

И. Мисюченко



Последняя тайна

Бога

(электрический эфир)

**Санкт-Петербург
2009 г.**

Аннотация

Книга адресована читателям, интересующимся наиболее острыми проблемами современного естествознания, и в частности физики. Совершенно неожиданным, подчас даже шокирующим образом освещаются такие проблемы, как инерция и инерционная масса тел, тяготение и гравитационная масса, полевая материя, электромагнетизм и свойства физического вакуума. Затронуты некоторые аспекты специальной и общей теорий относительности, строение элементарных частиц и атомов.

Книга разбита на 12 глав, охватывающих основные разделы современной физики: механическое движение, электрическое поле и электричество, магнитное поле и магнетизм, электромагнитная индукция и самоиндукция, инерция как проявление электромагнитной индукции, электрические свойства мировой среды, гравитация как электрическое явление, электромагнитная волна, элементарные заряды, неэлементарные частицы и ядра, строение атома, некоторые вопросы радиотехники.

Изложение рассчитано в основном на базовые знания школьного курса 10 - 11-го классов общеобразовательных школ. Встречающийся иногда более сложный материал рассчитан на уровень подготовки студентов первых-вторых курсов технических вузов.

Книга будет полезна для учёных-исследователей, изобретателей, преподавателей, студентов и всех, кому интересно последовательно разобраться в современных и классических парадоксах и проблемах сегодняшней физической науки и, возможно, заглянуть в науку дня завтрашнего.

Благодарности

Автор выражает благодарность. Не благодарность кому-то конкретному, а благодарность вообще. Благодарность этому чудесному и таинственному миру, в котором мы все так ненадолго. Благодарность Богу, если угодно, который не слишком глубоко спрятал от человеческого разума свои тайны.

Конечно, работа эта появилась ещё и благодаря многим другим *людям*. Кроме автора. Они задавали вопросы, они вычитывали убопомрачительно косноязычные рукописи, они терпели это тихое помешательство годами, давали спасительные советы и доставали нужные книги. Проверяли расчеты и критиковали за допущенные глупости. И даже те, кто отговаривали от этой деятельности, тоже, на поверку, очень и очень помогли. Огромное спасибо В. Ю. Ганкину, низкий поклон А. А. Солунину, А. М. Черногубовскому, А. В. Смирнову, А. В. Пуляеву, М. В. Иванову, Э. К. Меринову. И, конечно же, безграничная благодарность моей жене, О. Д. Куприяновой за нечеловеческое долготерпение и неоценимую помощь в подготовке рукописи.

Об авторе

Автор книги, Мисюченко Игорис, родился в 1965 г. в г. Вильнюсе. Окончил среднюю школу с физико-математическим уклоном. Работал в Вильнюсском НИИ радиоизмерительных приборов. Окончил в 1992 г. Радиофизический факультет Санкт-Петербургского государственного технического университета. Является по образованию инженером-оптиком-исследователем. Увлекался прикладной математикой и программированием. Сотрудничал с Физико-техническим институтом имени Иоффе в области автоматизации физического эксперимента. Разрабатывал автоматические системы пожарной и охранной сигнализации, создавал системы цифровой голосовой интернет-связи. Более 10 лет работал в НИИ Арктики и Антарктики в Санкт-Петербурге в отделе физики льда и океана, лаборатории акустики и оптики. Занимался разработкой измерительной и исследовательской техники. Несколько лет сотрудничал с Камчатским гидрофизическим институтом, разрабатывал программное и аппаратное обеспечение гидроакустических комплексов. Разрабатывал также аппаратуру и программное обеспечение радиолокационных станций. Создавал медицинские устройства на базе микропроцессорной техники. Изучал теорию решения изобретательских задач (ТРИЗ), сотрудничал с Международной Ассоциацией ТРИЗ. Последние годы работает как изобретатель в широком спектре предметных областей. Имеет множество публикаций, патентных заявок и выданных патентов в различных странах.

Как физик-теоретик ранее не публиковался.

Оглавление

- Аннотация
- Благодарности
- Об авторе
- Оглавление
- Предисловие
- Введение
 - В.1 Методологические основания и классическая физика. Как мы это делаем
 - В.2 Метафизические основания. Во что нам приходится верить
- Глава 1. Механическое движение и *пленум*
 - 1.1 Основы механики Ньютона и движение. Тело. Сила. Масса. Энергия
 - 1.2 Применение механики к понятию поля. Тонкое тело механики
 - 1.3 Механическое движение поля. Два сорта движений
 - 1.4 Механические движения зарядов и магнитов. Ускоренное движение зарядов
 - 1.5 Вечное падение пустоты. Мироздание, гравитация и движение
 - 1.6 Эффекты специальной теории относительности и их объяснение
 - 1.7 Эффекты общей теории относительности и их объяснение
- Глава 2. Электрическое поле и электричество
 - 2.1 Понятие об электрическом поле. Неуничтожимость полевой материи
 - 2.2 Электрические заряды и поле. Неосознаваемая тавтология
 - 2.3 Движение зарядов и движение полей. Электрические токи
 - 2.4 Диэлектрики и их основные свойства. Лучший в мире диэлектрик
 - 2.5 Проводники и их свойства. Самый маленький проводник
 - 2.6 Простые и удивительные опыты с электричеством
- Глава 3. Магнитное поле и магнетизм
 - 3.1 Магнитное поле как результат движения электрического поля
 - 3.2 Относительность и абсолютность движений
 - 3.3 Магнитные свойства токов
 - 3.4 Магнитные свойства вещества. Самое немагнитное вещество. Смысл μ_0
 - 3.5 Парадоксы магнитного поля (*шнурование пучка и абсолютное движение*)
- Глава 4. Электромагнитная индукция и самоиндукция
 - 4.1 Закон электромагнитной индукции Фарадея и его мистичность
 - 4.2 Индуктивность и самоиндукция.
 - 4.3 Явление индукции и самоиндукции прямолинейного отрезка провода.
 - 4.4 Демистификация закона электромагнитной индукции Фарадея
 - 4.5 Частный случай взаимной индукции прямого бесконечного провода и рамки
 - 4.6 Простые и удивительные опыты с индукцией
- Глава 5. Инерция как проявление электромагнитной индукции. Масса тел
 - 5.1 Основные понятия и категории
 - 5.2 Модель элементарного заряда
 - 5.3 Индуктивность и ёмкость элементарного заряда
 - 5.4 Вывод выражения для массы электрона из энергетических соображений
 - 5.5 ЭДС самоиндукции переменного конвекционного тока и инерционная масса
 - 5.6 Незримый участник или возрождение принципа Маха
 - 5.7 Ещё одно сокращение сущностей
 - 5.8 Энергия заряженного конденсатора, «электростатическая» масса и $E = mc^2$
 - 5.9 Электромагнитная масса в классической электродинамике А. Зоммерфельда и Р. Фейнмана
 - 5.10 Собственная индуктивность электрона как кинетическая индуктивность
 - 5.11 О массе протона и ещё раз об инерции мышления

