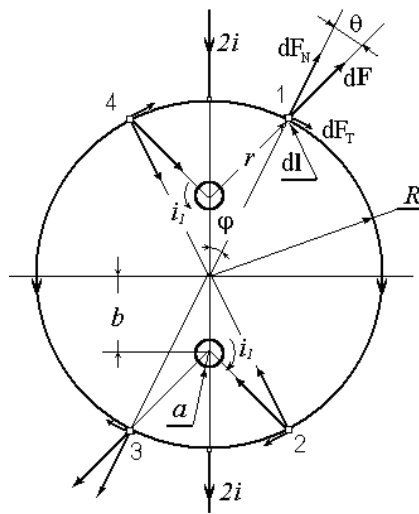


Рис. 6.10.

Мы приведем свое объяснение, опирающееся на ньютоновскую теорию. Упрощенная схема мотора Маринова приведена на рис.6.10. Постоянный кольцевой магнит, магнитные силовые линии которого перпендикулярны плоскости рисунка, представлен двумя замкнутыми кольцевыми токами i_i . Внешнее проводящее кольцо снабжено двумя скользящими контактами, подключенными к источнику постоянного тока. Все упомянутые элементы лежат в одной плоскости.

Рассмотрим элемент тока $d\mathbf{l}$, расположенный в позиции 1 на рис.6.10. Сила $d\mathbf{F}$ ($a \ll r$), которая воздействует на этот элемент тока со стороны кольцевого тока, направлена вдоль линии, связывающей $d\mathbf{l}$ с кольцевым током в соответствии с принципом равенства действия и противодействия. Эта сила имеет две проекции. Первая проекция dF_N направлена вдоль радиуса R . Вторая проекция dF_T направлена по касательной к окружности с током i . Эта сила создает угловой момент $d\mathbf{M}$.

$$dM = R dF_T = R dF \sin \theta \quad (6.6.1)$$

Другие три элемента тока, расположенные симметрично, как показано на рис.6.10, создают точно такие же вращающие моменты. Суммарный момент, действующий на кольцо с током i , равен:

$$M = 4R \int_0^\pi \frac{dF}{d\varphi} \sin \theta d\varphi \quad (6.6.2)$$

В то же время, согласно теории Лоренца сила, действующая на проводник с током, всегда перпендикулярна проводнику с этим током и вращающий момент, действующий на кольцо с током i , должен быть равен нулю. Объяснение магнитных явлений с позиции ньютоновской механики не имеет затруднений и позволяет получить правильные объяснения этих явлений.

7. УНИПОЛЯРНАЯ ИНДУКЦИЯ

Специальная теория относительности не смогла дать корректного объяснения этому явлению (см., например, [3]). Здесь мы дадим новое объяснение в рамках классической механики Ньютона. Качественное объяснение не представляет принципиальных трудностей. Однако количественный пример, как правило, связан с громоздкими вычислениями, за которыми утрачивается его наглядность. Это первая причина, заставившая нас отыскивать наиболее простые модели для анализа. Вторая причина заключалась в том, чтобы подобрать наиболее универсальную модель, на которой мы могли бы исследовать разные модели униполярных генераторов.

Модель униполярного генератора представлена на рис.8.1. Устройство содержит токовое кольцо, эквивалентное магниту, и проводящий диск со скользящим контактом. Кольцо и диск могут вращаться независимо друг от друга с разными угловыми скоростями. Такое устройство является универсальным и позволяет моделировать униполярные генераторы разных типов. Например, если диск и кольцо с током вращаются с одинаковой угловой скоростью, мы имеем униполярный генератор с вращающимся магнитом. Если же токовое кольцо неподвижно, но вращается диск, тогда мы имеем дело с другим типом униполярного генератора.

Рассмотрим работу униполярного генератора в общем случае. Будем считать, что $h \ll a$ (см. рис.6.14). Иными словами, вращающийся диск, кольцо с током и цепь AVC лежат практически в одной плоскости $z = 0$.

Сделаем несколько предварительных замечаний. ЭДС индукции генерируется кольцом с током в двух частях замкнутой цепи $AVCOA$. В первой неподвижной части цепи AVC возбуждается ЭДС индукции U_1 . Если кольцо с током неподвижно, ЭДС $U_1 = 0$. Второй участок, где возникает ЭДС индукции, есть отрезок OC на диске. Здесь индуцируется ЭДС U_2 . Суммарная ЭДС в цепи $AVCOA$ равна

$$U = U_1 - U_2 \quad (6.7.1)$$

Когда $\omega_1 = 0$, вся цепь $AVCOA$ покоится и суммарная ЭДС равна нулю, $U = 0$.

1. Порядок вычисления ЭДС U простой. Мы будем вычислять суммарную напряженность поля в некоторой точке D на оси x . Величина U получается в результате интегрирования суммарной напряженности поля. Выделим элемент dl на кольце с током. Его можно рассматривать как элемент тока, который движется со скоростью v_0 .

Пусть точка D неподвижной цепи AVC расположена на расстоянии R от оси z . Легко видеть, что напряженность поля в точке D равна:

$$d\mathbf{E}_1 = -\text{grad}(d\phi^*) = -\frac{(\mathbf{v}_{12}\mathbf{v}_0)}{c^2} \frac{dq_1}{d\varphi} \frac{\mathbf{R}}{4\pi\epsilon R^3} d\varphi \quad (6.7.2)$$

где: q_1 – суммарный положительный заряд вращающегося кольца с током; R есть расстояние между dl и точкой D ; v_0 – скорость базовой системы отсчета элемента с током dl ($v_0, v_{12} \ll c$);

$$R = \sqrt{r^2 + a^2 - 2ar\cos\varphi} \quad (6.8.3)$$

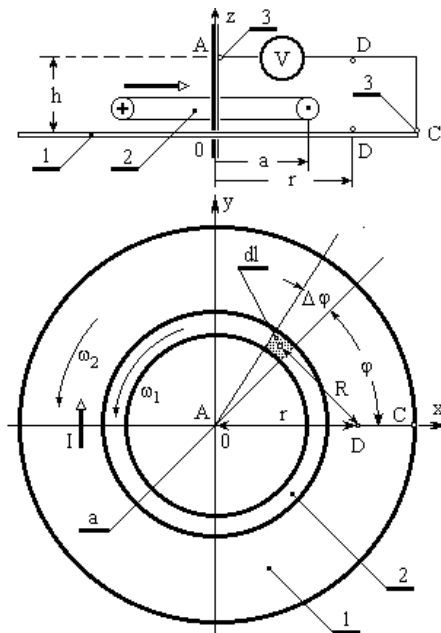


Рис. 6.11. 1 – проводящий диск; 2 – кольцо с током; 3 – скользящий контакт.

2. Рассмотрим теперь точку D на вращающемся диске. Скорость перемещения точки D равна:

$$v = \omega_2 r \quad (6.7.4)$$

Напряженность поля в этой точке D равна

$$d\mathbf{E}_2 = -\frac{(\mathbf{v}_{12}(\mathbf{v}_0 - \mathbf{v}))}{c^2} \frac{dq_1}{d\varphi} \frac{\mathbf{R}}{4\pi\epsilon R^3} d\varphi \quad (6.7.5)$$

Рассмотрим физический смысл уравнения (6.7.5). Очевидно, что напряженность поля можно представить как сумму напряженностей.

$$d\mathbf{E}_2 = d\mathbf{E}_2' + d\mathbf{E}_2'' \quad (6.7.6)$$

где:

$$d\mathbf{E}'_2 = -\frac{(\mathbf{v}_{12}\mathbf{v}_0)}{c^2} \frac{dq_1}{d\varphi} \frac{\mathbf{R}}{4\pi\epsilon R^3} d\varphi - \text{напряженность поля, которое возбуждается при условии, что}$$

кольцо с током вращается, а проводящий диск неподвижен.

$$d\mathbf{E}''_2 = \frac{(\mathbf{v}_{12}\mathbf{v})}{c^2} \frac{dq_1}{d\varphi} \frac{\mathbf{R}}{4\pi\epsilon R^3} d\varphi - \text{напряженность поля, которое возбуждается при условии, что}$$

проводящий диск вращается, а неподвижно теперь кольцо с током.

3. Общая напряженность поля равна разности напряженностей полей.

$$d\mathbf{E} = d\mathbf{E}_1 - d\mathbf{E}_2 \quad (6.7.7)$$

Легко видеть, что компоненты dE_1 и dE_2 взаимно уничтожаются, и мы получаем следующие компоненты напряженности общего поля $d\mathbf{E}$.

$$dE_r = -\mu \frac{(\mathbf{v}_{12}\mathbf{v})}{c^2} \cos\varphi \frac{dq_1}{d\varphi} \frac{(a-r\cos\varphi)}{R^3} d\varphi \quad (6.7.8)$$

$$dE_\varphi = -\mu \frac{(\mathbf{v}_{12}\mathbf{v})}{c^2} \cos\varphi \frac{dq_1}{d\varphi} \frac{a\sin\varphi}{R^3} d\varphi \quad (6.7.9)$$

Полная напряженность поля, создаваемого всем кольцом с током, вычисляется путем интегрирования этих выражений в пределах от 0 до 2π . Очевидно, что в суммарной напряженности поля \mathbf{E} сохраняется только радиальный компонент в силу четности dE_r и нечетности dE_φ .

$$E_r = -\mu \frac{I a r \omega_2}{4\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\cos\varphi (a-r\cos\varphi)}{R^3} d\varphi; \quad E_\varphi = 0. \quad (6.7.10)$$

$$\text{где: } I = v_{12} \frac{dq_1}{dl}; \quad dl = a d\varphi.$$

Теперь, интегрируя E_r по r , вычислим ЭДС индукции U

$$U = \int_0^c E_r dr = -\int_0^c \mu \frac{I a r \omega_2}{4\pi} \left[\int_0^{2\pi} \frac{\cos\varphi (a-r\cos\varphi)}{R^3} d\varphi \right] dr \quad (6.7.11)$$

Из формулы видно, что эта ЭДС не зависит от угловой скорости ω_1 .

4. Теперь покажем, что ЭДС (7.1.11) можно вычислить другим способом, например, используя закон

$$\text{Фарадея } U = -\frac{d\Phi}{dt}.$$

Рассмотрим точки C и C^* , которые расположены, как показано на рис.6.15. Точка C расположена на неподвижном скользящем контакте, а C^* на вращающемся диске.

В начальный момент времени t координаты этих точек равны. В следующий момент времени $t + \Delta t$ точка C^* переместится и займет положение C^{**} . Полный поток Φ , который протекает через сектор ACC^{**} , равен

$$\Phi = \int_0^{\varphi(t)} \int_0^c [rB(r)dr]d\varphi \quad (6.7.13) \text{ Этот поток } \Phi \text{ не зависит от}$$

угловой скорости ω_1 . Используя выражение (6.7.13) найдем ЭДС U .

$$U = -\frac{d\Phi}{dt} = -\omega_2 \int_0^c rB(r)dr \quad (6.7.14),$$

где $\omega_2 = \frac{d\varphi(t)}{dt}$.

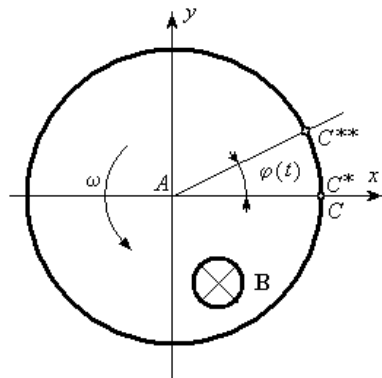


Рис. 6.12

Теперь, используя закон Био-Савара, вычислим индукцию магнитного поля $B(r)$.

$$B(r) = \int_0^{2\pi} \mu \frac{Ia \cos\varphi (a - r \cos\varphi)}{4\pi R^3} d\varphi \quad (6.7.15)$$

Если мы сравним уравнения (6.7.14) и (6.7.15) с выражением (6.7.11), то окажется, что они эквивалентны.

Таким образом, мы провели детальный анализ униполярной индукции.

8. ЭКСПЕРИМЕНТ ТРАУТОНА И НОБЛА

Мы начнем с эксперимента Траутона и Нобла [8] (параграф 14.2). Эксперимент Траутона и Нобла является примером **неправильной постановки** задачи эксперимента и, соответственно, результата, которому дали **надуманное** объяснение.

Поясним суть вопроса, который нужно было проверить экспериментально. На рис. 6.16 изображены два заряда, движущиеся с равными скоростями в одну сторону в системе отсчета неподвижного наблюдателя. В системе отсчета, связанной с зарядами, на заряды действуют только силы кулоновского притяжения, которые уравновешены механическими силами со стороны стержня.

Цитируем [1]:

«Легко показать, что два заряда q и $-q$, находящиеся на концах отрезка, движущегося со скоростью \mathbf{v} , будут взаимодействовать как два элемента тока величиной $I d\mathbf{l} = q\mathbf{v}$. Силы, действующие на элементы тока, будут равны и направлены в противоположные стороны, и в общем случае они не на одной линии (рис. 6.13). Стержень, соединяющий заряды, будет стремиться повернуться под прямым углом к направлению скорости. Рассчитаем величину этого эффекта. Согласно закону Ампера

$$\mathbf{F} = \frac{\mu}{4\pi} q^2 \frac{\mathbf{v} \times [\mathbf{v} \times \mathbf{L}]}{L^3}$$

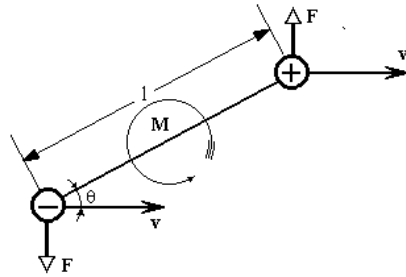


Рис. 6.13

причем направление и длина вектора \mathbf{L} определяется стержнем. Сила

$$F = \frac{\mu}{4\pi} \frac{q^2 v^2}{L^2 c^2} \sin \theta \quad (6.8.1)$$

направлена перпендикулярно \mathbf{v} в плоскости векторов \mathbf{L} и \mathbf{v} . Соотношение (6.8.1) показывает, что магнитное взаимодействие движущихся зарядов есть эффект порядка $(v/c)^2$ по сравнению с электростатическим взаимодействием тех же зарядов. Крутящий момент пары сил (рис. 6.16) составляет

$$M = FL \cos \theta = \frac{1}{8\pi\epsilon} \frac{q^2 v^2}{L c^2} \sin 2\theta \quad (6.8.2)$$

Если бы существовала преимущественная система отсчета, то вряд ли она покоилась относительно Земли. Поэтому поступательное движение Земли должно создавать вращательный момент в системе зарядов».

Комментарий. Возникает вопрос следующего характера. В системе отсчета, связанной с неподвижными зарядами, скорость \mathbf{v} равна нулю и электростатическое взаимодействие уравновешено упругими силами стержня. Следовательно, никакой вращающий момент на стержень в этой системе отсчета не действует.

Теперь представим себе, что мимо этого стержня пролетел наблюдатель со скоростью \mathbf{v} . Изменится ли равновесие стержня? Нет, конечно. Даже если мимо него пролетит «5 тысяч курьеров», как в «Ревизоре» Гоголя, ничего не изменится.

Посмотрим, что имеет место в другой системе - системе отсчета наблюдателя, мимо которого движется этот стержень. Согласно «теории» он обнаружит вращающий момент (6.8.2), действующий на движущийся мимо него стержень. По его мнению, под действием этого момента сил стержень должен повернуться согласно законам механики!

В следующих параграфах мы покажем, где «прячется» ошибка. А сейчас продолжим логический анализ. Цитируем далее:

«Если бы существовала преимущественная система отсчета, то вряд ли она покоилась бы относительно Земли. Поэтому поступательное движение Земли должно создавать вращательный момент в системе зарядов».

Гипотеза о существовании «преимущественной системы отсчета», как говорят, «высосана из пальца». Выражения (6.8.1) и (6.8.2) были получены из уравнений электродинамики Лоренца безо всяких предположений о наличии абсолютной системы отсчета. Кроме этого, в формулах не фигурирует скорость

движения зарядов относительно «абсолютной» системы отсчета. Ее даже искусственно (гипотетически) не потрудились ввести в уравнения!

«Траутон и Нобл поставили опыт с плоским конденсатором, подвешенном на упругом подвесе, с целью обнаружить этот эффект. Однако крутящего момента обнаружено не было. Последующие опыты также дали отрицательный результат, хотя при скорости v , равной орбитальной скорости Земли, эффект мог быть легко обнаружен».

Удивляет сама постановка эксперимента. Вращательный момент обнаруживается наблюдателем **только тогда**, когда стержень **движется мимо** него поступательно. Если стержень **неподвижен** в системе отсчета наблюдателя, **эффекта не будет!** Это следует из приведенных выше формул. Неужели это не ясно? Так и представляешь себе Траутона и Нобла, которые («не смыкая глаз, дено и ночью») следят за подвешенным заряженным конденсатором! Вроде бы *умные люди!*

Эксперимент Траутона и Нобла имеет прямую логическую связь с парадоксом близнецов. Представьте себе, что Траутон и Нобл изготовили два одинаковых конденсатора и зарядили их пластины разноименными зарядами. Пусть теперь Траутон движется относительно Нобла со своим конденсатором.

«Траутон! – орет Нобл, - *мой конденсатор неподвижен, а на твой действует вращающий момент!*». Траутон язвительно отвечает: *«Перемерь еще раз! Это на мой конденсатор не действует вращающий момент. Я измерил и вижу, что момент сил действует именно на твой конденсатор!».*

Аналогичная ситуация имеет место также в релятивистском случае [1] (см. Параграф 18.4, «Конвективный потенциал», см. также Гл. 5). Там автор поступил проще. Он написал:

«Положение полностью аналогично тому, которое было при рассмотрении парадокса рычага – вращательный момент компенсируется приростом момента импульса. Во всяком случае, равновесие есть свойство инвариантное относительно преобразований Лоренца».

Автор, однако, не доказал, что *«равновесие есть свойство инвариантное относительно преобразований Лоренца»*. И так, судьба несет нас к необходимости проанализировать «парадокса рычага», чтобы проверить эту версию.

9. «ПАРАДОКС РЫЧАГА»

Релятивисты не проявляют «щедлости» при рассмотрении парадоксов и тщательно обходят эту тему. Описание этого парадокса можно встретить только в *некоторых* книгах, посвященных вопросам специальной теории относительности. Обратимся к работе [9], чтобы напомнить суть парадокса.

Пусть в системе K^0 имеется рычаг с плечами L_x^0 и L_y^0 , изображенный на рис. 6.14, на которые действуют силы F_x^0 и F_y^0 соответственно. Рычаг уравновешен, т.е. $F_x^0 L_y^0 = F_y^0 L_x^0$.