- 5.12 А проводник ли?
- 5.13 Насколько важна форма?
- 5.14 Взаимо- и самоиндукция частиц как основа всякой взаимо- и самоиндукции вообще
- Глава 6. Электрические свойства мировой среды
 - 6.1 Краткая история пустоты
 - 6.2 Мировая среда и психологическая инерция
 - 6.3 Твёрдо установленные свойства вакуума
 - 6.4 Возможные свойства вакуума. Места для закрытий
- Глава 7. Гравитация как электрическое явление
 - 7.1 Введение в проблему
 - 7.2 Падение тела бесконечно малой массы на источник тяготения
 - 7.3 Взаимодействие сферического заряда с ускоренно падающим эфиром
 - 7.4 Механизм ускоренного движения эфира вблизи зарядов и масс
 - 7.5 Некоторые численные соотношения
 - 7.6 Вывод принципа эквивалентности и закона тяготения Ньютона
 - 7.7 Какое отношение изложенная теория имеет к ОТО
- Глава 8. Электромагнитные волны
 - 8.1 Колебания и волны. Резонанс. Общие сведения
 - 8.2 Структура и основные свойства электромагнитной волны
 - 8.3 Парадоксы электромагнитной волны
 - 8.4 Летящие заборы и седые профессора
 - 8.5 Итак, это не волна... А волна-то где?
 - 8.6 Излучение *неволн*.
- Глава 9. Элементарные заряды. Электрон и протон
 - 9.1 Электромагнитная масса и заряд. Вопрос о сущности заряда
 - 9.2 Странные токи и странные волны. Плоский электрон
 - 9.3 Закон Кулона как следствие закона индукции Фарадея
 - 9.4 Почему все элементарные заряды равны по величине?
 - 9.5 Мягкий и вязкий. Излучение при ускорении
 - 9.6 Число «пи» или свойства электрона, о которых забыли подумать
 - 9.7 «Релятивистская» масса электрона и других заряженных частиц. Объяснение опытов Кауфмана из природы зарядов
- Глава 10. Неэлементарные частицы. Нейтрон. Дефект масс
 - 10.1 Взаимоиндукция элементарных зарядов и дефект масс
 - 10.2 Античастицы
 - 10.3 Простейшая модель нейтрона
 - 10.4 Загадка ядерных сил
- Глава 11. Атом водорода и строение вещества
 - 11.1 Простейшая модель атома водорода. Всё ли изучено?
 - 11.2 Постулаты Бора, квантовая механика и здравый смысл
 - 11.3 Индукционная поправка к энергии связи
 - 11.4 Альфа и странные совпадения
 - 11.5 Загадочный гидрид-ион и шесть процентов
- Глава 12. Некоторые вопросы радиотехники
 - 12.1 Сосредоточенные и уединённые реактивности
 - 12.2 Обычный резонанс и ничего более. Работа простых антенн
 - 12.3 Приёмных антенн не существует. Суперпроводимость в приёмнике
 - 12.4 Правильное укорочение ведёт к утолщению
 - 12.4 О несуществующем и ненужном. EZ, EH и банки Коробейникова
 - 12.5 Простые опыты
- Приложения

- П1. Конвекционные токи
- П2. Инерция электрона как самоиндукция Фарадея
- П3. Красное смещение при ускорении. Эксперимент
- П4 «Поперечный» сдвиг частот в оптике и акустике
- П5 Движущееся поле. Прибор и эксперимент
- П6. Гравитация? Это очень просто!

Полный список использованной литературы

Послесловие

Предисловие

Все мы учились в школе. Многие учились в различных вузах. Немало людей окончили аспирантуры и другие постобразовательные институции. Количество получаемых при этом знаний огромно. Возможно, оно настолько огромно, что критичность обучающихся постоянно стремится к нулю. И это не вина людей, а, скорее всего, беда. Ну нет в учебной программе времени на тщательное, критическое осмысливание преподаваемых знаний! Процесс обучения молодого учёного итак занимает около 20 лет и более. Если он при этом ещё и думать будет, да ещё, упаси господь, критически – он же все 40 лет потратит. А там и пенсия не за горами.

По этой причине знания, особенно относящиеся к категории «фундаментальных», усваиваются зачастую схоластически и без должного осмысления. Это приводит к невозможности увидеть многочисленные нестыковки, натяжки, нечёткости и просто ошибки, которыми изобилует современная научная парадигма вообще, и парадигма физической науки в частности. По всей видимости, времена, когда простой переплётчик Майкл Фарадей мог бросить своё почтенное ремесло и посвятить дальнейшую жизнь развитию физики (да какому развитию!), безвозвратно прошли. А к XXI веку наука, в особенности наука фундаментальная, окончательно приобрела характер кастовости и даже некоторый оттенок инквизиционности. В самом деле, простому здравомыслящему человеку даже не придёт в голову вмешиваться в спор учёных мужей о том, 11 ли с половиной измерений в нашей Вселенной или 13 с четвертью. Этот спор уже где-то за гранью. Примерно там же, где спор средневековых схоластов о количестве ангелов, размещаемых на острие иглы. В то же время, поскольку современный человек отчётливо осознаёт тесную и, главное, быструю связь достижений науки с его повседневной жизнью, он справедливо хочет хоть как-то контролировать развитие этой самой науки. Хочет, да не может. И никакой надежды разобраться.

Реакцией на эту нездоровую, на наш взгляд, ситуацию является в том числе бурное развитие всевозможных «паранаук», «псевдонаук» и «метанаук». Как грибы после дождя растут разнообразные теории «торсионных полей». Спектр их велик, мы не будем здесь ни перечислять, ни критиковать их авторов. Тем более что, на наш взгляд, авторы эти ничем не хуже официально признанных корифеев науки, нимало не смущаясь несущих с амвонов ещё большую ахинею. В том, что говорят «альтернативщики», есть одна несомненная правда – существующая официальная физическая наука уже давно забрела в тупик и просто доедает тот багаж идей, который был заложен с начала XVII по начало XX века. А увидеть этот факт во всей его неприглядности могут очень и очень немногие – спасибо грохочущей машине образования, не оставляющей ни времени, ни сил для осознания.

Выведенная из-под огня широкой критики, почти прекратившая естественное развитие, сегодняшняя наука всё больше приобретает функции и признаки религии. Если в XIX веке наука ещё интенсивно боролась с религией за право влиять на умы, то в наше время все основные мировые религии примирились с наукой и спокойно разделили с ней сферы влияния. Случайно ли? Разумеется, нет! Первые шаги к примирению были сделаны после появления квантовой механики и теории относительности. В науке в первой половине XX века свершился поворот от здравого физического смысла в сторону так называемой «геометризации», абстрактизации и бесконтрольному умножению сущностей. Постулат, этот «костыль науки», теперь заменил ей ноги. Когда количество элементарных частиц перевалило за три сотни, стало как-то неловко произносить слово «элементарные». Появились даже весьма популярные в широких кругах труды, пытающиеся откровенно и неприкрыто запрять в одну телегу физику и религию.