В системе K будем иметь:

$$L_y = L_y^0; \quad L_x = L_x^0 \sqrt{1 - (v/c)^2}; \quad F_x = F_x^0; \quad F_y = F_y^0 \sqrt{1 - (v/c)^2}; \quad L_y = L_y^0$$

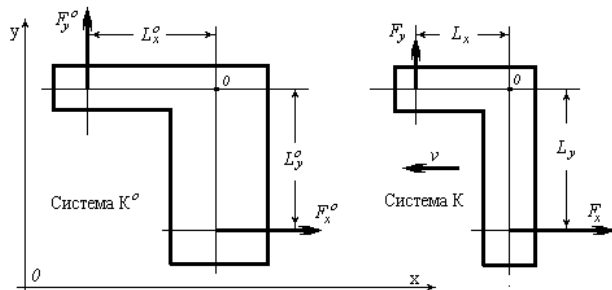


Рис. 6.14

Таким образом, в системе К на рычаг будет действовать не скомпенсированный момент сил, равный:

$$M = F_x L_y - F_y L_x = \frac{v^2}{c^2} F_x^0 L_y^0$$

Возникает вопрос: должен ли в согласии с законами механики рычаг повернуться под действием момента сил M ?

Обратимся к [9], сопроводив объяснение комментариями. Цитаты будем приводить как обычно курсивом.

*«...На первый взгляд мы приходим к странным выводам. Однако более тщательное рассмотрение показывает, что полученные выводы правильны и имеют **непринужденное** объяснение. Сначала приведем элементарное объяснение...*

«...Рассмотрим работу сил F_x и F_y в системе К. В системе К рычаг движется и в единицу времени сила F_x совершает работу $-F_x v$. Сила F_y не совершает работы, т.к. она направлена нормально к скорости рычага. Следовательно, на конце рычага в точке приложения силы F_x совершается работа и в единицу времени энергия в точке возрастает на величину $-F_x v$ ».

Комментарий. Итак, энергия изменяется. Очевидно, речь идет о потенциальной энергии. К сожалению, автор не поясняет: **что именно** означает «энергия рычага в точке». Разве энергия передается не всему рычагу, а только одной его точке? Читаем далее:

«...Но это означает, что масса рычага в точке приложения силы в единицу времени возрастает на $-F_x v/c^2$. Умножив эту величину на скорость рычага v , найдем приращение импульса $-F_x v^2/c^2$. А момент импульса возрастает на величину $F_x L_y v^2/c^2$ ». По мнению автора работы, это возрастание как раз и «компенсирует» вращающий момент M .

Комментарий. Итак, масса рычага будет ежесекундно убывать на величину $-F_x v/c^2$. Пройдет время и от массы рычага ничего не останется. Она станет равной нулю. Что же тогда будет поддерживать равновесие? Затем она станет **отрицательной**. Во-первых, как это следует понимать? Во-вторых, для объяснения парадокса жертвуется масса. Она становится зависимой от времени. Однако вновь возникает вопрос: «почему»? Почему в системе K^0 масса постоянна, а в системе К она зависит от времени?

Центр тяжести объяснения парадокса передвинут с «не скомпенсированного момента сил» на «массу, зависящую от времени». Но объяснений этой новой зависимости не дано. Что это: софистика или паралогизм? Автор и сам, видимо чувствует порочность «элементарного» объяснения. Далее он пишет:

«... Но в этом элементарном объяснении есть свои слабости. В СТО нет абсолютно жестких тел, и мы обязаны учитывать деформацию рычага, в предыдущем рассуждении полагалось, что рычаг не меняет свою форму...»

Комментарий. Вот и вытаскивается гипотеза *ad hoc* об отсутствии в СТО абсолютно жестких тел. Это и есть современные аналоги средневековых «слонов» и «черепаш». Далее автор утверждает, что в рычаге возникают «натяжения».

«... Изменение этих натяжений должно как раз компенсировать момент сил. В принципе эта задача может быть решена, т.к. изгиб балки, закрепленной на одном конце (**кем закреплен? Ведь рычаг может вращаться!** – вопрос наш), может быть найден. Однако расчет провести **затруднительно**».

Вот и все **непринужденное объяснение**, которое посулил нам автор в начале своего объяснения. Что же получается? Теория относительности предсказывает появление **не компенсированного момента сил M** , который действует на рычаг. Однако автор пытается доказать, что рычаг не должен вращаться. Неизбежен вопрос, что ошибочно: законы механики, утверждающие, что из-за момента сил должно быть *вращение*, или же СТО, которая предсказывает появление момента сил, *не существующего в действительности*? Ответ очевиден: мы имеем дело не с объяснением парадокса рычага, а с **путаницей** (или с фальсификацией).

Здесь также, как и в эксперименте Траутона и Нобла, анализ можно свести к парадоксу близнецов. Достаточно снабдить двух наблюдателей одинаковыми хорошо уравновешенными рычагами, а затем этих наблюдателей с их рычагами разместить в разных инерциальных системах отсчета. Отметим, справедливости ради, что в последующих изданиях этой книги кое-что из объяснений автор *удалил!* Но суть объяснения не изменилась.

Мы в этой книге не будем рассматривать проблемы СТО. Это большая и специальная тема. Ошибка Эйнштейна и физиков в **философском невежестве**. Они не смогли понять: где имеет место **реальный** результат (сущность), а где появляется **кажимость**, т.е. искаженная информация о сущности (явление). Желаящие могут обратиться к работам [10], [11], [12]. В следующей главе мы столкнемся с той же ошибкой, т.е. неумением отделить сущность от явления. Там «провинились» геометры.

10. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы рассмотрели не все эксперименты, изложенные в работе [1]. Появление многих из них имеет одну и ту же причину. Мы дали также непротиворечивое объяснение униполярной индукции и ряду других явлений. Как мы видим, квазистатическая ветвь уравнений Максвелла, реабилитирующая мгновенное действие на расстоянии, возвращает в физику классические теории.

Они вновь становятся фундаментом современной физики. Если при описании квазистатических явлений электродинамики опираться на механику Ньютона (на мгновенное действие на расстоянии, а не на релятивистские «фантазии»), можно с успехом дать корректное объяснение многим существующим и кажущимся «парадоксальными» экспериментальным результатам. К сожалению, у нас нет возможности рассмотреть «пинч-эффект», в который новый подход внес свои коррективы.

ССЫЛКИ:

1. Г.В. Николаев Современная электродинамика и причины ее парадоксальности. <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0231/004a/02310011.htm>
2. Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А.. Рвсчет индуктивностей. (Справочная книга), - Л.: Энергия. 1970.

3. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теория поля. ГИФФМЛ, М. 1960.
4. И.Е. Тамм. Основы теории электричества. – М.: ГИТТЛ, 1954.
5. S. Marinov. Forces between current elements. Galilean Electrodynamics, vol. 9, no 2, 1998.
6. J.P. Wesley «The Marinov Motor, Notional Induction without a Magnetic B Field», Apeiron, July- October, V. 5, no. 3...4, 1998.
7. Thomas E. Phipps. «Observations of the Marinov Motor», Apeiron, July – October, V. 5, no. 3...4, 1998
8. W. Panofsky & M. Phillips, Classical electricity and Magnetism Wesley Publishing Co. Inc., Cambridge, MA: Addison-Wesley, USA, (1961)
9. В.А.Угаров. Специальная теория относительности. – М.: Наука, 1969.
10. В. Кулигин. Материализм и теория относительности. <http://www.sciteclibrary.ru/texts/rus/stat/st6933.pdf>
11. В.А. Кулигин, М.В. Корнева, Г.А. Кулигина. Гносеологическая ошибка Эйнштейна и кинематические явления. Часть 1. Параметрическое преобразование Галилея. <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0016/001f/3614-kkk.pdf>
12. В.А. Кулигин, М.В. Корнева, Г.А. Кулигина. Гносеологическая ошибка Эйнштейна и кинематические явления. Часть 2. Преобразование Лоренца. <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0016/001f/3614-kkk.pdf>

Глава 7. Теория тяготения

1. Пространственная кривизна как искаженное отображение Евклидова пространства
2. В поисках философской аналогии
3. Псевдоевклидово пространство
4. Пятый постулат Евклида
5. Эквивалентность или пропорциональность?
6. Закон пропорциональности масс
7. Закон всемирного тяготения
8. «Атмосфера» солнца

1. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ КРИВИЗНА КАК ИСКАЖЕННОЕ ОТОБРАЖЕНИЕ ЕВКЛИДОВА ПРОСТРАНСТВА

К классическим свойствам пространства мы всегда относим непрерывность, безграничность, однородность и изотропию пространства. Мы всегда отождествляем пространство с геометрией трехмерного пространства, в которой материальные тела *не влияют* на свойства пространства. С появлением ОТО наше представление о пространстве и времени изменилось.

Уже не первый год идет обсуждение следствий ОТО. Некоторые аспекты теории «Большого взрыва», «черные дыры», «темная материя» и т.д. не всегда отвечают здравому смыслу, логике наших суждений и обыденным представлениям. Этому есть свои причины. Трудно поверить, что маленькая неточность в геометрии, возникшая еще в начале 19 века, так сильно отразится на физике. Источник ошибки кроется в содержании понятия «кривизна пространства». Что это такое «кривизна пространства» и как ее измерить методом «циркуля и линейки»? Попробуем разобраться.

Трехмерное пространство. Мы рассмотрим *ради наглядности* кривизну в трехмерном пространстве. Трехмерное пространство наглядно и легко воспринимается человеком. Современные физики и математики строят криволинейное пространство простым способом. Пусть, например, имеется некоторое свободное от материальных объектов *трехмерное* пространство. Ученые задают метрический тензор второго ранга, $g_{ik}(x, y, z)$ который описывает криволинейные свойства исходного трехмерного пространства. Кажется, что здесь нет никаких *подводных рифов*.

Однако если посмотреть внимательно, то можно увидеть скрытую проблему. Введенный нами метрический тензор g_{ik} зависит от координат x, y, z этого пространства, т.е. $g_{ik}(x, y, z)$. Естественно предположить, что независимые переменные x, y, z принадлежат трехмерному Евклидову пространству, которое существовало *до введения* метрического тензора. Итак, метрический тензор вводится не в «пустое» пространство. Тензор вводится в Евклидово пространство.

Дальше имеет место следующее обстоятельство. Как только физики начинают изучать и описывать свойства криволинейного пространства с метрикой g_{ik} , они «забывают» о существовании Евклидова пространства. Эта принципиальная ошибка появилась более 200 лет тому назад и превратилась в предрассудок, в догму.

Первые шаги к пониманию истины. В математике **формальная логика** есть метод доказательства и критерий его проверки. Если в рассуждениях «выпадают» логические звенья, если вместо аргументов мы опираемся на интуицию, тогда доказательство превращается в обычное субъективное мнение.

Вот и в предыдущем параграфе при введении $g_{ik}(x; y; z)$ отсутствуют необходимые звенья рассуждений. Это лишает процедуру построения криволинейного пространства методом задания метрического тензора $g_{ik}(x; y; z)$ важного качества. Возникает подозрение, что в выбранном нами трехмерном пространстве существует не только криволинейное пространство 3-х измерений, но и **совмещенное с ним** трехмерное Евклидово пространство.

Начнем анализ этой проблемы последовательными шагами.

Шаг 1. Начнем с постановки задачи. Мы выбрали для анализа в качестве примера ради наглядности **трехмерное пространство**. Мы намерены построить в нем общепринятым способом криволинейное пространство. Это пространство должно описываться метрическим тензором $g_{ik}(x; y; z)$.

Шаг 2. Возникает вопрос: *А откуда мы возьмем обычные переменные* $(x; y; z)$? Чтобы их иметь, мы, во-первых, построим трехмерное Евклидово пространство. В нем мы строим ортогональные оси координат $(x; y; z)$.

Шаг 3. Итак, теперь мы имеем независимые переменные $(x; y; z)$ в трехмерном Евклидовом пространстве. Будем для простоты считать масштаб вдоль этих осей одинаковым. Оси образуют ортогональную «сетку» Евклидова пространства.

Шаг 4. Теперь мы спокойно на этом трехмерном континууме задать метрический тензор $g_{ik}(x; y; z)$ и приступить к построению криволинейного пространства.

Замечание. Обратите внимание на следующий факт. Мы строим криволинейное пространство внутри Евклидова пространства. Это *не искривление исходного Евклидова пространства!* Это криволинейное пространство построено именно «*внутри*» исходного Евклидова пространства. Линейное и криволинейное пространства теперь существуют **одновременно**. Утратили ли теперь введенные оси $(x; y; z)$ линейность и ортогональность? Конечно, **НЕТ!** Трехмерное Евклидово пространство сохранилось.

Повторим для закрепления: **внутри** Евклидова пространства «расположилось» криволинейное пространство, описываемое метрическим тензором $g_{ik}(x; y; z)$. Компоненты этого тензора выражены через переменные $(x; y; z)$ Евклидова пространства. Такой результат существенно влияет на интерпретацию физических явлений, например, в ОТО.

2. В ПОИСКАХ ФИЛОСОФСКОЙ АНАЛОГИИ

В философии физики есть такие категории: «явление-сущность-наблюдатель» [1]. **В физике** наблюдатель познает сущность, исследуя набор явлений. Он воспринимает явления с помощью органов чувств. Информацию о явлениях он получает благодаря «**переносчику информации**». Таким переносчиком могут служить, например, световые или акустические волны. Эти волны, доставляя информацию к наблюдателю, могут искажать ее содержание из-за условий распространения.

Можно ли в геометрии пространства ввести аналогичные философские категории? Можно, если с определенными ограничениями осторожно использовать аналогии для анализа связей и отношений в геометрии. Здесь философия, оперирующая общими понятиями, подобна в определенном смысле топологии, которая тоже опирается на идеализированные, обобщенные понятия.

Аналогия [2], [3]. Пусть мы имеем два независимых друг от друга трехмерных Евклидовых пространства: $E_A(x,y,z)$ и $E_B(u,v,w)$. Допустим, что с помощью некоторого оператора преобразования пространства с его координатами, мы можем отобразить⁴ трехмерное Евклидово пространство $E_B(u,v,w)$ на внутренность Евклидова пространства $E_A(x,y,z)$. Аналогия показана на Рис.1. Обозначим оператор преобразования как \tilde{H}_{BA}

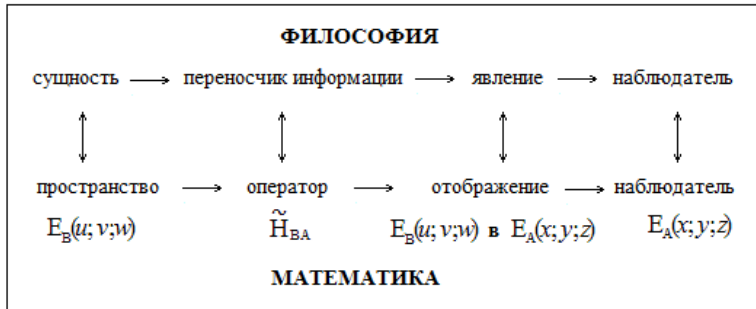


Рис. 7.1. Здесь роль отображаемого объекта (аналог «сущности») играет Евклидово пространство $E_B(u,v,w)$.

Роль переносчика информации играет оператор \tilde{H}_{BA} , который отображает пространство E_B внутрь Евклидова пространства E_A . Роль явления выполняет отображение. Роль «наблюдателя», который регистрирует явление, играет *гипотетический наблюдатель* в пространстве $E_A(x,y,z)$. Для нас важно, чтобы пространство $E_B(u,v,w)$ отображалось в $E_A(x,y,z)$ как криволинейное пространство⁵.

Раскроем связь переменных в операторе \tilde{H}_{BA} :

$$u = H_u(x, y, z); \quad v = H_v(x, y, z); \quad w = H_w(x, y, z) \quad (7.2.1)$$

Пусть $u = const$; $v = const$ и $w = const$ внутри пространства E_B . В пространстве E_B эти поверхности образуют три семейства ортогональных плоскостей. В пространстве E_A мы получаем семейство «криволинейных» поверхностей, которые в общем случае могут быть не ортогональными.

У нас сейчас нет необходимости накладывать какие-либо специальные требования на оператор \tilde{H}_{BA} . Оператор реализует отображение в одном направлении и требование «взаимной однозначности» преобразования не нужно. Нам важно, чтобы отображение было гладким и дважды дифференцируемым. Обозначим отображение пространства E_B внутрь пространства E_A как HE_{BA} .

Примечание. В принципе мы могли бы отобразить пространство $E_B(u,v,w)$ не на весь объем пространства $E_A(x,y,z)$, а на часть пространства. Например, мы могли бы отобразить $E_B(u,v,w)$ во внутренность сферы радиуса R , принадлежащей пространству $E_A(x,y,z)$.

⁴ Мы рассматриваем одностороннее отображение из E_B в E_A . Обратное отображение, т.е. отображение $E_A(x,y,z)$ внутрь пространства $E_B(u,v,w)$ мы не рассматриваем. Такое отображение было бы необходимо при анализе взаимодействия материальных объектов этих пространств между собой.

⁵ Процесс отображения напоминает конформное отображение в теории комплексного переменного.

Итак, мы видим, что внутри Евклидова пространства E_A появилось криволинейное отображение Евклидова пространства $E_B(u, v, w)$, т.е. $HE_{BA}(x, y, z)$. Пусть метрический тензор этого криволинейного пространства есть $g_{mn}(x, y, z)$.

Если метрический тензор g_{ik} , введенный ранее в параграфе 1, равен метрическому тензору g_{mn} ($g_{ik} = g_{mn}$), тогда мы можем считать оба криволинейных пространства *эквивалентными*. Они могут отличаться только линейными членами, вторые частные производные которых равны нулю. Эти члены не имеют для нас принципиального характера, поскольку кривизна пространства от них не зависит.

Выводы.

- Любое трехмерное пространство изначально является Евклидовым. В нем можно ввести ортогональные или иные оси координат.
- Криволинейное пространство не может существовать *самостоятельно*. Такое пространство *можно построить* только внутри Евклидова пространства. Уберите экран в кинотеатре, и вы не увидите фильм. Уберите Евклидово пространство, тогда криволинейное пространство исчезнет ($g_{mn}(0,0,0) = ?$)!
- **Кривизна пространства не является абсолютной величиной.** Кривизна есть *относительное* понятие. Величина кривизны пространства определяется по отношению к Евклидову пространству, внутри которого существует данное криволинейное пространство.
- Эти выводы можно распространить на пространства с разным числом измерений $N = 2, 3,$ и т.д.

3. ПСЕВДОЕВКЛИДОВО ПРОСТРАНСТВО

Проведенные выше рассуждения и выводы легко обобщаются на случай Евклидовых пространств N измерений. Мы рассмотрим пространство четырех измерений ($N = 4$), распространив на него полученные выводы. Если мы представим четвертую переменную как мнимую координату ($x_4 = ict$), то получим псевдоевклидово пространство $E(\mathbf{r}; t)$. Формально оно мало отличается от четырехмерного Евклидова пространства. Пространство Минковского можно рассмотреть аналогичным образом.

Мы не ставим перед собой цель дать новую интерпретацию ОТО. Это сложный вопрос. Мы хотим выявить некоторые проблемы, которые возникают из-за «соседства» Евклидова пространства-времени рядом с криволинейным пространством-временем.