Так что же делать? Очевидно, что отрицать, разрушать и уничтожать все достижения физической науки за сотни лет, как поступают некоторые «альтернативщики», как минимум непродуктивно. Пытаться изнутри современных сверхабстрактных физических концепций «вырулить» обратно на магистраль здравого смысла и ясной сути, как хотелось бы некоторым честным, но наивным учёным, нереально. Уж слишком всё запущено. Но, на наш взгляд, выход есть: вернуться к той точке в развитии физики, где произошёл главный поворот вбок, и попробовать продолжить движение прямо. Тяжело?! Да. Очень. Природа человеческая такова, что он не любит ни оглядываться, ни, тем паче, возвращаться назад. Но, к счастью, основной массе человечества возвращаться и не придётся. Дело в том, что школьное физическое образование в основном заканчивается как раз там, куда нам надо вернуться. Непродолжительные экскурсии вбок (в сторону квантовой механики и специальной теории относительности), как показывает практика, не производят слишком глубокого впечатления на школьников старших классов. Как раз потому, что в значительной мере требуют отказа от природного здравого смысла. И поэтому основной массой учащихся просто игнорируются.

Мы определили точку поворота физики - как начало XX века. Именно тогда ряд учёных провозгласили идею «геометризации» физики. Вообще, не следует забывать, что над всей тогдашней Европой витал определённый революционный дух, и общее настроение не могло не сказаться на умах учёных, в особенности учёных молодых. В то же время надвигающаяся мировая война настоятельно требовала от науки и техники быстрого прогресса в оборонно значимых и смежных отраслях. Наука получила серьёзную государственную поддержку, с одной стороны, а с другой – она получила серьёзное государственное давление. Если в начале XIX века даже во время наполеоновских войн учёные разных стран могли свободно путешествовать, в том числе и по вражеской территории, то в начале XX века такая роскошь была уже непозволительна. Развивающиеся технические отрасли требовали всё больше квалифицированных специалистов. Не выдающихся учёных, но хорошо образованных в данной отрасли молодых людей. Их стали готовить в таких учреждениях, как, например, Санкт-Петербургский политехнический институт, Технологический институт и т.п. Вместо узкого круга людей, обременённых определёнными моральными представлениями о своей роли и роли науки вообще, появилось довольно широкое научно-техническое сообщество, главными достоинствами внутри которого сделались успешная карьера, известность, обеспеченность. Т.е. ценности другого порядка. Позволим себе вспомнить Г. Кавендиша (1731—1810), который значительную часть своих открытий описал, но не опубликовал, а оставил в семейном архиве, чтобы грядущим поколениям оставить возможность проявить себя. Мыслимо ли подобное поведение для молодого учёного начала XX века? А XXI? Нет, конечно. Хорошая оплата труда учёных (в развитых странах) вызывает жёсткую конкуренцию, и тут уж не до прекрасодушия. Совокупность этих факторов и вызвала к жизни в тот момент аномально большое количество незрелых и просто тупиковых идей. Подмена физики математикой – одна из них. Куда легче стало найти хорошего ремесленника от математики, который решит систему уравнений, чем разбираться в сути, смысле и физических механизмах явления. Позднее компьютеризация только усугубила дело.

А вокруг какого раздела физики произошёл этот пресловутый поворот вбок? Без сомнения, вокруг стыка механики и электродинамики. Сравнительно молодая наука электродинамика доросла до постановки серьёзных экспериментов, и немедленно из лабораторий посыпался шквал потрясающих результатов. Особенно несовместимы казались эти результаты со старой, веками проверенной механикой Ньютона. Дело усугубилось открытием электрона, а позднее и других элементарных частиц, чьи свойства, казалось бы, противоречили всему, известному доселе. Не вызывавший ранее никаких сомнений в своём существовании эфир был атакован, а затем и приговорён к небытию. И

почти сразу же возрождён под несколько кокетливым названием «физический вакуум». Свернув в этой каше вбок, утратив ясные ориентиры классической физики и впервые столкнувшись с микромиром, учёные (под сильнейшим прессингом своих правительств!) вынуждены были разработать некий быстрорастворимый инструмент взамен старой неспешной научной методологии. И если в начале XX века возня с элементарными частицами и атомами воспринималась ещё как игры, то в 30-х годах большая часть этих игривых ребят уже трудились в шарашках по обе стороны океана. Квантовая механика, и квантовая физика вообще, как идея – тяжёлое наследие жестокой гонки за обладание ядерным оружием. Грохот первых атомных взрывов впечатал в мозги нехитрую идею – квантовая физика верна, поскольку вот же, бомба-то взорвалась! С такой точкой зрения следовало бы признать, что алхимия верна, ибо Бертольд Шварц всё-таки изобрёл с её помощью порох. Затем была холодная война. Гонка вооружений. Распад СССР и полная перестройка мировой экономики. Локальные войны. Терроризм. Построение информационного общества. И, как апофеоз, Большой Адронный Коллайдер. Ну и когда было время на пересмотр пройденного наукой пути?! Да никогда. Его и сейчас нет. Сотни тысяч и миллионы современных учёных, инженеров и преподавателей трудятся хорошо. Головы у них светлые. Зарплаты – разные. Цели и идеалы – соответствуют моменту. Одна беда – к развитию науки они практически не имеют отношения. По крайней мере - к развитию настоящему, фундаментальному. Наука и сейчас, как сотни лет назад, совершается единицами, которые настолько безумны, чтобы посвятить этому жизнь, а не карьере.

В этой книге мы попытались вернуться к той самой точке поворота, о которой говорили выше, и, вернувшись, решить проблемы, которые в то время были просто брошены нерешёнными. Решить и пройти дальше. То есть – начать прокладывать другую колею физики, ведущую, как нам представляется, обратно на магистральный путь развития. Поскольку такая работа с неизбежностью ведёт к определённой десакрализации науки, то многие, для кого наука заменила разрушенные в XX веке религиозные основы, воспримут нас резко негативно. Пусть так. Но, возможно, эта отчаянная попытка вдохновит кого-то из вас, читающих эти строки, и подвигнет на собственные усилия и размышления. Может быть, кто-то будет воодушевлён надеждой вернуть человеческому разуму пошатнувшиеся позиции. Тогда всё не зря.

Наверное, некоторые спросят – а зачем это я буду тратить время на чтение вашего бреда? Где гарантия, что это не очередная торсионная ахинея? Вон, все полки забиты разными эфирными теориями и «новыми физиками». Ага, забиты. И будет ещё веселее – недовольство-то людей растёт. Беда в том, что недовольные – не столько недовольны наукой как таковой, сколько тем, что им не нашлось в ней достойного места. Карьеры, должности, звания не нашлось. Славы и внимания не нашлось. Мы же – отчётливо понимаем, что никакой славы, кроме редких плевков, не получим. Никакой карьеры не обретём, разве что можем потерять. Что касается книги, то дело это изначально убыточное, так что – одни затраты. И за всё это мы дарим вам простое и красивое раскрытие нескольких так называемых тайн мироздания. Перечислим вкратце: *тайна массы, или что такое масса тел; тайна инерции, или каков механизм инерции; тайна гравитации, или как и почему на самом деле тела притягиваются; тайна заряда, или что такое элементарный заряд и как он устроен; тайна поля, или что такое электрическое поле и почему нет никаких других полей*. А попутно выдадим и множество тайн помельче, вроде того, *что такое нейтрон и как он устроен, или почему электромагнитная волна ну никак волной являться не может. И как выглядит настоящая электромагнитная волна*. То есть мы обещаем вам несколько громких закрытий. Да-да, именно закрытий. Мы собираемся вместе с вами закрыть множество ненужных науке сущностей, под аплодисменты Оккама, разумеется. Открывать же – вообще ничего не будем. Будем – переосмысливать. В результате вы увидите, что то, что мы вам раскроем о последних тайнах Бога – вы и сами могли бы выяснить, если бы вам не так активно мешали.