Итак, пусть мы имеем псевдоевклидово пространство $E_A(\mathbf{r}; t)$, в котором существует криволинейное *отображение* некоторого другого псевдоевклидова пространства $E_B(\mathbf{u}, \tau)$, которое мы обозначили как $HE_{BA}(\mathbf{r}; t)$. Отображение может иметь нестационарный характер и зависеть от времени.

Мы покажем, например, к каким выводам приводит метод отображения при анализе «Большого Взрыва». Допустим, что *криволинейное отображение* находится внутри сферы бесконечно большого 4-радиуса, которая расположена в $E_A(\mathbf{r}; t)$.

Пусть оператор отображения \tilde{H}_{BA} позволяет уменьшать радиус этой сферы во времени до нуля. Криволинейное отображение HE_{BA} будет «сжиматься» в точку перед «неизбежным Большим Взрывом». В рамках ОТО имеет место следующее утверждение. Пространство, время и материя «слипаются» вместе в бесконечно малую точку. Вокруг странная «*пустота*», не имеющая пространственных размеров и времени.

С позиции отображения пространства подобное утверждение не является корректным. «Точка» находится не в «пустоте». Она всегда находится в исходном пространственно - временном континууме $E_A(\mathbf{r}; t)$, поскольку пространство-время $E_A(\mathbf{r}; t)$ не «деформируется» оператором отображения.

Теперь мы поговорим о материальных объектах, имеющих массу и инерцию. Допустим, что материальные объекты принадлежат $E_A(\mathbf{r}; t)$. С одной стороны, согласно ОТО кривизна пространства и материальные гравитационные объекты имеют взаимную связь. С другой стороны 4-пространство $E_A(\mathbf{r}; t)$ и материальные объекты в нем не зависят от оператора. Следовательно, в случае «сжатия» криволинейного 4-пространства взаимная связь между кривизной и гравитирующими массами *теряется*. Пространство-время в отображении «сжимаются» вместе со своей кривизной, а материальные объекты в $E_A(\mathbf{r}; t)$ остаются неизменными. Отсюда следует, что материальных объектов, принадлежащих $E_A(\mathbf{r}; t)$ не должно существовать в $E_A(\mathbf{r}; t)$ принципиально. Они существуют в $E_B(\mathbf{u}, \tau)$ и должны «транспортироваться» в $E_A(\mathbf{r}; t)$ из $E_B(\mathbf{u}, \tau)$ вместе с «кривизной»!

Напомним, что отображенные объекты и отображенное криволинейное 4-пространство есть *явления*. Оператор \tilde{N}_{BA} деформирует материальные объекты и «одевает» их в «криволинейную» оболочку» только при отображении $E_B(\mathbf{u}, \tau)$ в $E_A(\mathbf{r}; t)$.

Таким образом, все «депортированные» инерциальные материальные тела из $E_B(\mathbf{u}, \tau)$ в $E_A(\mathbf{r}; t)$ являются «отображением» каких-то реальных «прототипов», существующих в $E_B(\mathbf{u}, \tau)$. Мы - люди не являемся исключением и имеем свои «прототипы».

Вы *можете* представить себе, что вы есть «искаженное отображение» вашего «неискаженного прототипа», который бродит где-то далеко в $E_B(\mathbf{u}, \tau)$? В отличие от вас, его нельзя «сжать в точку», т.е. он не подвержен действию оператора и, соответственно, воздействию «Большого Взрыва»!

Мы видим, что даже на первом этапе переосмысления явлений физики встретят много трудностей при интерпретации явлений ОТО. Им придется принимать во внимание неизбежное существование пространства Минковского рядом с криволинейным пространством. Мы не будем больше выходить за пределы геометрии и обсуждать эти вопросы. Здесь много странного и неясного, выходящего за пределы здравого смысла. Такие проблемы должны обсуждать физики-теоретики, философы, теологи и писатели-фантасты.

4. ПЯТЫЙ ПОСТУЛАТ ЕВКЛИДА

На протяжении более двух тысячелетий пятый постулат Евклида постоянно приковывает пристальный взгляд математиков. Он имеет следующую формулировку в современной математике:

Если на плоскости при пересечении двух прямых третьей сумма односторонних внутренних углов меньше 180° , то эти прямые при продолжении рано или поздно пересекутся с той стороны, с которой эта величина (сумма) меньше 180° .

Пятый постулат Евклида нередко подменяют другим выражением, на самом деле придуманным Проклом и известным также, как аксиома Плейфера: *На плоскости через точку, не принадлежащей данной прямой, возможно провести одну и только одну прямую, параллельную данной.*

Доказательства, приведенные выше, корректны для плоскости [2], [3]. Воспроизведем выводы для плоскости:

Любое двумерное пространство всегда изначально является Евклидовым. Не существует геометрических методов («циркуль-линейка-карандаш») для измерения внутренней относительной кривизны различных участков плоскости.

Криволинейное двумерное пространство на плоскости не может существовать самостоятельно. Криволинейное пространство на плоскости может быть только как нелинейное отображение другого Евклидова плоского пространства.

Кривизна двумерного пространства не является абсолютной величиной. Кривизна есть относительное понятие. Величина кривизны двумерного пространства определяется по отношению к Евклидову пространству, внутрь которого отображено данное криволинейное пространство.

Теперь мы можем изложить идею «максвеллизации» теории тяготения.

5. ЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ ИЛИ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОСТЬ?

ОТО А. Эйнштейна основывается на двух принципах:

1) **Принцип относительности**: законы физики должны иметь один и тот же вид не в инерциальных и в неинерциальных системах отсчета.

2) **Принцип эквивалентности** гравитационной и инертной масс.

Мы не будем рассматривать «принцип относительности» А.Эйнштейна. Это обычный *шаблонный* шаг, когда кажущийся первый успех в СТО рождает стремление «закрепить результат», т.е. расширить его область применения. Сейчас нас интересует обоснование «эквивалентности» масс. В нерелятивистской механике со времен Ньютона существует *два понятия массы*: первое относится *ко второму закону Ньютона*, а второе — к *закону всемирного тяготения*.

Первая масса — инертная (или инерционная) — есть отношение любой силы, действующей на тело, к его ускорению.

Вторая масса — гравитационная — определяет силу притяжения тела другими телами и его собственную силу притяжения.

Эти две массы измеряются в различных экспериментах, *поэтому совершенно не обязаны быть, связанными друг с другом, а тем более — эквивалентными друг другу.*

Здесь необходимо терминологическое пояснение. Термин **эквивалентность** двух объектов используется в смысле: тождественные объекты, равные, количественно и качественно совпадающие. У сопоставляемых объектов не только *одинаковы качества и свойства*, но имеет место без каких-либо исключений *количественная пропорциональность* характеристик свойств.

В современной физике укрепилось мнение, что *экспериментально установлена строгая пропорциональность* этих масс. Это как бы позволяет говорить о единой массе тела, как при негравитационных, так и при гравитационных взаимодействиях. Подходящим выбором единиц можно сделать эти массы равными друг другу. Но закон пропорциональности, в отличие от принципа эквивалентности, не абсолютен. Он имеет *границы*, за которыми пропорциональность нарушается. Поэтому из количественной пропорциональности *не следует эквивалентность*.

Есть еще один аспект, о котором умалчивают. Инерциальная масса всегда *положительна*. В противовес ей энергия гравитационного взаимодействия всегда *отрицательна!* Это означает, что

инерциальная масса, соответствующая энергии гравитационного поля $m = E/c^2$, должна даже в нерелятивистском случае быть *отрицательной*. Это противоречие не «пустячок»!

Создавая ОТО, Эйнштейн предложил *количественно приравнять* инерциальную и гравитационную массы. С философской точки зрения эта гипотеза, как мы выяснили выше, несостоятельна, поскольку количественное равенство влечет с неизбежностью тождественные законы и, как следствие, устанавливает фактическое *отождествление этих масс*. Та же проблема и с качественным отождествлением [4].

«Максвеллизация» уравнений гравитации. Идея электромагнитной природы вещества была выдвинута в конце 19 века великим английским ученым Дж. Дж. Томсоном. Однако проверка и реализация идеи столкнулась с трудностями, о которых мы упоминали в предыдущих главах. В рамках квазистатической электродинамики проблема электромагнитной массы была решена. Электромагнитная масса имеет стандартные свойства инерциальной массы (масса m_e , импульс $\mathbf{P} = m_e \mathbf{v}$, кинетическая энергия $E_k = m_e v^2 / 2$). Хотя закон Всемирного тяготения весьма напоминает закон Кулона в электростатике, закон Всемирного тяготения И. Ньютона «не вписывался» в рамки электромагнитных представлений.

Тем не менее, напрашивалась аналогия между законом Кулона и законом Всемирного тяготения Ньютона. Реализации идеи «максвеллизации» теории тяготения мешали два обстоятельства.

Первым обстоятельством была ОТО, созданная А. Эйнштейном. Апологеты ОТО всячески мешали публикации критических статей и альтернативных подходов. Вторым обстоятельством явилась логическая трудность. Весомые тела (звезды, планеты, материальные объекты) являются практически *электрически нейтральными*. Каким образом можно связать электрические заряды и явление тяготения нейтральных тел?

ОТО, как известно, не оправдала надежд ученых. «Черные дыры», «Темная материя», «Большой взрыв» и другие странности явлений, предсказываемых ОТО, требовали логически последовательных объяснений. Объяснения явлений были похожи на сюжеты фантастических фильмов.

Электромагнитная масса покоящегося заряда, например электрона, определяется его зарядом и потенциалом [5], [6], [7].

$$m_e = \int \frac{\rho \varphi}{2c^2} dV \quad (7.5.1)$$

Если записать закон Кулона для статических зарядов и закон всемирного тяготения для двух масс, то подобие законов удивляет. Запишем функции Лагранжа:

$$\text{Закон Кулона} \quad L_q = -\frac{q_1 q_2}{4\pi \epsilon R} \quad (7.5.2)$$

$$\text{Закон всемирного тяготения} \quad L_g = G \frac{m_1 m_2}{R} \quad (7.5.3)$$

Далее мы можем предположить, что функция Лагранжа для закона Кулона есть первое приближение более общего закона.

Чтобы избежать неоднозначной интерпретации и наиболее просто изложить идею «максвеллизации», ниже мы будем рассматривать ее на примере *отдельной заряженной частицы*. Обобщение мы сделаем позже. В функцию Лагранжа для двух электрических зарядов мы добавим *гипотетический* квадратичный член (в квадратных скобках):

$$L_q = -\frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon R_{12}} [1 - k q_1 q_2 + \dots] \quad (7.5.4)$$

где: q_1 и q_2 - два заряда, R_{12} - относительное расстояние между ними, k - некоторый коэффициент.

Обратите внимание на второй член разности в скобках выражения (7.5.4). Мы получили выражение, которое позволит нам показать электромагнитную природу гравитации. Выпишем два отдельных выражения из (7.5.4) для каждого члена суммы в первой скобке:

$$L_q = -\frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon R} \quad (7.5.5) \quad \text{и} \quad L_g = +\frac{k(q_1 q_2)^2}{4\pi\epsilon R} \quad (7.5.6)$$

Обратите внимание на выражения (7.5.5) и (7.5.6). Выражение (7.5.5) это функция Лагранжа для закона Кулона (7.5.2). Выражение (7.5.6) напоминает функцию Лагранжа для закона всемирного тяготения (7.5.3).

Выражения (7.5.3) и (7.5.6) совпадут, если мы будем считать, что **гравитационный заряд пропорционален квадрату электрического заряда** и выберем нужное значение коэффициента k . Крупные инерциальные массы (например, планеты) практически не имеют избыточного заряда. Они электрически нейтральны. В этом сложность установления логической связи между тяготением и электродинамикой.

Гравитационное взаимодействие двух протонов. Поэтому для наглядности объяснения мы начнем анализ с гравитационного взаимодействия двух заряженных частиц - протонов. Их параметрам будем присваивать индекс p . Для простоты мы будем считать, что относительная скорость протонов равна нулю. Коэффициент k для протона обозначим через k_p .

Чтобы имело место тождество между выражениями (7.5.3) и (7.5.6) соответствующие члены должны быть равны. Для гравитационного взаимодействия протонов мы можем записать:

$$\frac{k_p (q_1 q_2)^2}{4\pi\epsilon} = G_0 (m_p^*)^2 \quad (7.5.7)$$

В правой части выражения (7.5.7) должны стоять гравитационные заряды протонов. Чтобы отличать их от инерциальных масс протонов m_p , мы будем обозначать гравитационные заряды m_p^* .

Гравитационный заряд и инерциальная масса протона в выражении (7.6) будут не только численно равны, но и будут измеряться общими единицами измерения, если коэффициент k_p будет равен

$$k_p = \frac{(m_p^*)^2}{q^4} 4\pi\epsilon G_0. \quad (7.5.8)$$

Теперь гравитационный заряд протона измеряется подобно инерциальной массе в килограммах или (при выборе единиц) в атомных единицах массы. Очевидно, что отношение гравитационного заряда протона к его инерциальной массе всегда равно 1 ($s_p = \frac{m_p^*}{m_p} = 1$). Протон не является единственной частицей, содержащей заряд. Есть электроны, нейтроны, нейтральные атомы и молекулы, ионы и т.д. Продолжим сравнение гравитационных зарядов и инерциальных масс для других частиц.

Электрон. Напомним, что инерциальная масса протона вычисляется по формуле

$$m_e = \frac{1}{2c^2} \int \rho q dV \quad (7.5.9)$$

Легко видеть, что гравитационный заряд электрона будет равен гравитационному заряду протона в силу равенства абсолютных величин их зарядов ($\frac{m_p^*}{m_e} = 1$). Инерциальная масса электрона меньше инерциальной массы протона в 1860 раз, поэтому ($s_e = \frac{m_e^*}{m_e} = 1860$).

Нейтрон. Нейтрон – нейтральная частица. Она состоит из электрона и протона, связанных между собой взаимодействием. При бета-распаде нейтрона происходит спонтанное превращение свободного нейтрона с излучением β -частицы (электрона) и электронного антинейтрино.

Спектр кинетической энергии излучаемого электрона лежит в диапазоне от 0 до 782,318 кэВ. Время жизни свободного нейтрона составляет $880,1 \pm 1,1$ секунды (что соответствует периоду полураспада $611 \pm 0,8$ с). Кинетическая энергия вылетевшего электрона мала по сравнению с его собственной энергией. Поэтому мы можем считать, что отношение гравитационного заряда к инерциальной массе нейтрона равно 2.

$$s_n = \frac{m_n^*}{m_n} \approx 2.$$

Мы выбрали значение k_p таким, чтобы гравитационные заряды и инерциальные массы одинаковую размерность. В дальнейшем нам удобно использовать безразмерные единицы атомного веса (а.е.м.).

6. ЗАКОН ПРОПОРЦИОНАЛЬНОСТИ МАСС

Обратимся к таблице Менделеева (Рис. 7.2). В каждой клетке, занятой химическим элементом, имеются две цифры. Первая цифра в верхнем квадрате (Рис. 7.2), как известно, указывает порядковый номер элемента. Она равна числу протонов или электронов в нейтральном атоме ($n_e = n_p$). Вторая цифра в нижнем квадрате указывает атомный вес элемента.

Атомный вес – безразмерная величина, равная примерно сумме $n_e + n_p$, в а.е.м. Она определяется как отношение массы атома данного элемента к $1/12$ массы нейтрального атома изотопа углерода $^{12}\text{C}_6$. Поскольку имеются изотопы, на рис 11 приведено среднее значение. Атомный вес одного из изотопов помещен в кружок.

22 Ti 47.867 28-39-2	23 V 50.942 28-31-2	24 Cr 51.996 28-18-1	25 Mn 54.938 28-18-2	26 Fe 55.845 28-34-2	27 Co 58.933 28-51-2
40 Zr 91.224 28-38-2	41 Nb 92.906 28-38-1	42 Mo 95.94 28-18-1	43 Tc (98) 28-18-1	44 Ru 101.07 28-38-1	45 Rh 102.91 28-38-1
72 Hf 178.49 28-38-2	73 Ta 180.95 28-32-1	74 W 183.84 28-32-2	75 Re 186.21 28-32-2	76 Os 190.23 28-32-2	77 Ir 192.22 28-32-1

Рис.7.2 Фрагмент периодической таблицы

Инерциальная масса элемента циркония $^{91}\text{Zr}_{40}$. Инерциальная масса атома численно равна сумме протонов, электронов и нейтронов.

В нашем случае инерциальная масса протона равна 1, инерциальная масса нейтрона тоже приблизительно равна 1, а инерциальная масса электрона в 1860 раз меньше массы протона. Итак, инерциальная масса циркония $^{91}\text{Zr}_{40}$ в атомных единицах равна:

$$m = n_n + n_p + \frac{n_e}{1860} \approx n_n + n_p \quad (7.6.1)$$

Вклад электронов в общую инерциальную массу весьма мал, и им можно пренебречь.

Гравитационный заряд элемента циркония $^{91}\text{Zr}_{40}$. Гравитационный заряд нейтрона равен 2. Протон и электрон имеют равные электрические заряды и равные гравитационные заряды, равные 1. Подсчитаем гравитационный заряд атома циркония в атомных единицах $m^* = 2n_n + 2n_p = 2(n_n + n_p)$. Легко видеть, что для циркония отношение гравитационного заряда m^* к инерциальной массе m приблизительно равно 2.

$$s = \frac{m^*}{m} = 2 \quad (7.6.2)$$

Важное обобщение. Интересно отметить, что отношение величины гравитационного заряда к инерциальной массе к приблизительно равно 2 не только для любого нейтрального атома периодической системы Менделеева.

Выражение (7.6.2) отражает пропорциональность инерциальной массы и гравитационного заряда для любых нейтральных массивных тел (твердых тел, жидкостей). Причина в том, что, добавка к инерциальным массам атомов из-за взаимодействия ионов вещества между собой весьма мала и составляет доли процента. Полученная пропорциональность вовсе не является подтверждением постулата А. Эйнштейна об эквивалентности масс/

7. ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ

Гравитационная постоянная. Ученые измеряют гравитационную постоянную, используя закон Ньютона и электрически нейтральные массы. В этот закон входят не гравитационные заряды, а входят пропорциональные им инерциальные заряды. Таким образом, необходимо определить фундаментальную гравитационную постоянную G_0 . Воспользуемся выражением (7.6). Если в этом законе для электрически нейтральных тел заменить инерциальную массу протона гравитационным зарядом и убрать индекс p , то получим

$$Gm_1m_2 = G_0m_1^*m_2^* = G \frac{m_1^*m_2^*}{s^2} \quad (7.7.1)$$

где $G = G_0s^2$ – экспериментально измеренная для нейтральных тел константа гравитации; G_0 – фундаментальная константа гравитации для протона.