Не убедил? Ну, тогда не тратьте своё время и положите книгу обратно. Интересно? Тогда открывайте её и вперёд. Предупреждаю – придётся думать. В самом заскорузлом и нехорошем смысле этого слова. Возможны кратковременные головные боли и непонимание со стороны близких, коллег и начальства. Наградой обязательно будет радость. Радость оттого, что мир устроен мудро и просто. Что нет, и не может быть никакой преграды между вами и ясным пониманием мироустройства. Что нет ни у кого монополии на истину, невзирая ни на какие регалии. Радость оттого, что вы откроете для себя самую последнюю тайну Бога: он ничего ни от кого не прятал! Всё прямо перед вами.

Введение

Если мы посмотрим, какие теории действительно предпочитались из-за их простоты, то найдем, что решающим основанием для признания той или иной теории было не экономическое и не эстетическое, а скорее то, которое часто называлось динамическим. Это значит, что предпочиталась та теория, которая делала науку более динамичной, т. е. более пригодной для экспансии в область неизвестного. Это можно уяснить с помощью примера, к которому мы часто обращались в этой книге: борьба между коперниковской и птолемеевской системами. В период между Коперником и Ньютоном очень много оснований приводилось в пользу как одной, так и другой системы. В конце концов, однако, Ньютон выдвинул теорию движения, которая блестяще объясняла все движения небесных тел (например, комет), в то время как Коперник, так же как и Птолемей, объяснял только движения в нашей планетной системе... Однако законы Ньютона основывались на обобщении коперниковской теории, и мы вряд ли можем представить себе, как они могли бы быть сформулированы, если бы он исходил из птолемеевской системы. В этом, как и во многих других отношениях, теория Коперника была более «динамичной», т. е. имела большее эвристическое значение. Можно сказать, что теория Коперника была математически более «простой» и более динамичной, чем теория Птолемея

Филипп Франк *Философия науки*

§ В1. Методологические основания и классическая физика. Как мы это делаем

Вначале было, как известно, слово. И слово было – *предмет*. Мы имеем в виду не конкретный материальный предмет, а предмет науки физики. То есть всё то, чем физика занимается как наука. Попробуйте сформулировать сами или попытайтесь вспомнить, чему вас учили по этому вопросу. Сложновато получается? Запутанно? Перекрывается с предметами других наук? Всё правильно. В этом вопросе по сей день нет ни единодушия учёных, ни какого-то другого способа договориться. А тогда вопрос попроще – каков предмет науки математики? Подумайте минутку. Подумали? Тоже не очень-то чётко и ясно. А между тем дело обстоит предельно просто и конкретно. Проведём *мысленно* жестокий и прямой эксперимент: возьмём воображаемого математика и отделим его голову от тела и поместим наподобие головы профессора Доуэля в тёмную звуконепропускаемую комнату. Если он сможет продолжать заниматься математикой – пусть мигнёт. Ага, мигнул! Следовательно – предмет его науки находится там же, где и носитель – прямо в голове. Следовательно – предметом науки математики является часть *мышления* математика. То есть математика – это одна из наук о человеческом мышлении. Число или уравнение не существуют нигде во Вселенной, кроме как в головах людей. Пожалуйста, отметьте этот факт. Впоследствии он поможет нам разобраться во многих запутанных вещах и странных парадоксах. Можем то же самое, что мы сделали с математиком, проделать и с физиком. Нет, не мигает физик. Почему догадались? Никакой возможности производить опыты. И даже хуже того – никаких внешних ощущений. Даже просто наблюдать не за чем, в тёмной комнате ничего не происходит. Следовательно – предметом физики являются действия и ощущения физика. Вот мы и подошли ко второму слову – слову *метод*. Физик не достаточно размышлений, ему необходимы чувственные данные, чтобы хотя бы проводить наблюдения. Систематические наблюдения в физике называются наблюдательным *экспериментом* и обычно стоят в начале развития любого раздела физических знаний. Но наблюдения лишь первый этап, за ними обязательно следуют попытки что-то активно изменить, вмешаться в ход естественных процессов и проанализировать результат. Это называется активным экспериментом или просто экспериментом. Но учёный тем и отличается от действенного бездельника, что он не просто воздействует на окружающее и получает новые ощущения. Он анализирует и систематизирует как действия, так и ощущения, выявляя *связи* между ними. Таким образом, методом физики являются эксперимент и *анализ*. Анализ побуждает к

постановке новых экспериментов, и те, в свою очередь, дают пищу новому витку анализа. Самым важным результатом этого процесса является так называемая *физическая картина мира*. Поскольку мир всё-таки слишком сложен для одной науки, то физика обычно ограничивает себя в направленности своих исследований и не занимается, например, вопросами развития живой материи или социальными процессами. Хотя взаимопроникновения возможны, а иногда и плодотворны. Итак, предмет физики – ощущения физика, а методы – эксперимент и анализ. Нетрудно увидеть, что уже годовалый ребёнок всю «занимается» физикой. От учёного он отличается тем, что его физическая картина весьма фрагментарна и ограничена. По мере взросления ребёнок приходит к идее существования внешнего мира. Это означает, что он отделяет себя, как наблюдателя и экспериментатора, от всего остального. И принимает фундаментальную идею о том, что его ощущения связаны не только с его собственными внутренними процессами, но и с чем-то снаружи. Вот эту-то «наружу» принято называть мирозданием. В физике принято интересоваться не всем мирозданием, а лишь той его частью, которая именуется *материей*. Это не такой уж сложный ход, как расписывают философы. На самом деле выделение идеи материи происходит довольно рано. Уже в раннем детстве будущий физик догадывается, что слова, идеи и эмоции, скажем, рассерженного отца – это одно, а вредоносные свойства его ремня – нечто иное. Таким образом, физика интересуется материальным миром как той сущностью, что стоит *за* его ощущениями и порождает их. Мы хотим сказать, что предметом физики в действительности являются именно ощущения, но привлечение идеи внешнего по отношению к человеку *материального мира* смещает взгляд физика с непосредственно ощущений на причины, их порождающие. Впоследствии мы частенько будем апеллировать непосредственно к ощущениям читателя. Именно ощущения делают любое творчество, в том числе и физическое, незабываемым удовольствием.