Поскольку для нейтральных тел, для которых проводились измерения, отношение $s = 2$, экспериментально найденная величина гравитационной постоянной s фундаментальной константой определяется формулой

$$G = G_0s^2 \approx 4G_0 \quad (7.7.2)$$

Закон всемирного тяготения для нейтральных тел. Закон всемирного тяготения для электрически нейтральных тел в общем случае примет следующий вид

$$F = -G_0 \frac{m_1^* m_2^*}{R^2} = -G \frac{m_1^* m_2^*}{R^2 s^2} = -G \frac{m_1 m_2}{R^2} \quad (7.7.3)$$

Если взаимодействуют тела, имеющие электрические заряды, то закон всемирного тяготения должен «корректироваться». Причина не в том, что возникают кулоновские силы электрического взаимодействия, которые необходимо специально учитывать. Причина в том, что величины s , входящие в закон всемирного тяготения, будут зависеть от степени ионизации частицы. Этот факт отражают входящие в закон всемирного тяготения множители s_1 и s_2 .

Примеры различных параметров s . Мы установили, что, например, для протона величина $s = 1$, для электрона $s_e = 1860$. Другим примером «нарушения» правила пропорциональности может служить любой ион. В качестве примера мы рассмотрим α - частицу. Она представляет собой двукратно ионизированный атом гелия He^{++} . Для α - частицы величина s равна

$$s_{He^{++}} = \frac{4n_p + 2n_n}{2n_p + 2n_n} \approx 1,5 \quad (7.7.4)$$

Итак, ионизированные молекулы «изменяют» закон всемирного тяготения.

$$F = -G_0 \frac{m_1^* m_2^*}{R^2} = -G \frac{m_1^* m_2^*}{R^2 s^2} = -G \frac{m_1 m_2}{R^2} \left(\frac{s_1 s_2}{s^2} \right) \quad (7.7.5)$$

Если взаимодействуют электрически нейтральные тела, тогда $s_1 = s_2 = s = 2$, и закон всемирного тяготения принимает стандартную форму (7.7.3).

8. «АТМОСФЕРА» СОЛНЦА.

Теперь мы можем проиллюстрировать структурные особенности солнечной «атмосферы», основываясь на полученных результатах. Предположим, что различные частицы вылетают с одинаковыми скоростями и останавливаются под действием сил солнца.

Прежде всего, отметим, что кинетическая энергия электронов намного меньше кинетической энергии альфа-частиц, атомов водорода и гелия. Их энергия слишком мала, чтобы преодолеть силы гравитации. По этой причине можно предположить, что вблизи поверхности Солнца может существовать относительно «тонкий» слой электронов с достаточно высокой концентрацией.

Частицы имеют следующие высоты подъема. Мы выбрали расстояния по отношению к расстоянию, пройденному электроном:

Электроны	$h_e =$	1
Нейтральные атомы (H, He)	$h_{H,He} =$	930
Альфа-частицы (He^{++})	$h_{He^{++}} =$	1240
Протоны	$h_p =$	1860

По мере увеличения расстояния от солнца концентрация частиц будет уменьшаться. На больших расстояниях от Солнца межпланетный космический заряд будет иметь избыточный положительный знак за счет ионов водорода и альфа-частиц. Под действием притяжения солнца часть из них возвращается обратно. На дальних расстояниях будут преобладать нейтральные частицы.

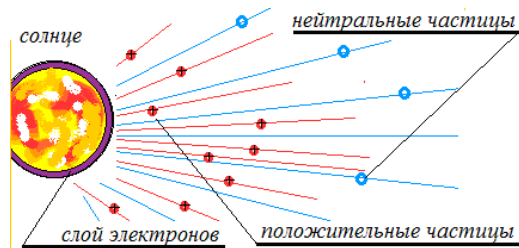


Рис. 7.3 Распределение частиц

Планеты, движущиеся в поле заряженных частиц, всегда приобретают электрический заряд. Постепенно возникает равновесие между плотностью положительных зарядов, окружающих планету и зарядом, «осевшим» на поверхности планеты. Ближайшие к солнцу планеты Меркурий, Венера, Земля, Марс имеют электрический заряд. Он тем больше, чем ближе планета к солнцу.

Если электрический заряд составляет несколько сотен кулонов, то между заряженной планетой и электронной «оболочкой» Солнца происходит кулоновское взаимодействие, которое необходимо учитывать.

Особенно важно учитывать эти явления при оценке воздействия вспышек на солнце. По мере увеличения при вспышке потока альфа-частиц равновесие нарушается и радиус траектории планеты немного увеличивается. Это происходит до тех пор, пока не наступит равновесие. Из-за этого явления продолжительность дня (период суточного вращения) на планетах немного меняется и т.д.

ССЫЛКИ:

1. В. Кулигин. 2016. Материализм и теория относительности. <http://www.sciteclibrary.ru/texts/rus/stat/st6933.pdf>
2. A.Chubikalo, A.Espinosa, V.Kuligin 2018. Spatial curvature as a distorted mapping of Euclidean space, *Boson Journal of Modern Physics (BJMP)* Vol. 4, Issue 2, ISSN 2454-8413
3. В.А. Кулигин. 2019. Крах ОТО из-за ошибки геометров. <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0016/001g/00164036.htm>
4. A. Chubykalo, A. Espinoza and V. Kuligin . 2019. The postulate of the equivalence of masses or the law of their proportionality? *International journal of engineering sciences & research technology* 8(2) 129-137.
5. A.Chubykalo, A.Espinoza, V.Kuligin, and M.Korneva. 2019 .Once Again About the Problem “4/3”. *International Journal of Engineering Technologies and Management Research*, 6(6), 178-196.
6. В.Кулигин, М. Корнева, А. Чубыкало, А. Эспиноза. 2019. Проблема «4/3». <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0016/001g/00164093.htm>
7. V.A. Kuligin, G.A. Kuligina, M.V. Korneva 1996. The Electromagnetic Mass of a Charged Particle APEIRON Vol. 3, Nr. 1 .

Глава 8 Проблема взаимодействия в электродинамике

1. Предварительные итоги
2. Виртуальные частицы
3. Об эксперименте Майкельсона и Морли
4. Зависит ли скорость света от скорости движения источника?
5. Взаимодействие электронов с виртуальными частицами
6. Фазовая, групповая и энергетическая скорости
7. Теория клистрона

1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИТОГИ

Итак, мы провели в предшествующих главах следующий анализ.

В Главе 1 мы рассмотрели одну из ошибок, приведших к кризису физики в конце 19 века. Физики, философы и математики в пылу полемики о мгновенном действии и близкодействии не провели четкого анализа уравнений Максвелла. В результате они «потеряли» важный элемент: квазистатическую ветвь решений уравнения Максвелла. С одной стороны, эта случайная ошибка Максвелла позволила описать волновые процессы. С другой стороны, она упрочила физиков во мнении, что мгновенное действие на расстоянии в природе не существует и все классические теории являются приближенными.

В Главе 2, опираясь на современную механику материальных тел и сплошных сред, мы «вытащили» квазистатическую ветвь решений и показали ее связь с классическими теориями. Анализ показал, что электрические заряды (квазистатическая ветвь) не могут взаимодействовать с электромагнитными волнами. Они не излучают и не поглощают эти волны. Помимо этого было обнаружено, что в природе должны существовать виртуальные заряды (заряды без инерции). Только виртуальные заряды могут излучать поперечные электромагнитные волны.

В следующих главах (Глава 3, 4, 5, 6) были даны разъяснения существующим парадоксам, приведено решение проблемы электромагнитной массы, дан строгий вывод нерелятивистского выражения для функции Лагранжа, описывающей взаимодействие зарядов и токов.

Глава 7 посвящена развитию идеи лауреата Нобелевской премии Дж. Дж. Томсона об электромагнитной природе гравитации. Было показано, что принцип эквивалентности, введенный Эйнштейном, несостоятелен с философских позиций. Мы показали реализацию принципа пропорциональности инерциальной и гравитационной масс и провели «максвеллизацию» уравнений тяготения.

Теперь нам предстоит сложная задача. Современная теория излучения, в свете существования квазистатической ветви решений уравнений Максвелла, оказалась несостоятельна. Возникли и другие проблемы, обсуждение которых обязательно для понимания явлений в физике.

Мы должны разделить волновую ветвь условно на две части. *Первая часть* это макроскопическое описание излучения, распространения волн и дать модель их взаимодействия с инерциальными зарядами. *Вторая часть* это электродинамика микромира. Она касается атомов, ядер атомов, молекул, их взаимодействия между собой. Здесь мы сталкиваемся со сложной проблемой описания, которая затрагивает

микро-термодинамику, химию, теории микромира. Это достаточно сложная проблема, решение которой может затянуться на многие годы. Мы ее касаться не будем.

2. ВИРТУАЛЬНЫЕ ЧАСТИЦЫ

Мы должны по-новому взглянуть на среды, в которых происходит распространение электромагнитной волны. Эти вопросы мы уже начали обсуждать в Главе 3. Сначала мы обсудим квазистатические явления, где возникают виртуальные заряды.

В предыдущих главах мы уже описали теоретически наличие в металлах виртуальных частиц (не имеющих инерции) и привели эксперименты, которые подтверждают их существование. Этим вопросам практически не уделялось внимания в современной физике. Физика сейчас далека от описания структуры виртуальных частиц. Кванты, нейтрино и др. «изделия» научного разума заполнили научный интерес. Наша цель вернуть интерес к токам Тесла и выявить некоторые свойства виртуальных зарядов.

Можно предположить, что виртуальные частицы не могут существовать самостоятельно, подобно электронам и протонам. Они обязательно должны быть связаны с инерциальными материальными объектами (или частицами, а томами, электронами). Начнем изучение свойств виртуальных частиц с граничных условий для металлов и идеальных проводников.

В Главе 3, рассматривая граничные условия, мы установили, что при падении электромагнитной волны на поверхность металла на ней возникают виртуальные заряды, препятствующие прохождению волны внутрь металла. Мы установили, что продольные волны не излучаются виртуальными зарядами, если они не имеют инерции. Это не означает, что виртуальные заряды должны всегда перемещаться со скоростью света.

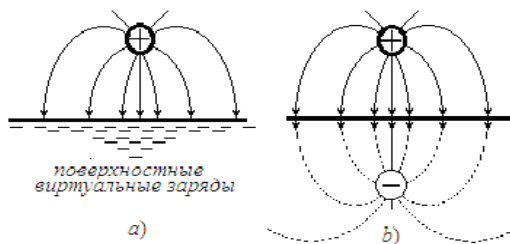


Рис. 8.1 Метод зеркального отображения

На Рис. 8.1 *a* изображен положительный заряд над идеально проводящей поверхностью. Силовые линии заряда подходят к ней перпендикулярно, а на поверхности образуется слой виртуальных отрицательных зарядов. Но это не электроны проводимости, а именно *виртуальные заряды*. Распределение зарядов таково, что их действие можно заменить действием эквивалентного отрицательного заряда (Рис. 8.1 *b*), отстоящего от поверхности на том же расстоянии. Здесь мы видим, что виртуальные заряды могут взаимодействовать с положительным зарядом и притягивать его к поверхности. Если положительный заряд начинает движение, начинают двигаться отрицательные виртуальные заряды, образуя поверхностный ток. Но излучение отсутствует.

Еще пример. Если ртуть охладить до сверхпроводящего состояния, то можно наблюдать эффект левитации. Магнит «парит» над поверхностью ртути и не опускается («гроб Магомеда»). Причина та же. На поверхности ртути возникают токи, образованные виртуальными зарядами. Эти токи создают такую конфигурацию магнитного поля, которая является зеркальным отражением магнита.

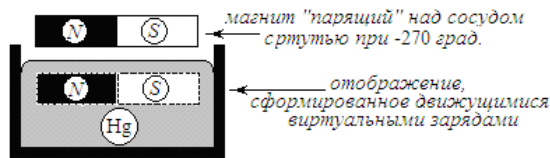


Рис. 8.2. Левитация постоянного магнита над сверхпроводящей ртутью.

Возникает взаимное отталкивание, и магнит «зависает» над поверхностью.

Как известно, волна на внутренней поверхности волновода образует поверхностные токи (граничные условия). Эти токи на широкой стенке (a) для волны H_{10} изображены на Рис. 8.3.



Рис. 8.3 Виртуальные токи и заряды в волноводах

В 70-е годы прошлого столетия мы провели эксперименты по изучению влияния сильного магнитного поля (до 10 000 Эрстед) на распространение волны H_{10} в волноводе. К сожалению никаких эффектов воздействия магнитного поля на виртуальные токи в волноводе выявить не удалось. Возможно, существуют разные «сорты» виртуальных зарядов. Возможно, что следовало бы критически пересмотреть методику эксперимента.

3. ОБ ЭКСПЕРИМЕНТЕ МАЙКЕЛЬСОНА И МОРЛИ

Вновь мы рассмотрим и переосмыслим хорошо известные экспериментальные факты. На этот раз мы обратимся к отражению волны от поверхности непрерывной среды и прохождению волны внутрь диэлектрика. Эта, казалось бы, хорошо изученная часть имеет свои особенности. Рассмотрим сначала отражение от поверхности металла.

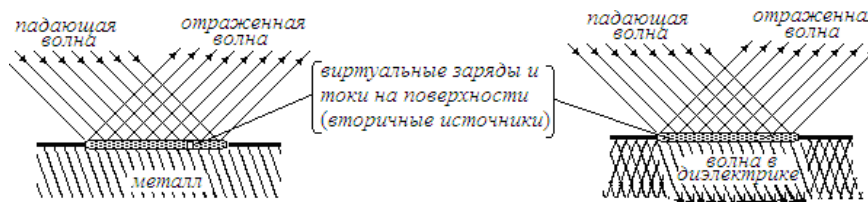


Рис. 8.4

При падении волны на поверхность идеального проводника возникают, как мы знаем, поверхностные заряды и токи, как изображено на Рис. 8.4. Это вторичные источники, излучающие отраженную волну.

Первичным источником является материальный объект, в котором имеются виртуальные токи – источники волн. Аналогичная ситуация возникает при падении волны на диэлектрик. Особенность в том, что вторичные источники (виртуальные токи смещения) формируют не только отраженную волну, но и волну, проходящую в диэлектрик.

Теперь поясним суть проблемы. Если имеется некоторый источник излучения, то согласно уравнениям Максвелла, волна распространяется от источника со скоростью света. Если источник движется,

необходимо определиться со скоростью излученной волны: зависит ли она от скорости источника и от направления вектора скорости источника? Вторичные источники излучения привязаны к среде (металл, диэлектрик) *и их можно рассматривать как самостоятельные источники*, от которых излучение распространяется со скоростью света в среде, независимо от движения первичного источника.

Мы пока не будем опираться на гипотезу (постулат) Эйнштейна о постоянстве скорости света. Математический формализм преобразования Лоренца правильный. Однако следует иметь в виду, что существует класс преобразований, родственных преобразованию Лоренца. Необходимо экспериментально выявить реальное преобразование. Это, *во-первых*. *Во-вторых*, хотя формула Лоренца правильная, физическая интерпретация явлений, предложенная Эйнштейном, философски невежественна. Эйнштейн и физики до настоящего времени не научились отличать явление от сущности (кажущееся от реальности) [1], [2].

Все наши рассуждения, приведенные выше, направлены на обсуждение экспериментов Майкельсона и Морли. Рассмотрим этот эксперимент.

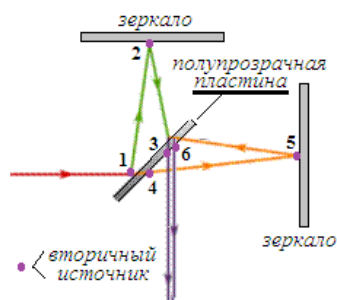


Рис 8.5

Луч света подходит к полупрозрачной пластине в точке 1 и расщепляется на два луча. Первый (отраженный) луч проходит точки 1-2-3 и направляется к детектору. Указанные точки являются вторичными источниками, и луч от них всегда испускается со скоростью света. Аналогично, второй проходит от точки 1 сквозь пластину и далее проходит точки 4-5-6. Эти точки также являются вторичными источниками. От них лучи уходят со скоростью света.

Если же предположить, что «эфирный ветер» складывается со скоростью света, то это изменение компенсируется, поскольку два луча идут в противоположных направлениях и влияние «эфирного ветра» сводится к нулю (1-2 + 2-3 и 4-5 + 5-6). Таким образом, если движущийся эфир существует, то его обнаружить с помощью такого эксперимента невозможно. Эфир может оказать свое влияние только на участок пути до точки 1. Напомним, что скорость эфира не входит в систему уравнений Максвелла. Могут возразить, что, применяя формулы сложения скоростей Эйнштейна, можно получить поправки порядка v^2/c^2 . Это уже подгонка под «нужный результат». Любой вторичный источник света в эксперименте *неподвижен*. Почему мы должны искусственно вводить в уравнения Максвелла «эфирный ветер» и искажать уравнения? Это совсем «другая опера»!

Есть другой способ проверить постоянство скорости света и независимость этой скорости от движения источника излучения.

4. ЗАВИСИТ ЛИ СКОРОСТЬ СВЕТА ОТ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА?

Когда мы имеем дело с плотными средами с большой величиной диэлектрической проницаемости, магнитной проницаемости или проводимости, толщина слоя вторичных источников весьма мала. Она соизмерима с размерами кристаллической решетки. Если же мы имеем дело с сильно разреженной средой (например, разреженный газ) процесс установления скорости в среде происходит не сразу. Виртуальные заряды и токи оказываются распределенными в пространстве.

В этом смысле скорость света в воздухе, хотя и близка к скорости света, она оказывается «привязана» к среде распространения. В этом смысле опыты Майкельсона - Морли кажутся сомнительными. Скорость света относительно воздуха, как «абсолютной системы», неизменна. Опыт Майкельсона - Морли следовало бы проводить на искусственном спутнике, где влияние атмосферы пренебрежимо мало.

Устройство для измерения скорости света в зависимости от скорости источника изображено на Рис. 8.6. Устройство содержит два канала, ограничивающих попадание света от посторонних источников, две цилиндрических пластины, отстоящих на расстоянии h , и детектора, регистрирующего изменение интерференционной картинки.

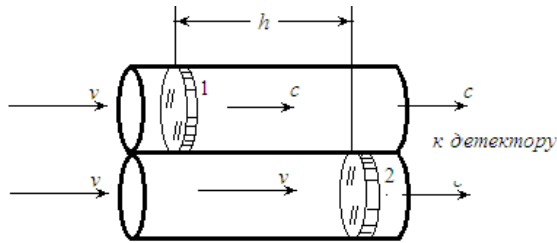


Рис. 8.6

Пусть волна до устройства имела скорость v . Приходящая волна попадает на цилиндрические прозрачные диски. На дисках виртуальные заряды образуют вторичные источники излучения. Эти источники излучают волну, имеющую скорость c . Поскольку волна в верхнем цилиндре проходит расстояние h со скоростью c , а в нижнем цилиндре движется со скоростью v , возникает набег фазы по времени.

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{h}{\lambda} \left(\frac{v}{c} - 1 \right) \approx 2\pi \frac{h}{\lambda} \frac{\Delta v}{c} \quad (8.4.1)$$

С искусственного спутника во время обращения вокруг земли (время около 1 часа) можно выбрать фиксированный объект. Он будет периодически приближаться и удаляться во время вращения спутника. Результаты измерений покажут: зависит ли скорость света от движения источника.

5. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОНОВ С ВИРТУАЛЬНЫМИ ЧАСТИЦАМИ

В предыдущих главах мы показали, что электромагнитные волны и инерциальные заряды не могут взаимодействовать непосредственно. Посредником при взаимодействии выступают виртуальные заряды. Эту мысль мы проиллюстрируем на примерах. Это первая часть взаимодействия. Вторая часть есть излучение электромагнитных волн виртуальными зарядами и воздействие волн на эти заряды. Эти вопросы мы обсудим позже.

На рис. 8.3 изображен волновод, в котором распространяется электромагнитная волна H_{10} . По стенкам волновода текут поверхностные токи, образованные виртуальными зарядами. Поля \mathbf{E} и \mathbf{H} мы привычно рассматриваем как «первичное» явление, которое в силу граничных условий порождает на стенках

«вторичное» явление, т.е. токи на стенках. Но ведь можно этот вопрос интерпретировать иначе. Движение виртуальных зарядов первично, т.к. оно генерирует поля внутри волновода. Такая двойственность характерна для электродинамики. Например, плотность энергии заряда мы можем записать двумя способами:

$$w_e = \rho\phi/2; \quad w_e = \epsilon E^2/2.$$

Вообще говоря, здесь много проблем и неясностей, решение которым еще предстоит найти. Волну в ограниченном пространстве уже нельзя рассматривать как «чисто электромагнитную» волну. Возможно, это «смесь» «чистых электромагнитных волн» и полей, образованных виртуальными зарядами. Но могут быть и иные варианты.

Вернемся к теме взаимодействия заряда с полями. Все как-то привыкли к стандартным ситуациям, не вникая вглубь явлений. А это ведет к догматизму и застою. Рассмотрим тривиальную задачу, у которой пока нет решения. Пусть мы имеем объемный резонатор с сетчатыми стенками, который обычно используется в некоторых клистродах (см. Рис. 8.7).

В это резонатор влетает со скоростью v электрон, проходит расстояние между сетками и пролетает дальше. Возникает вопрос: Потеряет ли заряд часть энергии, которая останется в виде полей в резонаторе или же в резонаторе, как и до влета электрона полей нет?

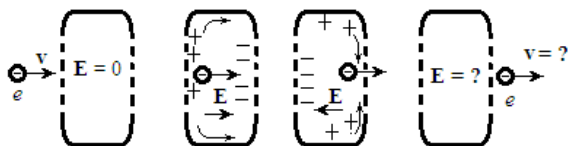


Рис. 8.7

Если до влета электрона существовало поле, то электрон совершит работу. После прохождения резонатора его скорость изменится. В учебниках процесс возникновения колебаний в «пустом» резонаторе ($E = 0$) объясняют так. В резонаторе свободные электроны флуктуируют, и возникает «шумовое» электромагнитное поле. С ним в начальный период взаимодействует влетающий электрон.

Это не совсем точно. Флуктуируют виртуальные частицы на поверхности металла, а не «свободные» электроны. Мы видим проблему в другом. Можно ли рассматривать эту систему как консервативную (поля виртуальных зарядов мгновенно действующие)? Если можно, тогда вылетевший электрон будет иметь прежнюю скорость, а в резонаторе не будет колебаний. Электрон сначала будет тормозиться полем виртуальных зарядов. Затем он будет ускоряться этим же полем. Природу такого взаимодействия мы иллюстрировали на Рис. 8.1.

Но есть другой вариант. Часть виртуальных зарядов создает запаздывающие поля. Поэтому поверхностный ток будет равен сумме токов. Одни виртуальные заряды создают мгновенные поля, а другие – запаздывающие поля. В этом варианте электрон уже не сохранит прежнюю скорость и кинетическую энергию после пролета резонатора. Его скорость станет меньше, а в идеальном резонаторе будет протекать колебательный процесс (сумма различных возбужденных электроном мод).

Эта задача ищет своего талантливого исследователя.

6. ФАЗОВАЯ, ГРУППОВАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СКОРОСТИ ВОЛНЫ.

Проблема переноса энергии волной до сих пор окончательно не решена. Считается, что групповая скорость есть скорость переноса энергии. Однако если имеет место аномальная дисперсия, возникают проблемы. В одних случаях авторы утверждают, что здесь групповая скорость не имеет смысла. В других случаях считается, что групповая скорость, играющая роль энергетической скорости, принципиально необходима для объяснения явлений (ЛБВ). Только сравнительно недавно мы опубликовали наши исследования [].

Мы дадим вывод выражения для энергетической скорости ТМ волны и обобщим результат на волны ТЕ типа. Для описания процесса распространения монохроматической волны мы будем использовать Герца. Рассмотрим ТМ волну, распространяющуюся вдоль оси z . Распространение волны мы будем рассматривать в ортогональных цилиндрических координатах ξ , η и z . Пусть $\boldsymbol{\eta}^0$, $\boldsymbol{\xi}^0$ и \mathbf{z}^0 орты.

Потенциал Герца удовлетворяет однородному уравнению Гельмгольца [1]

$$\Delta u - \frac{\partial^2 u}{(\partial ct)^2} = \frac{1}{h_\xi h_\eta} \left[\frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{h_\eta}{h_\xi} \frac{\partial u}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{h_\xi}{h_\eta} \frac{\partial u}{\partial \eta} \right) \right] + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial (ct)^2} = 0 \quad (8.6.1)$$

где: $h_\xi(\xi; \eta)$ и $h_\eta(\xi; \eta)$ коэффициенты Ламе.

Будем искать потенциал u в следующем виде $u = U(\xi; \eta) e^{i\alpha x - i\gamma z}$,

где $k = \omega/c$; $\gamma = \omega/v_p$; v_p есть фазовая скорость волны; $U(\xi; \eta)$ есть среднеквадратичное значение потенциала Герца ($U = U_{\max}/\sqrt{2}$).

Амплитуды полей \mathbf{E} и \mathbf{H} выражаются через потенциалы Герца U [1] следующим образом:

$$\begin{aligned} E_\xi &= \frac{1}{h_\xi} \frac{\partial^2 U}{\partial \xi \partial z} = -\frac{i\gamma}{h_\xi} \frac{\partial U}{\partial \xi}; & H_\xi &= \frac{i\omega \varepsilon}{h_\eta} \frac{\partial U}{\partial \eta} \\ E_\eta &= \frac{1}{h_\eta} \frac{\partial^2 U}{\partial \eta \partial z} = -\frac{i\gamma}{h_\eta} \frac{\partial U}{\partial \eta}; & H_\eta &= -\frac{i\omega \varepsilon}{h_\xi} \frac{\partial U}{\partial \xi} \\ E_z &= k^2 U + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = (k^2 - \gamma^2)U; & H_z &= 0 \end{aligned} \quad (8.6.2)$$

Рассмотрим компоненты полей и запишем выражения для плотности энергии и плотности потока, используя закон сохранения энергии Пойнтинга. Мы рассмотрим отдельно энергию и продольный поток энергии, распространяющиеся вдоль оси z (w_L ; \mathbf{S}_L), и энергию и поток энергии, распространяющиеся в плоскости $z = \text{константа}$ (w_T ; \mathbf{S}_T), т.е. в перпендикулярном направлении.

Плотность потока электромагнитной волны (вектор Пойнтинга) есть

$$\begin{aligned} \mathbf{S} &= [\mathbf{E} \times \mathbf{H}^*] = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\xi}^0 & \boldsymbol{\eta}^0 & \mathbf{z}^0 \\ E_\xi & E_\eta & E_z \\ H_\xi^* & H_\eta^* & 0 \end{bmatrix} = \\ &= -\boldsymbol{\xi}^0 (H_\eta^* E_z) + \boldsymbol{\eta}^0 (H_\xi^* E_z) + \mathbf{z}^0 (E_\xi H_\eta^* - E_\eta H_\xi^*) \end{aligned} \quad (8.6.3)$$

Мы видим, что имеют место два потока энергии. Один поток (\mathbf{S}_L) направлен вдоль оси z . Второй поток (\mathbf{S}_T) направлен перпендикулярно оси z . Поток \mathbf{S}_L равен:

$$\mathbf{S}_L = [(E_\xi \boldsymbol{\xi}^0 + E_\eta \boldsymbol{\eta}^0) \times (H_\xi^* \boldsymbol{\xi}^0 + H_\eta^* \boldsymbol{\eta}^0)] = \gamma \omega \varepsilon \left[\left(\frac{1}{h_\xi} \frac{\partial U}{\partial \xi} \right)^2 + \left(\frac{1}{h_\eta} \frac{\partial U}{\partial \eta} \right)^2 \right] \mathbf{z}^0 \quad (8.6.4)$$

Ему соответствует плотность энергии

$$w_L = \frac{\varepsilon}{2} (|E_\xi|^2 + |E_\eta|^2) + \frac{\mu}{2} (|H_\xi|^2 + |H_\eta|^2) = \frac{\varepsilon}{2} (\gamma^2 + k^2) \left[\left(\frac{1}{h_\xi} \frac{\partial U}{\partial \xi} \right)^2 + \left(\frac{1}{h_\eta} \frac{\partial U}{\partial \eta} \right)^2 \right] \quad (8.6.5)$$

Теперь мы запишем выражение для энергетической скорости волны вдоль оси z .

$$\mathbf{v}_e = \frac{\mathbf{S}_L}{w_L} = \frac{2\gamma\omega}{\gamma^2 + k^2} \mathbf{z}^0 = \frac{2v_p \mathbf{z}^0}{1 + (v_p/c)^2} \quad (8.6.6)$$

Тем же способом определим плотность потока и плотность энергии в плоскости перпендикулярной оси z

$$\mathbf{S}_T = -\boldsymbol{\xi}^0 (H_\eta^* E_z) + \boldsymbol{\eta}^0 (H_\xi^* E_z) = -i\omega\varepsilon(k^2 - \gamma^2)U \left[\frac{1}{h_\eta} \frac{\partial U}{\partial \eta} \boldsymbol{\xi}^0 + \frac{1}{h_\xi} \frac{\partial U}{\partial \xi} \boldsymbol{\eta}^0 \right] \quad (8.6.7)$$

$$w_T = \frac{\varepsilon}{2} |E_z|^2 + \frac{\mu}{2} (|H_\xi|^2 + |H_\eta|^2)$$

Запишем выражение для скорости

$$\mathbf{v}_T = \mathbf{S}_T / w_T = [\boldsymbol{\xi}^0 (H_\eta^* E_z) + \boldsymbol{\eta}^0 (H_\xi^* E_z)] / w_T \quad (8.6.8)$$

Как видно из выражения (8.6.8) скорость переноса есть **мнимая величина**. Поскольку скорость переноса энергии в плоскости перпендикулярной оси z мнимая величина, в этой плоскости (x, y) нет переноса энергии, но есть поперечные колебания (стоячие волны). Это колебания продольной компоненты электрического поля E_z . *Сдвиг по фазе этих колебаний* вдоль оси z **создает иллюзию**, что поле E_z перемещается вдоль оси z с фазовой скоростью v_p .

Итак, мы имеем окончательный результат. Энергия волны переносится только вдоль оси z со скоростью v_e .

$$\mathbf{v}_e = \frac{\mathbf{S}_L}{w_L} = \frac{2\gamma\omega}{\gamma^2 + k^2} \mathbf{z}^0 = \frac{2v_p \mathbf{z}^0}{1 + (v_p/c)^2}; \quad v_p = \omega/\gamma \quad (8.6.9)$$

Формула (8.6.9) справедлива для волн ТЕ типа. Ниже мы рассмотрим примеры.

Пример 1. Перенос энергии волной ТЕ (ТЕ₁₀) в прямоугольном волноводе, сечением $a \cdot b$ [3]. Частота монохроматической волны равна ω . Волновод изображен на рис.8.8.

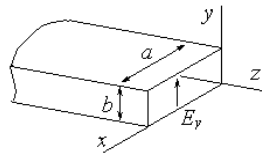


Рис. 8.8 Прямоугольный волновод

Запишем выражения для полей

$$E_x = E_0 \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) e^{-i\gamma z}; \quad H_x = -\frac{\gamma}{\omega\mu} E_0 \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) e^{-i\gamma z}; \quad H_z = E_0 \cos\left(\frac{\pi x}{a}\right) e^{-i\gamma z} \quad (8.6.10)$$

где $\gamma = \frac{\omega}{v_p} = \frac{\omega}{c} \sqrt{1 - (\lambda/2a)^2}$ - постоянная распространения волны; $\lambda = \frac{2\pi c}{\omega}$ - длина волны в

свободном пространстве ($\lambda \leq 2a$).

Фазовая скорость волны равна

$$v_p = c / \sqrt{1 - (\lambda / 2a)^2} \quad (8.8.11)$$

Из выражения (8.8.11) следует, что скорость переноса энергии равна

$$v_e = \frac{2v_p}{1 + (v_p/c)^2} = c \frac{\sqrt{1 - (\lambda/2a)^2}}{1 + (\lambda/2a)^2}; \quad v_e \leq c \leq v_p \quad (8.6.12)$$

Скорость переноса энергии волной **не может** превышать скорость света.

Пример 2. Гребенчатая замедляющая структура [3], [4]. Простая двумерная плоская гребенчатая структура изображена на Рис. 8.9

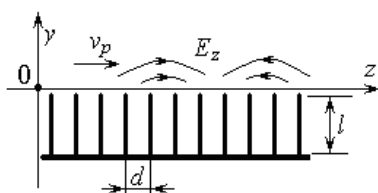


Рис. 8.9 Гребенчатая структура

Запишем поля волны E_{00} над поверхностью структуры ($y \geq 0$), учитывая соотношение $d \ll \pi l \ll \lambda/4$

$$H_x = H e^{-py - iz}; \quad E_y = -\frac{p^2}{\omega \epsilon} H e^{-py - iz}; \quad E_x = \frac{\gamma}{i\omega \epsilon} e^{-py - iz} \quad (8.6.13)$$

где: $\gamma = \sqrt{p^2 + k^2} = k / \sin kl$ - постоянная распространения волны вдоль оси z ; $p = ktgkl$ - постоянная затухания волны в направлении y .

Фазовая скорость равна

$$v_p = \frac{\omega}{\gamma} = c \cos kl; \quad (8.6.14)$$

Теперь запишем выражение для энергетической скорости

$$v_e = \frac{2c \cos kl}{1 + (\cos kl)^2}; \quad (v_e \leq v_p \leq c) \quad (8.6.15)$$

Мы видим, что скорость переноса энергии меньше фазовой скорости замедленной волны. Как говорилось выше, компонент E_z **не перемещается** вместе с волной. Это поле *осциллирует* в плоскости, перпендикулярной оси z . При больших замедлениях волны, когда $\cos kl$ весьма мал, групповая скорость оказывается практически вдвое меньше фазовой скорости волны. «Канавки» со своим полем E_z как бы препятствуют переносу энергии волной, задерживают перенос энергии.

Проблема переноса энергии ТЕМ модой в неограниченной однородной среде с дисперсией решается просто. Используя закон сохранения энергии Пойнтинга $\text{div} \mathbf{S} + \partial w / \partial t = 0$, мы можем показать, что скорость переноса энергии равна фазовой скорости волны и не зависит от дисперсии среды.

$$v_e(\omega) = \mathbf{S} / w = v_p(\omega) \quad (8.6.16)$$

Мода ТМ представляет особый интерес, поскольку она используется в приборах ЛБВ, ЛОВ и в ускорителях элементарных частиц. **Ссылка**

7. ТЕОРИЯ КЛИСТРОНА

Ошибка в теории. Клистрон это один из первых типов СВЧ приборов, рожденных около 100 лет назад. Казалось бы, что его теория достаточно изучена и не имеет ошибок. Опыт подсказывает, что даже на солнце есть темные пятна. Мы не будем здесь излагать всю теорию [4]. Нам важно показать на ошибку, к которой привыкли и не замечают.

Она возникла при выводе соотношений для первой гармоники конвекционного тока в клистроне (или отражательном, или пролетном). Сама теория в первом приближении не вызывает нареканий. В теории есть математическая ошибка, на которой мы остановимся. Рассмотрим двух резонаторный клистрон пролетного типа.

Сгруппированный ток в сгустке после первого резонатора можно найти, используя выражение [4]

$$i(t_2) = I_0 \sum_k \left. \frac{dt_1}{dt_2} \right|_k \quad (8.7.1)$$

где: I_0 – ток, t_1 – момент вылета электрона в пространство взаимодействия, t_2 – момент влета электрона в резонатор.

Паведенный ток в выходном зазоре второго резонатора определяется лишь числом прошедших через него электронов, а не порядком их следования. Поэтому под знаком суммы стоит модуль производной. Таким образом для тока $i(t_2)$ имеем

$$i(t_2) = \frac{I_0}{|1 - X \cos \omega t_1|} \quad (8.7.2)$$

где X – параметр группировки.

Поскольку пролетающий сквозь зазор второго резонатора ток является периодической функцией времени, его можно записать в виде ряда Фурье

$$i(t_2) = I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos n(\omega t_2 - \theta_0), \quad \text{где } A_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} i(t_2) \cos n(\omega t_2 - \theta_0) d\omega t_2$$

Величина A_n это амплитуда n -ой гармоники тока. Чтобы взять этот интеграл, сделаем замену переменных, выразив t_2 через t_1 . Для этой цели воспользуемся выражением [11] $\omega t_2 = \omega t_1 + \theta_0 - X_0 \sin \omega t_1$, из которого следует, что

$$d\omega t_2 = d\omega t_1 (1 - X \cos \omega t_1)$$

Проводя замену переменных и интегрируя, получим

$$A_n = \frac{I_0}{\pi} \int_0^{2\pi} \frac{1 - X \cos \omega t_1}{|1 - X \cos \omega t_1|} \cos n(\omega t_1 - X \sin \omega t_1) d\omega t_1 \quad (8.7.3)$$

Это правильное выражение. Однако в погоне за „красивым результатом“ специалисты „забыли“, что в знаменателе стоит модуль разности в выражении $1 - X \cos \omega t_1$. Эти величины у них благополучно «сократились», и специалисты получили «красивое», но ошибочное для $X > 1$ выражение (8.7.4).

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \cos n(\omega t_1 - X \sin \omega t_1) d\omega t_1 = 2I_0 J_n(nX) \quad (8.7.4)$$

Обратите внимание, что полученное соотношение связано с интегральным представлением функций Бесселя.

Вот мы выявили *некорректность*. Она касается выражения для коэффициентов A_n при значениях параметра группировки большего единицы $X > 1$. Забавным является то обстоятельство, что при $X > 1$ интеграл (8.7.3) расходится! Правильным является следующий результат:

$$A_n = 2I_0 J_n(nX) \quad \text{при } X < 1 \quad (8.7.4)$$

$$A_n = 2I_0 J_n(nX) - 2I_0 \int_{-\arccos 1/X}^{\arccos 1/X} \cos n(\omega t_1 - X \sin \omega t_1) d\omega t_1 \quad \text{при } X > 1 \quad (8.7.5)$$

Таким образом, существующий подход в объяснении справедлив только для малых параметров группировки X . В учебниках для значений X , превышающих 1, приведено неверное выражение для A_n .

Замечание. Такая же ошибка имеется в теориях ЛБВ и ЛОВ О-типа [4]. Мы ее здесь рассматривать и исправлять не будем.

К проверке закона Кулона. Возможно, здесь кроется возможность проверить закон Кулона для малых расстояний, когда группировка электронов (компрессия) достигает максимума (максимальная плотность при сближении электронов). Дело в том, что под действием ускоряющего напряжения в первом резонаторе электроны, влетая в пространство дрейфа, группируются в плотные сгустки (*компрессия*).

Плотность сжатия (компрессия) электронов зависит от параметра группировки X и других факторов. Измеряя амплитуду наведенного тока во втором резонаторе, можно определить степень компрессии и отклонения от закона Кулона на малых расстояниях.

ССЫЛКИ

1. В.А. Кулигин, М.В. Корнева, Г.А. Кулигина. Гносеологическая ошибка Эйнштейна и кинематические явления. Часть 1. Параметрическое преобразование Галилея. <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0016/001f/3614-kkk.pdf>
2. В.А. Кулигин, М.В. Корнева, Г.А. Кулигина. Гносеологическая ошибка Эйнштейна и кинематические явления. Часть 2. Преобразование Лоренца. <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0016/001f/3614-kkk.pdf>
3. Л.А. Вайнштейн, Электромагнитные волны, Сов. Радио, Москва, 1957.
4. В.Н. Шевчик. Основы электроники сверхвысоких частот. –М: Советское радио, 1959

Глава 9. Приборы магнетронного типа

1. Введение
2. Эквивалентная схема замещения резонаторной системы
3. Система уравнений и нормальные колебания без нагрузки
4. Нормальные колебания при наличии нагрузки
5. Восьми резонаторный магнетрон
6. Бриллюэновское состояние (замагниченная электронная плазма)
7. Магнетрон с двумя анодами
8. Энергообмен в приборах М типа

1. ВВЕДЕНИЕ

Электронный вакуумный прибор со скрещенными полями под названием «магнетрон» известен давно и, казалось бы, хорошо изучен экспериментально. Над его теорией работали такие видные ученые как Л.Бриллюэн, П.Капица (цикл «Электроника больших мощностей») и другие. Но теоретические проблемы так и не были решены до конца. Одной из причин является сложность математического описания, другой – отсутствие правильной *физической модели*. За период существования этого прибора было предложено несколько моделей магнетрона: одно- и многопоточные, статистические, параметрические и др. Однако до настоящего времени нет однозначного объяснения принципа его работы.

Наша научная деятельность начиналась с анализа и критики теории магнетронного генератора [1], [2]. К сожалению, в теории приборов М типа мало, что изменилось. Причина носит **гносеологический характер**. Опираясь на ошибочное определение понятий «сила» и «работа» исследователи так и не смогли понять принцип работы и создать модель для расчета этих приборов. Формулы, которые используются в настоящее время, не точны и имеют интуитивную основу.

Целью анализа является попытка показать основные ошибки в теории и дать последовательное изложение новой модели работы магнетрона. Сначала мы проанализируем особенности резонансной системы магнетронного генератора. Затем рассмотрим новый подход к описанию механизма образования отрицательного сопротивления, необходимого для возникновения генерации и усиления в приборах М типа.

2. ЭКВИВАЛЕНТНАЯ СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ РЕЗОНАНСНОЙ СИСТЕМЫ

Магнетрон является вакуумным диодом, помещенным в магнитное поле [3]. Силовые линии магнитного поля идут вдоль оси прибора, т.е. перпендикулярно плоскости чертежа (см. рис. 9.1). Анод магнетрона выполняется из толстой меди вакуумной плавки. В центре прибора расположен катод. Между анодом и катодом образуется *пространство взаимодействия* электронов с электромагнитными полями. В анодном блоке симметрично выполнены пустотелые цилиндрические резонаторы, связанные прорезями (щелями) с пространством взаимодействия. Резонаторы отделены друг от друга. Число их обычно выбирается четным.

Поверхность анодного блока между соседними резонаторами называется *ламелью*. Каждый из резонаторов можно заменить колебательным контуром, индуктивностью которого служит внутренняя поверхность резонатора, а емкость образуется параллельными плоскостями прорези (щели). Генерация магнетрона в рабочем режиме проходит на колебаниях π - вида, когда переменные поля в соседних резонаторах находятся в противофазе. Для улучшения работы магнетрона ламели через одну соединяются связками (проводниками). Связки имеют индуктивный характер. Между катодом и каждой из ламелей образуется конструктивная емкость

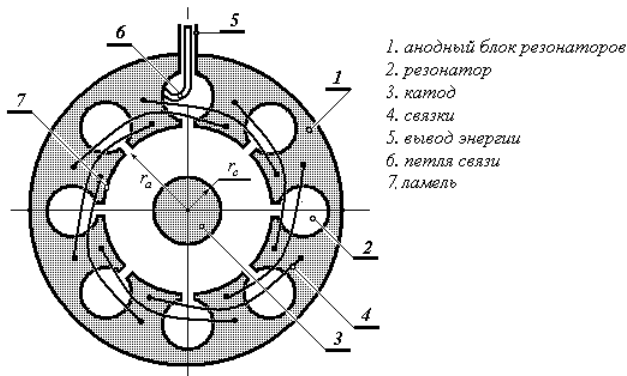


Рис. 9.1. Анодный блок магнетрона со связками.

Размеры внутренней полости резонатора (пространства взаимодействия) обычно значительно меньше длины волны, а скорости электронов значительно меньше скорости света. Это позволяет пренебречь запаздыванием и рассматривать магнетронный прибор с позиций квазистатической электродинамики. Как следствие, для анализа квазистатических уравнений мы можем применить хорошо разработанный математический аппарат теории нелинейных колебаний. Эквивалентная электрическая схема замещения магнетронного генератора (низкочастотный аналог) приведена на рис. 9.2.

3. СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ И НОРМАЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ БЕЗ НАГРУЗКИ

Опираясь на эквивалентную схему (рис.9.2) сначала методом узловых потенциалов составим систему уравнений без учета проводимости нагрузки. Для простоты анализа будем полагать, что взаимная индуктивность между резонаторами равна нулю. Потенциал катода будем считать равным нулю.

В общем случае для магнетрона с N резонаторами уравнение в матричной форме имеет вид

$$[\mathbf{Y}][\Phi] = [\mathbf{I}] \quad (9.3.1)$$

$$\text{где: } [\mathbf{Y}] = \begin{bmatrix} Y & -Y_0 & -Y_1 & 0 & \dots & -Y_1 & -Y_0 \\ -Y_0 & Y & -Y_0 & -Y_1 & \dots & 0 & -Y_1 \\ -Y_1 & -Y_0 & Y & -Y_0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -Y_0 & -Y_1 & 0 & 0 & \dots & -Y_0 & Y \end{bmatrix} \quad [\Phi] = \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \\ \dots \\ \varphi_N \end{bmatrix} \quad [\mathbf{I}] = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ \dots \\ I_N \end{bmatrix}$$

φ_k – потенциал k – го узла (ламели); I_k – ток, текущий от k – ой ламели к катоду;

$$Y = 2Y_0 + 2Y_1 + Y_2; k = 1, 2, \dots, N.$$

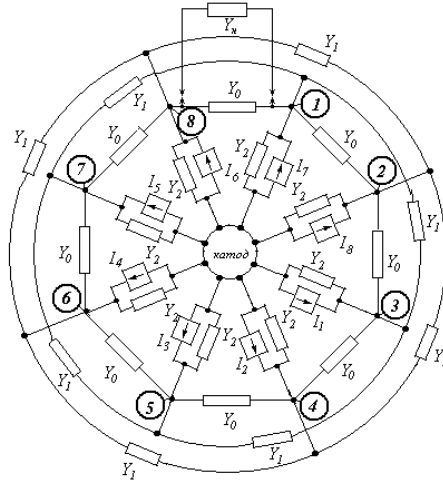


Рис 9. 2. Эквивалентная схема замещения.

Обозначения на схеме: $Y_0 = i\omega C_0 + 1/i\omega L_0 + G_0$ - проводимость резонатора, равная сумме емкостной проводимости, индуктивной проводимости и проводимости потерь в резонаторе; $Y_1 = 1/i\omega L_{св}$ - индуктивная проводимость связей; $Y_2 = i\omega C_{ак}$ - емкостная проводимость между ламелью и катодом; Y_n - проводимость нагрузки равная сумме активной проводимости и реактивной проводимости нагрузки; I_k - ток, обусловленный электронами, летящими от катода к ламели с номером k (узел схемы); цифры в кружках соответствуют номерам узлов схемы, т.е. номерам ламелей ($k = 1, 2, \dots, 8$)

Теперь можно систему уравнений привести к виду, удобному для анализа. Нетрудно видеть, что в силу геометрической и электрической симметрии схемы матрица $[Y]$ является не только симметричной, но и циклической. Цикличность матрицы определяется условием

$$Y_{[k; k+p]} = Y_{[s; s+p]} \quad (9.3.2)$$

Квадратные скобки при индексах в выражении (9.3.2) означают, что суммирование ведется по модулю N , т.е. $[k+N] = [k]$. В дальнейшем для упрощения записи мы будем эти скобки опускать, не забывая о том, что суммирование всегда ведется по модулю N .

Систему уравнений (9.3.1) можно привести к диагональному виду. Поскольку система является вырожденной, способов приведения ее к диагональному виду существует несколько. Мы выберем тот, который наиболее отвечает физической задаче.

Мы должны учесть то обстоятельство, что при подсоединении нагрузки вырождение снимается и матрица $[Y]$ перестает быть циклической. Однако определенная симметрия схемы (как геометрическая, так и электрическая) сохраняется. С подключенной нагрузкой схема будет обладать симметрией относительно плоскости $B - B$, как показано в правой части рис. 9.3.

В магнетроне, как видно из этого рисунка, колебания могут быть симметричными относительно плоскости $A - A$ (левая часть рис. 9.3) и симметричными относительно плоскости $B - B$ (правая часть рис. 9.3). В соответствии с этим мы можем колебания разделить на два вида: *симметричные колебания*, энергия которых не теряется в нагрузке, и *антисимметричные колебания*, которые отдают в нагрузку свою энергию.

Исходя из этих физических соображений, сделаем следующую замену переменных.

$$\varphi_k = \sqrt{\frac{N}{2}} \left[\sum_{s=1}^{N/2} \varepsilon_s U_s \cos \frac{\pi}{N} (2k-1)(s-1) + \sum_{s=1+N/2}^N \varepsilon_s U_s \sin \frac{\pi}{N} (2k-1)(s-1) \right] \quad (9.3.3.)$$

где: U_s – амплитуда нормального колебания с номером s ;

$$\varepsilon_s = \begin{cases} 1/\sqrt{2} & \text{при } s=1 \text{ или } s=1+N/2 \\ 1 & \text{при } s \neq 1 \text{ или } s \neq 1+N/2 \end{cases}$$

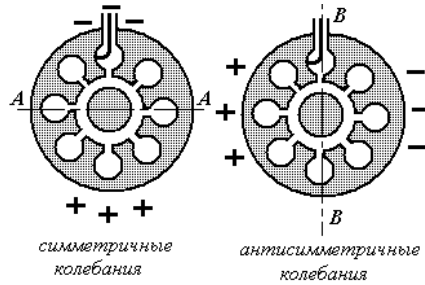


Рис. 9.3

В матричной форме преобразование имеет вид

$$[\varphi] = [\mathbf{T}][\mathbf{U}] \quad (9.3.4)$$

$$\text{где } [\mathbf{T}] = \sqrt{\frac{2}{N}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \cos \frac{\pi}{N} & \dots & \frac{1}{\sqrt{2}} & \sin \frac{\pi}{N} \left(\frac{N}{2}+1\right) & \dots \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \cos \frac{3\pi}{N} & \dots & \frac{1}{\sqrt{2}} & \sin \frac{3\pi}{N} \left(\frac{N}{2}+1\right) & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \cos \frac{(2N+1)\pi}{N} & \dots & \frac{1}{\sqrt{2}} & \sin \frac{(2N+1)\pi}{N} \left(\frac{N}{2}+1\right) & \dots \end{bmatrix}$$

Матрица $[\mathbf{T}]$ обладает следующим важным свойством $[\mathbf{T}]^T = [\mathbf{T}]^{-1}$, т.е. транспонированная матрица является одновременно и обратной матрицей. Подставим теперь выражение (9.3.3) в выражение (9.3.4) и умножим результат слева на матрицу $[\mathbf{T}]^{-1}$.

$$[\mathbf{T}]^{-1}[\mathbf{Y}][\mathbf{T}][\mathbf{U}] = [\mathbf{T}]^{-1}[\mathbf{I}] \quad \text{или}$$

$$[\tilde{\mathbf{Y}}][\mathbf{U}] = [\tilde{\mathbf{I}}] \quad (9.3.5)$$

$$\text{где: } [\tilde{\mathbf{Y}}] = [\mathbf{T}]^{-1}[\mathbf{Y}][\mathbf{T}]; \quad [\tilde{\mathbf{I}}] = [\mathbf{T}]^{-1}[\mathbf{I}]$$

Прямой проверкой можно убедиться, что новая матрица является диагональной, если матрица $[\mathbf{Y}]$ является циклической.

Действительно,

$$\tilde{Y}_{lm} = \sum_s \sum_k T_{ls}^{-1} Y_{sk} T_{km} \quad (9.3.6)$$

Заметим, что из цикличности Y_{sk} следует

$$Y_{sk} = Y_{s:k+p} = Y_{l:l+p} = Y_{1:1+p}$$

для любых s, k, l, p , если $k = s + p$ (суммирование индексов по модулю N).

Пользуясь тем, что $T_{sl}^{-1} = T_{ls}$, преобразуем соотношение (9.3.6)

$$Y_{lm} = \sum_s \sum_k Y_{sk} T_{sl} T_{km} = \sum_p \sum_s Y_{s,s+p} T_{sl} T_{s+p,m} = \sum_{p=0}^{N-1} Y_{1;p+1} \sum_{s=1}^N T_{s+p,m} T_{sl} \quad (9.3.7)$$

Нетрудно видеть, что для $l \neq m$ имеет место тождество $\sum_{s=1}^N T_{s+p,m} T_{sl} = 0$

Рассмотрим теперь случай, когда $l = m$.

Пусть $m < N/2$, тогда сумма S_{mp} будет равна

$$\begin{aligned} S_{mp} &= \sum_{s=1}^N T_{p+s,m} T_{sm} = \frac{2}{N} \sum_{s=1}^N \varepsilon_m^2 \cos \frac{\pi}{N} \{(m-1)[2(s+p)-1]\} \cos \frac{\pi}{N} \{(m-1)(2s-1)\} = \\ &= \frac{1}{N} \sum_{s=1}^N \varepsilon_m^2 \cos \frac{\pi}{N} [(m-1)2p] = \cos \frac{2\pi p(m-1)}{N} \quad \text{для} \quad m = 1, 2, 3, \dots, \frac{N}{2} \end{aligned} \quad (9.3.8)$$

Аналогично для $N/2 < m \leq N$ имеем

$$S_{mp} = \cos \frac{2\pi p(m-1)}{N} \quad \text{для} \quad m = \frac{N+1}{2}, \dots, N \quad (9.3.9)$$

Таким образом

$$\begin{aligned} \tilde{Y}_{mm} &= \sum_{p=0}^{N-1} Y_{1;1+p} \cos \frac{2\pi}{N} p(m-1) \\ \tilde{Y}_{mn} &= 0 \quad m \neq n \end{aligned}$$

Запишем правую часть

$$\tilde{I}_m = \sum_{s=0}^{N-1} I_s T_{ms}^{-1} = \sum_{s=0}^{N-1} I_s T_{sm} \quad (9.3.10)$$

Итак, система уравнений (9.3.1) при отсутствии нагрузки распадается на N независимых уравнений для нормальных колебаний с амплитудами U_1, U_2, \dots, U_N и с соответствующими частотами.

$$U_m [Y_{11} - 2 \sum_{p=0}^{N/2-1} Y_{1;1+p} \cos \frac{2\pi p(m-1)}{N}] = \tilde{I}_m \quad (9.3.11)$$

где $Y_{11} = Y = 2Y_0 + 2Y_1 + Y_2$; $Y_{12} = -Y_0$; $Y_{13} = -Y_1$; $Y_{14} = 0$ и так далее.

Мы привели систему уравнений к диагональному виду так, что получили независимые уравнения для нормальных колебаний двух видов.

1. **Симметричные колебания** $\varphi_k = \varphi_{N-k+1}$ ($k = 1, 2, \dots, N/2$). Симметричным колебаниям отвечают нормальные колебания U_s ($s = 1, 2, \dots, N/2$).

2. **Антисимметричные колебания** $\varphi_k = -\varphi_{N-k+1}$ ($k = 1 + N/2, \dots, N$). Им отвечают нормальные колебания с амплитудой U_s ($s = 1 + N/2, \dots, N$).

Очевидно, что симметричные колебания не будут вызывать токов в нагрузке Y_m , а нагрузка, в свою очередь, не будет влиять на эти колебания. Это не относится к антисимметричным колебаниям, влияние нагрузки на которые будет рассмотрено ниже. К сожалению, столь детальный анализ вы не встретите в литературе. Там обычно все упрощено.

4. НОРМАЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПРИ НАЛИЧИИ НАГРУЗКИ

Матрица проводимостей при наличии нагрузки $[Y_p]$ будет равна сумме матриц проводимости ненагруженного магнетрона $[Y]$ и матрицы проводимости нагрузки $[Y^p]$.

$$[\mathbf{Y}_p] = [\mathbf{Y}] + [\mathbf{Y}^n] \quad (9.3.1)$$

$$\text{где } [\mathbf{Y}^n] = \begin{bmatrix} Y^n & 0 & \dots & 0 & -Y^n \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -Y^n & 0 & \dots & 0 & Y^n \end{bmatrix}$$

Преобразуем матрицу проводимостей $[\mathbf{Y}_p]$ тем же способом, что и матрицу $[\mathbf{Y}]$ с помощью матрицы $[\mathbf{T}]$. В результате получим следующие уравнения для симметричных и антисимметричных колебаний.