По мере накопления опытного материала у исследователя возникают обобщения. В первую очередь возникает понятие *явления*. В философии под явлением часто понимают внешние выражения какого-либо предмета, выражение формы его существования. Нам больше устраивает другое (тоже распространённое) определение: явлением мы именуем устойчивые, воспроизводящиеся *отношения между объектами*, возникающие при определенных условиях. Затем следует понятие *причины*. Причина (лат. *causa*), явление, непосредственно обуславливающее, порождающее другое явление *следствие*. Непосредственной причиной того или иного явления всегда служит другое явление. Так, в механике причиной изменения движения тел служит воздействие другого движущегося тела. Естественные причины всегда образуют длинный (а возможно, и бесконечно длинный) ряд, так что отыскание *первопричины* является делом как минимум крайне сложным. Однако ещё более сложно и неудобно описывать тысячи явлений миллионами причин, согласитесь. Поэтому попытка расклассифицировать частные (или, как принято говорить в науке, «подчинённые») причины и свести их к ограниченному набору каких-то «фундаментальных» причин была предпринята ещё Аристотелем и Платоном. Физическая ненаблюдаемость первопричин создаёт первую методологическую проблему – мы не можем до бесконечности проводить опыты, отыскивая первопричину по цепочке, а значит, должны её получить иным путём. За всю историю науки таких путей нашлось всего два, как нам кажется: сформулировать фундаментальную причину путём *индукции*, т.е. обобщения ограниченного числа фактов. Индукция совершается не абы как, а посредством *логики*. Логика – это наука о том, как человек делает выводы в процессе мышления. Вычленение логики позволило унифицировать некоторые способы размышлений до такой степени, что полученные при таком «упорядоченном» мышлении результаты имеют общечеловеческую ценность и могут быть независимо проверены любым человеком (или даже компьютером). То есть причины, вычлененные посредством индукции, подлежат проверке логикой. Второй путь отыскания первопричин – тем или иным способом *назначить* первопричину, введя в научный обиход *аксиому*. Назначение

причин было бы совершенно бессмысленной игрой, если бы человек не обладал, кроме логики, ещё и *интуицией*. Именно интуиция позволяет учёным время от времени успешно вводить тот или иной аксиоматический аппарат, казалось бы, никак не связанный с опытом и рациональным мышлением. Поскольку введение аксиом есть акт произвольный, а сами аксиомы непосредственной проверке не подлежат, то введение их есть дело опасное и рискованное и как всякое рискованное дело обложено различными ограничениями, традициями и указаниями. Так, широко известен *принцип Оккама*, гласящий, что ни в коем случае нельзя вводить в науку новых аксиом (и вообще новых сущностей) до тех пор, пока полностью и совершенно не исчерпаны возможности ранее введенных. Вводимые аксиомы не должны противоречить уже принятым ранее, они должны согласовываться с известными науке фактами.

Мы придерживаемся ещё более экстремистского подхода – не только не вводи новых сущностей, но по возможности выведи вон как можно больше старых, если они не являются совершенно необходимыми. Всё дело в том, что за истекшее со времён Ньютона время принцип Оккама слишком часто нарушался. Это привело к такой удручающей путанице сущностей в физике, что одно и то же явление, описанное языком соседних разделов, становится неузнаваемым.

Крайне много вреда научным методам, в особенности в физике, на наш взгляд, нанесла бесконтрольная математизация науки. Помните? **«В любой науке столько истины, сколько в ней математики»** (Иммануил Кант). Она привела к тому, что возможность *рассчитать*, вычислить стала цениться превыше возможности *объяснить*. И все благополучно забыли, что ещё около ста лет после появления (и даже признания) гелиоцентрической системы мира астрономические вычисления всё ещё велись по таблицам Птолемея. Потому что они были точнее! Точность расчетов, быть может, говорит лишь о качестве *подгонки* моделей к результатам наблюдений, и не более того. Разве *это* наука? Мы не против математики вообще и математики в науке в частности. Мы против *подмены* наук математикой.

В современной науке провозглашён ещё и так называемый «принцип преемственности», гласящий, что новые физические теории должны содержать в себе старые как предельный случай. Помилуйте, да с чего это? Разве гелиоцентрическая система мира Коперника включает в себя предельный случай геоцентрической системы Птолемея?! Разве молекулярно-кинетическая теория включает, как предельный случай, теорию теплорода?! Нет, разумеется. Так зачем же тогда возводить преемственность теорий, явление вроде бы необязательное в истории науки, в ранг методологического принципа?! А вот это легко объяснить. Сами посудите, раз какая-либо новая теория содержит в себе старую в качестве предельного случая, то какой бы бредовой ни была эта новая теория по содержанию, ею можно будет пользоваться *при расчетах*! А раз теория даёт верный результат, то, значит, она имеет право на жизнь. Понимаете? Автоматически, по построению! Ну а уж если она иногда даст какой-то результат и *за пределами* старой теории, ну тут уж всё, чуть ли не абсолютная истина открылась! Благодаря такому приёму построения теорий возникает порочный круг: новая теория в предсказательном смысле никогда не хуже старой. А буде понадобится включить новый круг явлений, то всегда можно добавить пару нелинейных членов в уравнения. Да простит нас читатель, но это шарлатанство, а не наука!

Если уж говорить о критериях для теорий, то мы уверены, что хорошая теория – это та, которая *успешно развивается* длительное время. Та, которая способна вбирать в себя новые факты и явления, не жертвуя основными принципами построения и своей структурой. А для того чтобы применить этот критерий, надо пытаться *развить* тестируемую теорию. То есть, чтобы критерий сработал, нужно поработать. Такого взгляда придерживаются на сегодняшний день уже многие исследователи [7].

Итак, мы в своей методологии стараемся придерживаться классических принципов и отказываемся от бездумной «математизации». Отказываемся от ненужного и

вредоносного принципа преемственности, именно как от принципа. Если преемственность возникает сама собой, на здоровье. А насаждать её специально мы не станем. И мы максимально усиливаем принцип экономии сущностей Оккама. Кроме того, мы полагаем, что опора на здравый смысл не только не запрещена, но и фактически должна быть обязательной.

§ В2. Метафизические основания. Во что нам приходится верить

Многokратно установлено исследователями истории науки [2, 4], что за всякой физикой стоит та или иная *метафизика*. Метафизика есть система весьма общих, скорее философских, чем конкретно-физических представлений о мире. Метафизика не имеет *прямой* связи с опытом и не может быть напрямую подтверждена или опровергнута опытным путём. По всей видимости, метафизика является неотъемлемой частью любой физической картины мира, какого бы мнения по этому вопросу ни придерживались сами авторы картины. Метафизические понятия обладают рядом атрибутов, которые делают их хорошо узнаваемыми. Во-первых, метафизических элементов немного. На практике их обычно не больше, чем может удержать в поле внимания средний человек. Десяток – это уже многовато. Во-вторых, метафизическим понятиям присуща некоторая «расплывчатость», «нечёткость», «широта». В-третьих, у метафизических элементов всегда есть определённый предшественник или аналог из области бытового опыта человека. И не один. Возьмём, к примеру, метафизическое понятие *пространства*. Понятно, что человек постоянно сталкивается с различными пространствами – пространством повседневного обитания, пространством географическим, пространством каких-то конкретных мест. Во всех этих пространствах нет ничего метафизического. Но «пространство как таковое» - это уже, без сомнения, метафизика. То же можно сказать и о времени. Мы различаем время астрономическое, время внутреннее, субъективное, время математическое. Но «время как таковое» - это уже весьма высокий уровень абстракции. Или возьмём движение. Несть числа различным движениям: от движений души до химических, механических, молекулярных и электрических. «Движение как таковое» тоже метафизика. В классической физике *время*, *пространство* и *движение* – неотъемлемые метафизические категории. Введя ещё один метафизический элемент, *материальную точку*, можно построить уже практически всю классическую механику. В физической литературе часто утверждается, что материальная точка - это простейшая физическая *модель* тела [2]. Осмелимся не согласиться. По той простой причине, что материальная точка имеет бесконечно малые размеры, то есть не занимает пространства. Всякий раз, когда в определении звучит слово «бесконечный», мы уверенно можем говорить о его метафизичности. Бесконечность (как бесконечная малость или бесконечная великость чего-либо, неважно) есть самая настоящая метафизика. Бесконечностей мы не наблюдаем, мы никогда не держали её в руках и ни разу не сочли. Мы ничего не можем *сделать* с бесконечностью. Мы можем её только *мыслить*. Хотя у неё, конечно же, есть бытовые аналоги и понятия-предшественники. Количество песчинок, к примеру, в пустыне столь велико по человеческим меркам, что является неплохим приближением к бесконечности. *Моделью* физического *тела* (или сокращённо *телом*) мы бы назвали скорее *систему* материальных тел (шариков, «кусочков», «песчинок»), заменяющую в механике реальное тело. Эта модель уже не настолько метафизична и немного более реалистична. Есть ещё один важный метафизический элемент – *степени свободы*. Метафизический он потому, что напрямую относится к времени и пространству. Например, материальная точка в трёхмерном пространстве может изменять своё положение во времени. Поскольку она может двигаться вдоль любого измерения или вдоль всех сразу, то говорят, что она обладает в этой ситуации *тремя* степенями свободы.

А вот на поверхности шара она бы обладала всего *двумя* степенями свободы. Хотя по-прежнему перемещалась бы во всех трёх координатах. Но, как бы это сказать, «не вполне свободно». А вот система из двух (и более) материальных точек обладала бы ещё и *вращательными* степенями свободы. Ну трудно не почувствовать здесь что-то вроде «правил для ангелов на острие иглы». Степень свободы – пример *сложного* метафизического понятия, которое само оперирует с более фундаментальными понятиями.

Кроме метафизических элементов, которые мы перечислили выше, любая живая физическая теория содержит ещё и *абстракции*. Абстракция есть абсолютизация, доведение до предела какого-либо одного знакомого по опыту свойства материальных объектов. Например, *абсолютно твёрдое тело*. Это воображаемый, тоже отчасти метафизический объект, чья механическая твёрдость доведена до абсолюта. До мыслимого максимума. Твёрже не бывает. Или, например, «абсолютно упругое взаимодействие». Это такое взаимодействие, при котором тела ведут себя как *абсолютно упругие*, то есть деформируемые, но без малейших потерь энергии.

Метафизический каркас теории столь важен, что зачастую даже малейшие изменения в трактовке или использовании элементов способны полностью изменить её облик. Замена двух категорий «время» и «пространство» на одну «пространство-время», например, приводит к фантастическим переменам в механике. Это, бесспорно, факт. Другое дело, насколько оправдано такое действие и в чём его метафизический смысл? Ведь все мы много перемещаемся в пространстве. И чем дальше развивается цивилизация, тем больше и чаще мы перемещаемся. Перемещения занимают время, конечно же. А время может быть использовано для перемещений. В результате в повседневном опыте формируется интуитивная связь между временем и пространством. Пять минут до метро. Вслушайтесь! Не пятьсот метров, а *пять минут!* Мы так стали говорить. И мы стали так думать. Поэтому и удалось А. Эйнштейну заменить привычные ранее пространство и время на новую метафизическую сущность *пространство-время*. В XVII веке его просто никто не стал бы слушать. Идея не нашла бы никакого отклика в умах. А в XX-м уже у многих нашла. Является ли эта новая категория лучше старых? Маловероятно. Хотя бы потому, что при соединении пространства и времени используется ещё и третья категория – *движение*. А свойства Эйнштейновского пространства-времени во многом определяются именно особенностями движения *света*, которое зачем-то, без явной необходимости абсолютизировано. Если завтра люди откроют какое-либо более быстрое движение, то придётся переделывать всю категорию. Неудивительно, что именно у обеих теорий относительности и по сей день так много противников, даже среди вполне ортодоксальных учёных. Шаткость *самой* базовой метафизической категории – вот подлинная причина неудовлетворённости. Таким образом, метафизический смысл Эйнштейновской специальной теории относительности – это *ограничения*, априорно наложенные на старые метафизические категории времени, пространства и движения. Думаю, читатель и сам осознаёт, что любые априорные ограничения – дело крайне рискованное. Всякий раз, когда люди провозглашали, например, что недостижима та или иная скорость, то вскоре она бывала достигнута и преодолена. А творцы подобных ограничений бывали, соответственно, посрамлены и вынуждены выкручиваться.

Так каким же метафизическим каркасом мы сами собираемся пользоваться? Разумеется, мы приняли за основу старые, добрые категории *времени, пространства и движения*. Понятие *заряда* также используется нами в метафизическом смысле. Это понятие используется и в современной физике, и тоже в качестве метафизического, поскольку нет никаких объяснений, что же такое «заряд как таковой». Правда, наше понимание заряда позволяет понять устройство так называемых *элементарных зарядов*. Мы отказались от категории «*материальной точки*» (также как и от «*точечного заряда*»), заменяя её там, где не обойтись без дробления на бесконечно малые величины, просто *математической* категорией бесконечно малого. Для нас дробление на бесконечно малые

– всего лишь вспомогательный аналитический приём, а не базовый принцип. Разница в том, что материальная точка, будучи бесконечно малой (не занимая пространства), в классической физике могла иметь *конечную* массу или заряд. У нас вы такого не встретите. Наши бесконечно малые элементы имеют бесконечно малыми и другие характеристики. Кроме того, мы ввели (скорее вернули, содержательно переосмыслив) категорию *эфира*, часто называя его вакуумом, мировой средой или *пленумом*. Делаем мы это затем, что все эти слова в разное время были в значительной мере дискредитированы, а нового, более удачного термина мы просто не смогли найти. Эфир является старой категорией, поэтому принцип Оккама не нарушен. Эфир и по сей день существует в физике под названием, например, «физический вакуум», «море Дирака» и т.п. Но поскольку формулировка и содержание этой категории нами существенно переосмыслены, то требуются более детальные пояснения.