1. **Симметричные колебания.** Они описываются теми же самыми уравнениями, которые были получены в предыдущем параграфе. Это очевидно, поскольку подключение нагрузки не влияет на эти колебания.

$$\tilde{Y}_{mm} U_m = \tilde{I}_m \quad \text{или} \quad U_m [Y_{11} - 2 \sum_{p=0}^{N/2-1} Y_{1,1+p} \cos \frac{2\pi p(m-1)}{N}] = \tilde{I}_m \quad (9.3.2)$$

где $m = 1, 2, \dots, N/2$

2. **Антисимметричные колебания.** Здесь картина другая. Благодаря включению нагрузки эти (ранее независимые) колебания оказываются связанными между собой через нагрузку магнетрона.

$$\tilde{Y}_{kk} U_k + \sum_{l=1+N/2}^N C_{kl} U_l = \tilde{I}_k \quad k = 1 + N/2, \dots, N \quad (9.3.3)$$

$$\text{где } C_{kl} = \sum_m \sum_s T_{km}^{-1} Y_{ms} T_{sl} = Y^n [T_{1k} T_{1l} + T_{Nk} T_{Nl} - T_{1k} T_{Nl} - T_{Nk} T_{1l}] = Y^n [T_{1k} - T_{Nk}] [T_{1l} - T_{Nl}]$$

Учитывая, что первая половина столбцов матрицы $[\mathbf{T}]$ симметрична, вторая антисимметрична, несложно найти, что

$$C_{kl} = 4Y^n T_{1k} T_{1l} = \frac{8}{N} Y^n \varepsilon_k \varepsilon_l \sin \frac{\pi(k-1)}{N} \sin \frac{\pi(l-1)}{N} \quad (9.3.4)$$

$$l, k = 1 + N/2, \dots, N$$

5. ВОСЬМИ РЕЗОНАТОРНЫЙ МАГНЕТРОН

Для иллюстрации полученных результатов рассмотрим магнетрон с восьмью резонаторами ($N = 8$). Вычислим коэффициенты матрицы C_{kl} , входящие в уравнение (9.3.3).

$$[\mathbf{C}] = \begin{bmatrix} 0,5Y^n & 0,4157Y^n & 0,4619Y^n & 0,6935Y^n \\ 0,4157Y^n & 0,6913Y^n & 0,7682Y^n & 0,8155Y^n \\ 0,4619Y^n & 0,7682Y^n & 0,8536Y^n & 0,9061Y^n \\ 0,6935Y^n & 0,8155Y^n & 0,9061Y^n & 0,9619Y^n \end{bmatrix}$$

Систему уравнений (9.3.3) можно привести к виду, удобному для представления эквивалентной схемы замещения для узловых потенциалов.

$$(\tilde{Y}_{kk} + \tilde{C}_{kk}) U_k + \sum_{l=1+N/2}^N C_{kl} (U_l - U_k) = \tilde{I}_k \quad (9.4.1)$$

$$\text{где } k = 1 + N/2, \dots, N; \quad \tilde{C}_{kk} = \sum_{l=1+N/2}^N C_{kl} \quad \text{или}$$

$$\tilde{C}_{55} = 1,8511Y^n; \quad \tilde{C}_{66} = 2,6907Y^n; \quad \tilde{C}_{77} = 2,9898Y^n; \quad \tilde{C}_{88} = 3,337Y^n$$

Эквивалентные схемы, соответствующие связанным колебаниям антисимметричных видов и нормальным колебаниям симметричных видов приведены на рис. 9.4.

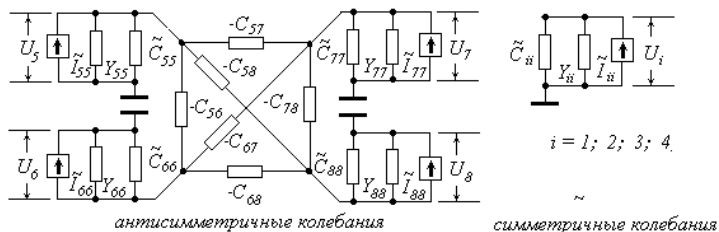


Рис. 9.4 Эквивалентная схема.

Основными колебаниями в магнетроне (рабочие колебания) являются колебания π -вида, когда фазы потенциалов двух соседних ламелей отличаются на 180° . Этим колебаниям соответствует номер $N/2 + 1$. Для $N = 8$ он соответствует 5.

Предположим, что в магнетроне существуют колебания π -вида, а остальные колебания являются вынужденными и их амплитуды малы. Разумно предположить для анализа, что все токи \tilde{I}_{kk} кроме тока \tilde{I}_{55} также равны нулю или пренебрежимо малы. Из-за наличия проводимости нагрузки резонансные системы, отвечающие за нормальные колебания антисимметричного вида, оказываются связанными между собой через какие-то проводимости, пропорциональные проводимости нагрузки. Для тока \tilde{I}_{55} нагрузкой будет теперь служить не одночастотный колебательный контур, задающий частоту колебаний π -вида, а сложная система из 4-х контуров. Добротность каждого из этих контуров будет зависеть от собственных потерь в резонаторах и потерь, вносимых нагрузкой.

То же самое будет иметь место для любого антисимметричного колебания. Примерный вид частотных характеристик сопротивлений для каждого из нормальных колебаний антисимметричного вида изображен на рис. 9.5. Заметим, что колебания различных частот каждого вида являются **конкурирующими**. Одно из возникших колебаний обязательно подавляет колебания на других частотах.

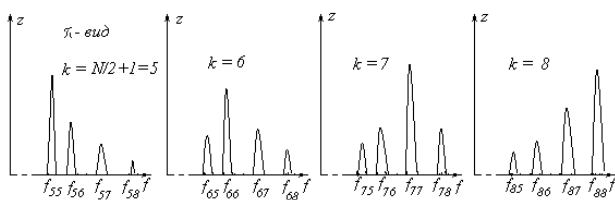


Рис. 9.5. Частотные характеристики видов антисимметричных колебаний

Обычно наилучшие условия (наибольшее сопротивление) возникают для основной частоты колебаний π -вида. Они возникают при более низких напряжениях на анодном блоке. Из рисунка видно, что колебания π -вида, вообще говоря, могут возникать **на любой** из четырех частот при наличии определенных условий. Именно это обстоятельство является причиной «перескоков частоты», когда колебания возникают на соседней частоте f_{56} вместо основной частоты f_{55} . Заметим, что при перескоке частоты π -вид колебаний сохраняется. В современной литературе дается некорректное объяснение явлению перескоков частоты.

Перескоки частоты связывают с *пространственными гармониками*, которые к этому явлению отношения не имеют.

Дадим пояснение *природе пространственных гармоник*. Граничные условия на поверхности резонатора имеют периодический характер. В силу этого, переменное электромагнитное поле можно представить в виде суммы неких пространственных гармоник (теорема Флоке). Согласно *современному* подходу считается, что электроны взаимодействуют только с одной из пространственных гармоник.

Ошибка (обусловленная глубоким *непониманием физики процесса*) в том, что в отличие от типов волн в волноводах, резонаторах и замедляющих структурах здесь мы не можем выделить отдельно пространственную гармонику и увеличить только ее амплитуду. Амплитуды пространственных гармоник взаимосвязаны настолько, что возрастание одной из них невозможно без точно такого же возрастания других.

В то же время, электрон взаимодействует с *суммарным полем*, не выделяя гармоник. Пространственные гармоники оказались «спасительной соломинкой» от конфуза, когда физические объяснения заходили в тупик из-за использования некорректных моделей (как в теории приборов типа O, так и M типа). Сколько *спекуляций* создано на их основе!

Однако пространственные гармоники могут быть полезными при описании *периодического изменения* конфигурации поля во времени, которое возникает по мере того, как волна проходит расстояние, равное периоду замедляющей структуры.

Отметим, что частоты собственных колебаний f_{ik} антисимметричного вида из-за влияния проводимости нагрузки, через которую осуществляется связь между резонансными системами, *будут отличаться* от частот соответствующих видов симметричных колебаний. В силу этого режим «бегущей волны» напряжения в магнетроне *невозможен*. В магнетроне устанавливается *стоячая* волна напряжения. Этому способствует также отражение бегущей волны от резонатора, к которому подключена нагрузка.

Для полноты анализа заметим, что если ток \tilde{I}_{55} аппроксимировать кубической параболой, как это обычно делается в теории нелинейных колебаний, то нагрузочные характеристики на круговой диаграмме (мощность, изменение частоты генерации и др.) качественно хорошо отвечают экспериментальным нагрузочным характеристикам магнетронов.

6. БРИЛЛЮЕНОВСКОЕ СОСТОЯНИЕ (ЗАМАГНИЧЕННАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ ПЛАЗМА)

Физические теории опираются на определенные модели. Можно точно описать модель математически и решить уравнения с большой точностью, но если модель не совсем отвечает объективной реальности, этим вычислениям нельзя доверять полностью. Именно по этой причине мы будем стараться объяснить физику явления, чтобы на ее основе определить правильную модель и описать механизм работы магнетрона. Учитывая, что пространственный заряд играет решающую роль, мы будем опираться на магнитогидродинамический подход.

Поскольку размеры пространства взаимодействия обычно много меньше длины волны в свободном пространстве, работа магнетронного генератора может иметь объяснение в рамках *квазистатических* представлений. Уравнение движения электрона в магнитном и электрическом полях и уравнения Максвелла для этого случая имеют стандартный вид.

$$m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = e(\mathbf{E}_0 + \mathbf{E} - \text{grad} \phi) + e[\mathbf{v} \times \mathbf{B}]; \quad \Delta \phi = -\frac{\rho}{\varepsilon}; \quad \text{div} \rho \mathbf{v} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}; \quad \text{div} \phi \mathbf{v} = -\frac{\partial \phi}{\partial t}$$

где: e – заряд электрона, m – масса электрона, \mathbf{v} – скорость движения пространственного заряда, \mathbf{E}_0 – постоянное электрическое поле между анодом и катодом магнетрона, \mathbf{E} – переменное электрическое поле в пространстве взаимодействия, \mathbf{B} – индукция магнитного поля, ϕ – потенциал поля пространственного заряда, образованного электронами, ρ – плотность пространственного заряда.

Электрон, летящий в скрещенных полях при отсутствии пространственного заряда и переменного поля, движется по циклоиде. Его движение можно представить как сумму поступательного движения и вращательного движения. Скорость поступательного движения равна $v_0 = E_0 / B$. Вращательное движение происходит вокруг некоторой оси, параллельной \mathbf{B} , с угловой скоростью $\omega_0 = \eta B$, где $\eta = e / m$.

В магнетронах всегда выполняется соотношение $\omega_0 \gg \omega$ (условие замагниченности электронной плазмы), где ω частота генерируемых колебаний. Чем лучше выполняется это условие, тем легче возникают колебания. В дальнейшем мы будем полагать, что электронная плазма сильно замагничена. В этом случае устанавливается *бриллюеновское* движение электронного потока. Оно интересно по многим причинам.

- Во-первых, плотность пространственного заряда или же концентрация электронов n в пучке постоянна и равна $n_0 = \frac{BH}{mc^2}$.
- Во вторых, величина n такова, что поле пространственного заряда является достаточно большим. Оно играет *принципиальную* роль, и его уже нельзя рассматривать как поправку первого приближения.
- В третьих, скорость электронов в пучке зависит от потенциала внешнего поля и поля пространственного заряда. Чем выше потенциал, тем больше скорость, как показано на рис. 9.6. Можно сказать, что заряды движутся вдоль линий постоянного потенциала (эквипотенциальные линии) результирующего поля. В этом движении они не совершают никакой работы.
- В четвертых, любой «посторонний» электрон, вылетевший из катода и влетающий в этот поток «усмирится» этим потоком. Если без потока его траектория имела бы циклоидальный характер, то внутри потока она «выпрямляется», т.е. поток работает как демпфирующее устройство (рис. 9.6).

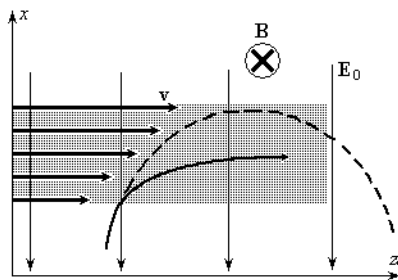


Рис. 9.6. Пунктирная кривая – циклоидальное движение заряда без электронного потока, непрерывная кривая – траектория, «сглаженная» потоком (выпрямление траектории).

Заметим также, что в адиабатическом приближении скорость перемещения центра, вокруг которого вращается электрон, совпадает с бриллюеновской скоростью $v = E / B$.

7. МАГНЕТРОН С ДВУМЯ АНОДАМИ

На примере двух анодного разрезного магнетрона мы покажем механизм образования отрицательного сопротивления, без которого невозможна генерация. Мы достаточно долго пытались опубликовать новый подход к теории приборов М-типа. Нам писали, что идея интересная и желали нам успехов, но работу отклоняли, ссылаясь на «Электронику больших мощностей» П. Капицы. [5]. К сожалению, С.Капица оказался сторонником общепринятой некорректной точки зрения. Ниже мы изложим новый подход (ему уже порядка 45 лет) к описанию механизма взаимодействия электронов с волной в скрещенных полях.

Рассмотрим режим ограничения тока катода, когда потенциалы обоих анодов одинаковы. В этом случае пространство между катодом и анодами заполняется электронами до тех пор, пока поле у поверхности катода не станет равным нулю. В этом случае электроны уже не вырываются из катода внешним электрическим полем (экранировка поля вблизи катода слоем электронного потока). Вокруг катода образуется многоскоростной электронный бриллиуеновский поток, как показано на рис. 9.7.

Этот поток имеет следующие характеристики:

1. Плотность пространственного заряда $\rho = e \frac{BH}{2mc^2} [1 + \frac{r_k^4}{r^4}] = e \frac{\varepsilon \omega_0 B}{2} [1 + \frac{r_k^4}{r^4}]$. Она максимальна у катода.
2. Угловая скорость слоев потока $\omega = \frac{\omega_0}{2} [1 - \frac{r_k^2}{r^2}]$. Вблизи катода она равна нулю.
3. Распределение потенциала внутри пространственного заряда $U = \frac{\omega_0^2 r^2}{8\eta} [1 - \frac{r_k^2}{r^2}]$.

При увеличении потенциала анода при его критическом значении $U_{кр}$ верхние слои потока начнут скользить по поверхности анодов ($r = r_a$). С этого момента возникает анодный ток. Исходя из изложенного,

мы можем записать уравнение «параболы критического режима» $U_{кр} = \frac{\omega_0^2 r^2}{8\eta} [1 - \frac{r_k^2}{r_a^2}]$.

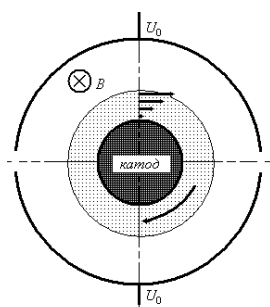


Рис. 9.7. Бриллиуеновский поток при ограничении тока катода пространственным зарядом. Напряжения на ламелях одинаковые.

Интересно отметить, что это выражение *совпадает* с выражением, которое получается для отдельного электрона, который движется по циклоиде, когда верхняя часть его траектории касается анода.

Теперь мы изменим потенциал анодов на небольшую величину в разные стороны и рассмотрим, как перераспределится поток. Будем считать, что катод «нейтрален», т.е. теперь он не излучает электроны (эмиссия с катода и вторичная эмиссия отсутствуют) и не поглощает их.

При измененном поле пространственный заряд начнет перераспределяться, и придет к некоторому стационарному состоянию. Мы не будем обсуждать вопрос о времени установления этого состояния. Удивительно быстро устанавливается этот процесс. Важно то, что поток против анода с большим потенциалом будет узким, и скорости электронов вблизи поверхности катода будут большими, как показано на рис. 9.8. Толщина слоя электронов уменьшится.

Против анода с меньшим потенциалом движение электронов замедляется, и они начинают здесь скапливаться (как показано на рис. 9.8). Образуется область, ограниченная индексами $adcb$. Электроны в этой области образуют круговое движение, не выходя из нее. Эпюра скоростей в диаметральном сечении приведена на рис. 9.8. В центре этой области создается отрицательный потенциал ниже потенциала катода. Замкнутая кривая $adcb$ очерчивает границы «фиктивного катода».

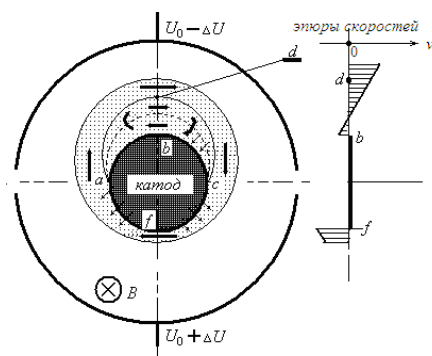


Рис. 9.8. Влияние изменения напряжения на ламелях на характер электронного потока.

Если бы мы рассмотрели *реальный* случай, то обнаружили бы следующее. Напряженность поля на поверхности катода afc положительна (направлена к катоду), и под ее воздействием катод будет постоянно эмитировать электроны. Эти электроны, двигаясь, начнут заполнять область против анода с меньшим потенциалом. На поверхности катода abc вектор напряженности поля изменит направление на обратное и будет направлен от катода. Здесь у поверхности катода электроны начнут двигаться в обратном направлении. На участке bc электроны имеют радиальную составляющую скорости, направленную к катоду и станут бомбардировать катод, вызывая вторичную эмиссию и нагрев катода.

Все изложенные факторы приводят к увеличению объема фиктивного катода. Расстояние между поверхностью фиктивного катода и анодом постепенно уменьшается и, наконец, достигает критической величины, при которой внешняя граница электронного потока начнет касаться анода с меньшим потенциалом, и в цепи этого анода потечет ток.

Поскольку нагрузка (колебательный контур) подключается между анодами, возникшая составляющая тока будет течь от анода с меньшим потенциалом, т.е. возникнет **отрицательное сопротивление**. Этот узкий поток электронов,двигающийся к аноду с меньшим потенциалом, называется «*электронной спицей*». Таков качественный механизм образования отрицательного сопротивления.

Теперь можно объяснить механизм образования спиц в магнетроне. Спицы не существуют постоянно. Они имеют пульсирующий характер и возникают против тех ламелей, потенциал которых меньше. По мере

уменьшения потенциала ламели (ниже U_0) против нее электроны испытывают торможение. Как следствие, возникает и начинает увеличиваться область фиктивного катода. Она пополняется как за счет электронной эмиссии областей катода против ламелей с большим потенциалом, так и за счет вторичной эмиссии, как было показано ранее.

Когда напряжение ламели начнет возрастать, фиктивный катод уменьшается, и одновременно уменьшается ток ламели. При определенном значении переменного напряжения ток прекращается и спица начинает «размываться». В следующий полупериод она начнет возникать против соседней ламели, напряжение которой начнет падать.

Этот механизм прекрасно иллюстрируется численными расчетами, проведенными более чем 60 лет тому назад [6]. Эти достаточно громоздкие для того времени расчеты проводились для большого числа электронов методом последовательных приближений для минимального во времени напряжения ламели. Рассчитывались траектории *без учета пространственного заряда*, по траекториям определялась плотность пространственного заряда, затем вычислялось поле пространственного заряда и т.д.

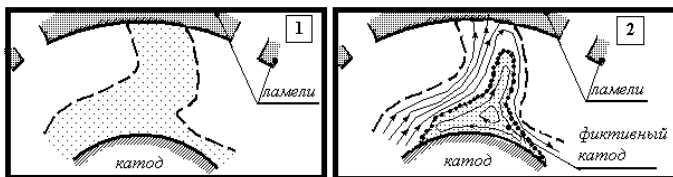


Рис. 9.9. Электронная спица. 1 – результаты численного расчета; 2 – интерпретация этого расчета (показан фиктивный катод и направление движения электронов при бриллоеновском движении).