Итак, мы полагаем, что вся Вселенная на всех масштабах рассмотрения заполнена специфической средой, эфиром, *пленумом*. Мы понятия не имеем, какова *микроскопическая* структура этой среды. И признаём, что у нас недостаточно ни априорной информации, ни технических средств для выяснения этого вопроса. В знак признания этого факта мы *отказываемся навязывать* эфиру какое бы то ни было внутреннее микроскопическое устройство. Мы *не приписываем* ему никакого агрегатного состояния, вроде газообразного, жидкого или кристаллического. Отказываемся фантазировать на тему его массовой плотности, упругости, вязкости и прочих механических характеристик. Всё, что мы позволяем эфиру делать – это быть *диэлектриком* и *двигаться*. То есть определяемый нами эфир имеет прямое отношение к категориям заряда и движения. Легко видеть, что так определённый эфир является *эфиром электрическим*, а не тем *механическим* эфиром, бесчисленные теории которого с завидной регулярностью рождаются и умирают уже сотни лет, достигая почти мистической степени развития, например, у Ацюковского [5].

В соответствии с вышесказанным, в нашей метафизике эта среда внутри себя содержит два связанных континуума: континуум положительных зарядов и континуум отрицательных зарядов. Так устроен любой диэлектрик на макроскопическом уровне рассмотрения. Вся среда в целом, как и каждый из её континуумов, обладает способностью к движению. Эфир «в себе», не будучи возмущённым, скорее всего, вообще необнаружим. То есть недоступен наблюдению. Именно в этом смысле *эфир как таковой* есть категория метафизическая. Однако этот метафизический «эфир в себе» нигде во Вселенной не реализуется, ибо в каждой точке Вселенной он хоть в малой степени, но *возмущён*. Возмущение эфира – это, по сути, локальное изменение одного и другого зарядового континуума. При этом должны возникать локальные изменения «плотности» зарядовых континуумов. Это можно представить себе как две сложенные вместе прозрачные цветные плёнки: жёлтую и синюю. Наблюдателю они покажутся сплошной *зелёной* плёнкой. Если плотность жёлтой или синей плёнок где-то изменится, то наблюдатель зафиксирует изменение цвета системы. А если плотность жёлтой и синей изменять в одинаковой степени, то наблюдатель увидит не изменение цвета (он останется зелёным), а изменение его «насыщенности», плотности. Мы пока что можем представить себе всего два рода изменения локальной плотности континуумов – согласованные и несогласованные. В первом случае согласованно изменяется «зарядовая плотность» *обоих* континуумов, так что сохраняется локальная *электронейтральность* эфира. Происходит лишь изменение зарядовой плотности (каждого континуума) в одной области, относительно его же плотности в *других* областях. Во втором же случае электронейтральность *локально* нарушается. Происходит локальное смещение *одного* континуума относительно *другого*. Возникает разделение зарядов. Такое «разделение» зарядовых континуумов воспринимается наблюдателем как электрическое поле. Заметим, что если «чистый эфир» не обладает атрибутом движения, поскольку нет ничего, за что можно было бы зацепиться, определяя движение, то «реальный эфир», эфир

возмущённый, уже обладает движением. Именно в этом смысле мы говорим, что эфир как таковой неподвижен, а его возмущения движутся. Вот, собственно и всё. Вселенная в таком случае есть *движущиеся в пространстве возмущения эфира*.

Анализируя введённый нами электрический эфир, мы пришли к выводу, что возмущённое состояние такого эфира само по себе порождает пространство и время. В самом деле, невозмущённый эфир не только неподвижен, но его области ничем не отличаются друг от друга. Соответственно, нет никакого способа отличить правое от левого, верх от низа и т.п. Но коль скоро мы внесли в него возмущения, то такая возможность немедленно появляется. И тут же появляется возможность рассуждать о движениях одних возмущений относительно других. *Регулярные* движения возмущений эфира позволяют говорить о времени и наладить способы его измерения. Таким образом, двигаясь от понятий время, пространство, заряд и движение, мы пришли к такому пониманию эфира, которое само способно порождать понятия заряда, времени, пространства и движения.

Внимательный читатель уже мог заметить, что мы нигде в метафизике не использовали понятие «материи». Это было сделано сознательно, так как только что введённый эфир полностью покрывает в философском, метафизическом смысле всё, что именуется обычно материей, включая понятия *поле* и *вещество*. Кроме того, он показывает нам возможность существования *ещё одной* странной субстанции, которую трудно было бы назвать материей в привычном понимании слова. Речь о том, что *согласованные* изменения зарядовой плотности связанных зарядовых континуумов образуют и не поле, и не вещество, а нечто трудноуловимое, но, тем не менее, возможно, реально существующее: флуктуации диэлектрической проницаемости эфира. Поскольку флуктуации такого рода не являются электрическим полем, то, как будет показано в главе 5, они не обладают инертностью. То есть могут двигаться с любыми ускорениями и скоростями. Если вещество, как мы покажем далее, это поле, то движение и поля, и вещества ограничено скоростью света (и мы объясним, почему именно). Тогда взаимодействия, осуществляемые с помощью движений поля должны подчиняться *принципу близкодействия*. То есть передаваться последовательно от точки к точке с определённой скоростью. Для флуктуаций проницаемости такого ограничения, по всей видимости, нет. Флуктуации проницаемости не несут энергии, не имеют массы, следовательно, могут, по крайней мере теоретически, быть основой для *принципа дальнего действия*. Таким образом, в нашей метафизике оба непримиримых древних принципа мирно *сосуществуют*, что до сих пор вызывает удивление у нас самих.

Некоторые современные исследователи [6] время от времени приходят к более ясному пониманию отдельных вопросов, например, осознают, что между веществом и полем нет никакой естественной границы, и на этом основании сводят всё разнообразие материи к *полю*. Сама по себе здравая мысль, ведущая к сокращению сущностей. Однако пересмотра требуют не просто отдельные части физической картины мира, а вся она в целом, как мы уже отмечали. Такой пересмотр требует огромной внутренней работы, и, как правило, исследователям не хватает времени, сил, решимости, в конце концов. В итоге возникает довольно странная картина: явное просветление ума автора в отдельных вопросах тщательно смешивается с каким-нибудь квантово-механическим мракобесием, и получившаяся адская смесь подаётся ошарашенному читателю. Но даже это есть уже положительный процесс, позволяющий говорить о том, что физика готовится выйти из застоя. В дальнейшем, по мере изложения, читатель сможет на конкретных примерах ощутить смысл, который мы вкладываем в те или иные метафизические категории, как и в те методологические приёмы и принципы, которыми пользуемся. Смысл абстрактных понятий окончательно раскрывается только через практику применения. «Понять» их во многом означает: *привыкнуть и научиться пользоваться*.

Литература

1. П.А.Жилин. Реальность и механика. Труды XXIII школы-семинара. Анализ и синтез нелинейных механических колебательных систем. Институт проблем машиноведения. Санкт-Петербург, 1996.
2. В.Захаров. Тяготение от Аристотеля до Эйнштейна. Бином. Серия «Лаборатория знаний». М.: 2003.
3. Т.И.Трофимова. Курс физики. 9-е издание. – М.: Издательский центр «Академия», 2004.
4. Голин Г.М. Хрестоматия по истории физики. Классическая физика. Мн.: Выш. школа, 1979.
5. Ацюковский В. Общая эфиродинамика. М.: Энергоатомиздат, 2003.
6. Репченко О.М. Полевая физика или как устроен Мир? <http://www.fieldphysics.ru/>
7. В.И. Ганкин, Ю.В. Ганкин. Как образуется химическая связь и как протекают химические реакции. ИТХ. Институт теоретической химии. Бостон. 1998 г.