На рис. 9.9 (под номером 1) представлена расчетная форма спицы [6]. Электронный поток движется к ламели с меньшим суммарным потенциалом. На том же рисунке (под номером 2) дана интерпретация этого расчетного результата. Показан примерный вид траекторий и обозначена область фиктивного катода (предполагается, что поток электронов имеет бриллоеновскую структуру).

8. ЗНЕОГООБМЕН В ПРИБОРАХ М-ТИПА

Пространственный заряд и его поле играют принципиальную роль в работе приборов магнетронного типа. Дело в том, что (по нашим оценочным расчетам) состояние потока с бриллоеновским распределением устанавливается достаточно быстро по отношению к периоду генерируемых колебаний при условии, что иклотронная частота $\omega_0 = \eta V$ много больше частоты генерации. Игнорирование пространственного заряда или учет поля пространственного заряда в качестве *малой поправки* ведут к неверному объяснению явлений и неправильному описанию энергетического обмена в приборе.

Обратимся к современной учебной литературе. Можно цитировать любой учебник, поскольку суть объяснений физических процессов описывается в них примерно одинаково. Возьмем, к примеру, монографию [3]. Там на стр. 75 приводится рисунок (Ш.5. б)), который мы воспроизводим ниже (см. рис. 9.10).

Как мы установили, группировка электронов в спицу возникает там, где имеется минимум электрического поля. На приведенном рисунке электроны в системе координат, связанной с волной, движутся *перпендикулярно силовым линиям электрического поля* электромагнитной волны. Этот

результат, полученный в пренебрежении пространственным зарядом, характерен для описания всех приборов со скрещенными полями. И хотя автор [1] утверждает, что:

«Учет пространственного заряда несколько усложняет картину, однако в принципе она остается такой же»...

- это заключение ошибочно. Конечно, учет пространственного заряда сложен, но он необходим, поскольку пространственный заряд играет **принципиальную роль** в формировании спиц в электронном потоке любого прибора типа М.

Объяснение по существу доведено до абсурда. Обратимся к Рис. 9.10. На рисунке электроны совершают работу, двигаясь перпендикулярно электрическому полю, т.е. вдоль линии равных потенциалов! В этом случае произведение $A = \mathbf{jE} = 0$. Иными словами, никакой полезной работы электрон принципиально совершить не в состоянии! Это обстоятельство определяет ответ на вопрос: правильная ли модель взаимодействия используется для расчетов?

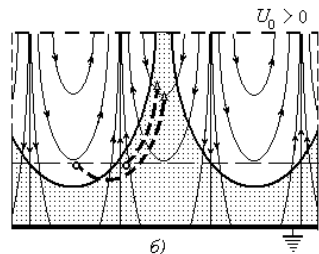


Рис. 9.10. Форма пучка, приобретаемая в процессе группировки электронов: б) нелинейный режим (большие возмущения). Пунктиром показаны траектории отдельных электронов.

Приведем часть еще одного рисунка (см. рис. 9.11) из [1] (рис. IX. 14). На нем рассматривается случай **синхронизма** между движением спицы и электромагнитного поля в магнетроне. И здесь пренебрежение пространственным зарядом и использование некорректной модели приводят к «сдвигу спицы» (к ее отставанию от поля на четверть длины волны). Благодаря этому сдвигу получается, что, как и ранее, электроны перемещаются **перпендикулярно** силовым линиям этого поля.

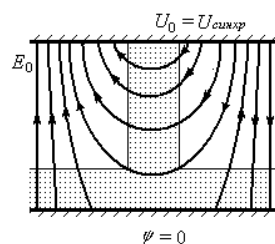


Рис. 9.11. Взаимное расположение максимума тормозящего поля и спицы в движущейся с волной системе отчета.

Повторяем. Объемная плотность работы согласно электродинамике и механике равна скалярному произведению $A = \mathbf{jE}$, где \mathbf{j} есть плотность тока, а \mathbf{E} напряженность электрического поля волны, с которой заряд взаимодействует. Если угол между ними 90° , то работа всегда равна нулю. Неужели специалисты, защитившие кандидатские и докторские диссертации по этой теме, так и «не увидели» абсурда в объяснении

механизма работы приборов М-типа. Например, в теории ламп бегущей или обратной волны работа по взаимодействию заряда с замедленной электромагнитной волной вычисляется по следующей формуле

$$A = e(\mathbf{v}_e - \mathbf{v}_\phi)\mathbf{E} = e(v_e - v_\phi)E_v$$

где: e – заряд электрона; \mathbf{v}_e – скорость электрона; \mathbf{v}_ϕ – фазовая скорость электромагнитной волны; \mathbf{E} – вектор напряженности поля; E_v – проекция вектора напряженности на вектор скорости *относительного* движения заряда и волны.

Это верно, поскольку, если заряд не перемещается относительно волны или перемещается *перпендикулярно* ее силовым линиям, он не может отдавать или забирать от волны энергию. Здесь «работает» в полную силу принцип относительности.

Когда рассматриваются энергетические соотношения в приборах типа М, в частности в магнетронах, об этой относительности «забывают». Здесь мы сталкиваемся со следующей проблемой $A = \mathbf{jE} = jE \cos \theta = 0$, поскольку электрон движется всегда *перпендикулярно* силовым линиям поля электромагнитной волны (вдоль их линий равного потенциала). Угол θ между векторами \mathbf{j} и \mathbf{E} равен 90° . Каким образом электроны в этих приборах совершают работу? С не меньшим основанием эту критику можно отнести к теории ускорителей элементарных частиц (пресловутый g - фактор). Однако эта тема будущей книги.

Все объяснения со ссылками на магнитное поле и специфику движения зарядов являются *необоснованными*. Природа не терпит субъективных исключений. Работа должна вычисляться единообразно для всех электромагнитных явлений безо всяких исключений. Используемые сейчас в теории приборов типа М вычисления свидетельствуют о непонимании сути физических процессов. Придумывать для приборов М типа «специальную физику», мягко говоря, излишество.

Как мы видим, «парадоксы» существуют не только в Специальной теории относительности. Они, благодаря ошибке Максвелла возникают в вакуумной электронике. Рассмотрим теперь математическую сторону вопроса и приведем формулы из [3]. Формулы приведены для приборов М типа *с ленточными пучками*, но суть вычислений неизменна для всех приборов М типа. Мы сохраним оригинальную нумерацию формул из [3].

1. Мощность взаимодействия тока на единицу длины электронного пучка (формула IV.1)

$$\frac{dP_e}{dz} = \frac{1}{2} \int_S (\mathbf{jE}^*) dS. \text{ Здесь записано правильное выражение для вычисления мощности, если в}$$

подынтегральном выражении стоят *переменные* составляющие плотности тока и напряженности поля.

2. Далее приводится следующее выражение

$$\frac{dP_e}{dz} = \frac{1}{2} \int_S (i_0 \tilde{E}_y^* + \rho_0 v_z \tilde{E}_y^* + \rho_0 v_x \tilde{E}_x^*) dS,$$

из которого после пренебрежения некоторыми членами вытекает:

$$\frac{dP_e}{dz} = \frac{1}{2} \int_S i_0 \tilde{E}_z dS \quad (\text{формула IV. 3}).$$

Итак, мы обнаружили фальсификацию, т.е. подгонку под «нужный результат». В приведенную формулу входит не *переменная* составляющая тока, а *постоянная* составляющая, которая к процессу обмена энергией отношения не имеет! Формула не корректна. Заметим также, что в выражение входит *абсолютная* скорость движения электронов, а не скорость *движения* зарядов *относительно* волны, как это

делается в теории ЛБВ и ЛОВ типа О. Если мы, пользуясь этой методикой, подсчитаем мощность на единицу длины в системе отсчета, связанной с волной, то получим *нуль*.

Мы не будем проводить количественных оценок реального энергетического обмена между волной и потоком электронов. Эта тема связана с громоздкими выкладками, и ее следует излагать отдельно. Приведем лишь качественное объяснение механизма взаимодействия электронного потока и волны.

Рассмотрим приборы с бегущей волной и электронными потоками ленточного типа. При движении электронного потока в магнитном поле на поток будет действовать переменное электромагнитное поле. В современной теории представление о взаимодействии иллюстрируется рис. 9.12 (рис. VI. 16).

В системе отсчета, связанной с волной, в режиме синхронизма фазовая скорость волны и средняя скорость электронов пучка одинаковы. Электроны движутся *перпендикулярно* силовым линиям электрического и магнитного полей (вдоль линий постоянного потенциала) и «*ухитряются*» совершать работу. В ошибочности такого «вычисления» мы убедились.

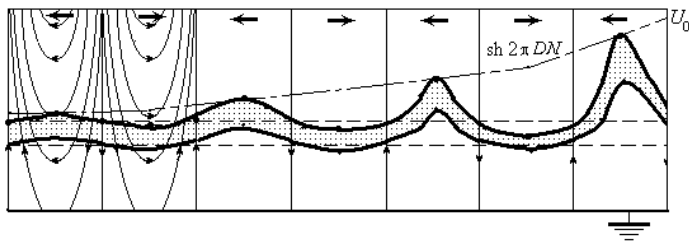


Рис. 9.12. Примерная форма электронного пучка, приобретаемая в процессе взаимодействия в ЛБВ типа М.

Если подходить к проблеме формирования сгустков с учетом пространственного заряда, то картина резко меняется. Сильно замагниченную электронную плазму можно рассматривать как слабо сжимаемую жидкость, не имеющую вязкости с концентрацией частиц в пределах $EH / mc^2 > n > EH / 2mc^2$.

К этой жидкости можно применять законы магнитной гидродинамики. С этой точки зрения деформация пучка при его взаимодействии с полем бегущей волны выглядит иначе, т.е. так, как показано на рис. 9.13. Тонкими стрелками показано направление движения электронов потока в поле волны.

Прежде всего, заметим, что при «синхронизме», т.е. при равенстве фазовой скорости волны и средней скорости электронов, эффективного взаимодействия (так же, как и в приборах типа О) не получается. Средняя скорость электронов v_e должна *немного превышать* скорость волны v_{ph} .

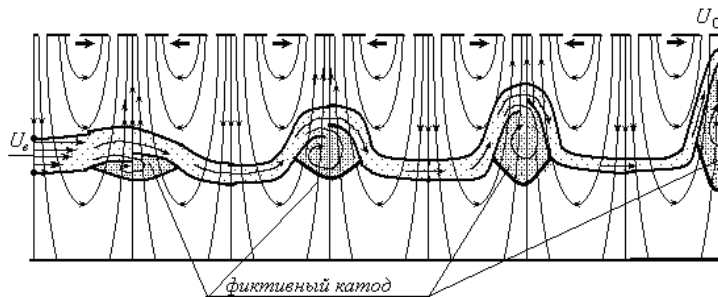


Рис. 9.13. Изменение формы пучка при взаимодействии с волной.

В тормозящей фазе поля (как и в магнетроне) образуется «сгусток» - небольшой **фиктивный** катод. Нижняя граница электронного потока будет тоже понемногу опускаться вниз. При этом она может достигнуть электрода с нулевым потенциалом и «бомбардировать» его. Этот эффект наблюдается экспериментально. Для уменьшения вторичной эмиссии этого электрода в нем делают специальные продольные канавки.

Фиктивный катод движется вместе с электромагнитной волной *синхронно*, находясь всегда в тормозящей фазе волны. По мере движения его объем увеличивается за счет постоянного притока электронов. Это показано на Рис. 9.13.

С точки зрения энергетического обмена здесь нет никаких проблем. Электронный поток «подпирается» увеличивающимся фиктивным катодом и, двигаясь **вдоль** силовых линий поля волны, достигает поверхности замедляющей структуры. Одновременно он **забирает** энергию источника постоянного напряжения U_0 , подаваемого на замедляющую структуру, и **отдает ее** электромагнитной волне.

Оценки показывают, что предельно возможный электронный коэффициент полезного действия (*кпд*), который можно достичь, определяется формулой: $кпд = (1 - U_e / U_0)$, где U_e – потенциал, отвечающий за среднюю скорость электронов пучка, влетающих в пространство взаимодействия; U_0 – потенциал замедляющей структуры. В настоящее время обычный *кпд* приборов этого типа колеблется в пределах 60 процентов. Таким образом, потенциальные возможности приборов М типа пока не исчерпаны, и электронный *кпд* в них может достигать величин порядка 80 процентов и выше.

В теории СВЧ приборов М типа (как и в теории приборов О типа) просматривается **слабое понимание** физики процессов. Этот вывод можно распространить и на некоторые другие области электроники и электродинамики. Безусловно, уже сейчас необходимо вносить соответствующие коррективы в учебники и учебные пособия по курсу «**Вакуумная и твердотельная электроника СВЧ**» и, соответственно, в практику конструирования СВЧ приборов и ускорителей элементарных частиц.

ССЫЛКИ:

1. В.А. Кулигин, Г.А. Кулигина., М.В. Корнева. Кризис релятивистских теорий, (Часть 6). НиТ, 2001. <http://www.n-t.ru/tp/ns/krt.htm>
2. В.А. Кулигин, Г.А. Кулигина., М.В. Корнева. Ревизия теоретических основ релятивистской электродинамики. НиТ, 2005. <http://www.n-t.ru/tp/ns/rt.htm>
3. В.С. Стальмахов. Основы электроники сверхвысокочастотных приборов со скрещенными полями. – М: «Советское Радио». 1963.
4. В.А. Кулигин. Гимн математике или авгиевы конюшни теоретической физики <http://www.sciteclibrary.ru/texts/rus/stat/st6224.pdf>
5. П.Л. Капица. Электроника больших мощностей. Изд. АН СССР, 1962.
6. Магнетроны сантиметрового диапазона. Пер. с англ. под ред. С.А. Зусмановского. Т. I-II, – М: «Советское Радио». 1950.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наука развивается неравномерно. Бывают годы удивительного прогресса, бывают столетия застоя. Кризис физики конца 19 - начала 20 веком начался гораздо раньше. Сейчас у физиков сформировалось негативное отношение к философии. Оно было спровоцировано О. Конттом, создавшим философию позитивизма⁶. Ф. Энгельс пророчески писал, что (материалистическая) «*философия подобна капризной даме; она мстит естествознанию задним числом за то, что последнее покинуло ее*». Философия определяет кругозор исследователя и, следовательно, стратегию его поисков. Если стратегия неудачна, ждать успехов трудно. Мы учли это обстоятельство, поэтому избежали многих ошибок и пришли к удовлетворительным результатам.

Подведем итоги.

В Главе 1 мы изложили историю создания электродинамики Максвелла и дали анализ той мировоззренческой борьбы, которая развернулась в обществе в тот период. Неумение использовать диалектику при разрешении проблемных вопросов привело к отрицанию мгновенного действия на расстоянии и отвело классическим теориям роль «неполноценных». Это была фатальная.

В Главе 2 был проведен анализ, опирающийся на механику сплошных сред от экспериментов Фарадея к уравнениям Максвелла. Это позволило связать вывод уравнений Максвелла единой логикой. Мы показали, что Максвелл допустил гениальную ошибку. Он ошибочно объединил фарадеевское и кулоновское поля, имеющие разную природу. С одной стороны он нарушил законы механики сплошных сред. В результате все поля стали считаться запаздывающими, а классические теории «устаревшими». С другой стороны результаты ошибки счастливо совпали с экспериментами Герца. Волновая электродинамика получила большой импульс для развития. Она послужила основой для радиотехники и радиолокации.

В Главе 3 проведенный анализ показал, что решения уравнений Максвелла имеют две **независимые** ветви. Первая ветвь это волновая электродинамика с запаздывающими волновыми полями. Вторая ветвь это квазистатическая электродинамика. Обе ветви имеют свои законы сохранения (закон Пойнтинга и релятивистский закон Умова). Было обнаружено, что заряды непосредственно не могут взаимодействовать с волнами (поглощать или излучать волны). Необходим «посредник». Им оказались виртуальные заряды и токи, не имеющие инерции, которые непосредственно вытекают из уравнений Максвелла. Эксперименты подтвердили существование таких зарядов и токов. Именно благодаря виртуальным зарядам граничные условия выполняются практически мгновенно. Они обуславливают новый вид проводимости в металлах.

Глава 4 посвящена проблеме электромагнитной массы. Оказалось, что эта проблема имеет решение только в рамках мгновенного действия на расстоянии. В рамках нерелятивистских представлений доказан закон Умова и закон Ленца. Оказалось, что электромагнитная масса обладает всеми свойствами обычной массы в классической механике. Анализ и эксперименты показали, что в рамках электродинамики Максвелла ускоренный электрон не излучает.

⁶ В.А. Кулигин, М.В. Корнева, Г.А. Кулигина. Позитивизм это яд для науки. Акад. Тринитаризма. 2020.
<http://www.trinitas.ru/rus/doc/0001/005d/00012407.htm>

В Главе 5 строго выводится классическая функция Лагранжа для двух электронов. Она инвариантна относительно преобразования Галилея. Этого оказалось достаточно, чтобы теория взаимодействия зарядов и токов полностью без противоречий уложилась в рамки классической механики с ее уравнениями движения и всеми законами сохранения. Рассмотрены примеры ошибочных интерпретаций, встречающихся в учебниках. Обсуждается

Глава 6 специально посвящена объяснению «магнитных» парадоксов, описанных в статьях и монографиях. Изложена теория работы мотора Маринова, униполярной индукции, эксперимента Траутона и Нобля и др. явлений.

В Главе 7 развивается идея великого ученого Дж.Дж. Томсона об электромагнитной природе вещества. Показано, что в начале 19 века геометры допустили ошибку. Оказалось, что кривизна не является абсолютным понятием. Любое криволинейное пространство не может существовать самостоятельно. Оно должно быть «вписано» в Евклидово пространство той же или более высокой размерности. Попутно была решена проблема 5 постулата Евклида. Было показано, что имеет место не «принцип эквивалентности» масс, а принцип их пропорциональности. Была сравнительно просто построена теория тяготения, как квадратичный эффект квазистатической электродинамики.

Глава 8 посвящена вопросу взаимодействия волны и заряда. Обсуждаются возможные свойства виртуальных частиц, опыт Майкельсона-Морли. Показано, что эксперимент проведен некорректно. Предлагается способ измерения зависимости скорости света от скорости источника излучения. Обсуждается вопрос об скорости переноса энергии ТЕ и ТМ волнами. Показано, что групповая скорость не связана с переносом энергии.

Глава 9 полностью посвящена теории приборов магнетронного типа. Пересмотрен механизм взаимодействия электронного потока с полями в пространстве взаимодействия. Современное объяснение принципа работы этих приборов противоречит основам теории электричества. Показано, что главную роль при взаимодействии играют бриллиановские потоки «замагниченной» электронной плазмы.

Итак, мы реабилитировали мгновенное действие на расстоянии и классические теории, решили ряд «застарелых» проблем и объяснили многие парадоксы квазистатической электродинамики.