Глава 1. Механическое движение и пленум

*Картину мира можно создать лишь единожды.
И это уже сделал И. Ньютон.
Ж.Л.Лагранж*

§ 1.1. Основы механики Ньютона и движение. Тело. Сила. Масса. Энергия

В этом параграфе мы собираемся напомнить читателю базис классической механики Галилея-Ньютона и указать на некоторые моменты, над которыми стоило бы задуматься. Здесь и далее мы будем использовать систему единиц СИ. В тех случаях, когда нам понадобится, например, сравнить наши выводы с выводами предшественников, работавших в других системах единиц, мы будем это отмечать особо. Формулировка основных понятий классической механики приводится в основном по [1]. В значительной мере вышесказанное относится и к остальным главам этой книги.

Итак, *«механика* – часть физики, которая изучает закономерности механического движения и причины, вызывающие это движение. *Механическое движение* – это изменение с течением времени взаимного расположения тел или их частей». Здесь не указывается, что следует подразумевать под понятием «тело», видимо, определение опирается на интуитивное представление читателя. Это само по себе нормально. Сложности возникают тогда, когда мы пытаемся применить определение в не совсем бытовой ситуации. Например, вы находитесь посреди толщи Мирового океана. Вокруг вас только вода. Можем ли мы считать воду телом? Нам известно, что вода движется относительно воды: тёплые и холодные течения, более солёные и менее солёные воды, прозрачные и мутные, все эти «части тела» движутся одни относительно других. Следовательно, вода должна считаться телом. Но как выделить эти части? Всякий исследователь произвольно проводит границу между тёплой и холодной водой, например. Значит, части тела условны! Так может условно и движение? Кроме того, находясь посреди океана, нам сложно говорить о движении океанской воды как целого, если мы не привязываемся к рельефу дна, например, или к звёздам на небе. Видя *только* воду и исследуя только её, мы вообще *не можем* установить факт движения воды как целого. Проблемы возникают и с нашим собственным движением. Если вы активно плывёте, то факт движения вроде бы налицо. Возникает множество явлений, говорящих о том, что вы движетесь в воде. А вот если вы дрейфуете внутри обширного океанического течения, вроде Гольфстрима? Никаких признаков движения. Но ведь мы точно знаем, что течение движется и увлекает вас вместе с ним! Именно в такую непростую ситуацию попадает штурман подводной лодки, находящейся в длительном автономном плавании. И как же он выкручивается? Понятно, что можно всплыть и сориентироваться по звёздам. По береговым радиомаякам. По спутникам, в конце концов. Но всплыть означает нарушить скрытность. Тогда можно прозондировать сонаром рельеф дна и сравнить его с картами. Если дно не слишком далеко. Но включать сонар также означает демаскировать лодку. Да и рельеф дна может оказаться неинформативным. Ровный песок ничего не скажет о местоположении подводного судна. На практике ориентирование лодки осуществляется при помощи геофизических *полей*, фактически используемых как *тела*. Штурман использует показания компаса (магнитное поле Земли), гравитометра (гравитационное поле Земли) и лага (относительная скорость лодки). Совместно с магнитным компасом часто используется гирокомпас, основанный на работе *гироскопа*. Штурман определяет местоположение лодки, *вычисляя* его из показаний приборов и предыстории движения судна. На какое-то время это помогает. Но при таком методе ошибка вычислений

постепенно нарастает и, в конце концов, становится неприемлемой. Приходится применять дополнительные методы привязки. Все они связаны с опорой на объекты («тела»), находящиеся вне океана и отличающиеся от него. Мы надеемся, что вы уже уловили: понятие «тело» хорошо работает только, когда тел несколько и между ними можно провести чёткие границы.

Чтобы упростить и уточнить работу со сложным и неуниверсальным термином «тело», в физике вводится **материальная точка** – тело, обладающее массой, размерами которого в данной задаче можно пренебречь (считать их бесконечно малыми). Это *модель*, и как всякая модель она имеет границы применимости. Об этом следует помнить. У материальной точки уже нет частей, как следует из определения, поэтому она может двигаться только как целое. В механике считается, что каждое реальное тело можно разбить мысленно на множество мелких частей, каждую из которых считать материальной точкой. То есть любое тело можно представить **как систему материальных точек**. Если при взаимодействии тел материальные точки системы, представляющей одно из тел, изменяют взаимное положение, то такое явление называется **деформацией**. **Абсолютно твёрдым** называют тело, которое ни при каких условиях не может деформироваться. Разумеется, это тоже абстракция и применима далеко не всегда. Любое движение материального тела можно представить как комбинацию **поступательного** и **вращательного** движений. При поступательном движении любая прямая, связанная с телом, остаётся **параллельной** своему первоначальному положению. При вращательном движении все точки тела движутся по **окружностям**, центры которых лежат на одной прямой, называемой **осью вращения**.

Движение тел происходит в пространстве и времени, поэтому описанием движения тела является информация о том, в каких местах пространства в определенные моменты времени находились точки тела. Принято определять положение материальных точек относительно некоторого, произвольно выбираемого тела, именуемого **телом отсчёта**. С ним связывается **система отсчёта** – совокупность **системы координат** и **часов**. Зачастую в физической литературе под системой отсчёта подразумевают совокупность системы координат, часов и тела отсчёта. Система отсчёта содержит как реальные физические объекты (например, тело отсчёта), так и математические идеи (система координат). Кроме того, она содержит сложную **техническую систему** – часы. Запомним эту комплексную, зависящую как от физической реальности, так и от уровня развития техники и мышления, природу систем отсчёта. Далее мы всюду будем использовать Декартову систему координат, кроме тех случаев, которые будем оговаривать особо. В Декартовой системе используется понятие радиус-вектора r . Это вектор, проведенный из начала координат (тела отсчёта) к текущему положению материальной точки. Раздел механики, изучающий закономерности движения как такового (вне связи с конкретными физическими особенностями движущегося тела) называется **кинематикой**. К кинематике у нас нет существенных претензий, так что мы пока просто напомним то, что потом будем нередко использовать. В сущности, кинематика до сих пор имеет неисчерпанный потенциал и могла бы решить ряд проблем, традиционно связываемых с электродинамикой, специальной (СТО) и общей (ОТО) теориями относительности, как мы покажем в дальнейшем.

В кинематике движение материальной точки в выбранной системе координат описывается тремя скалярными уравнениями:

$$(1.1) \quad x = x(t), y = y(t), z = z(t).$$

Эта система скалярных уравнений эквивалентна векторному уравнению:

$$(1.2) \quad \vec{r} = \vec{r}(t).$$

Уравнения (1.1) и (1.2) называются **кинематическими уравнениями движения материальной точки**. Как мы понимаем, уравнения – это уже практически чистой воды математика. В физике принято за каждой формулой или уравнением видеть **физический смысл**. Физический смысл кинематических уравнений в том, что они описывают изменение положения материальной точки (а не математической точки!) в пространстве со временем.

Число независимых величин, полностью определяющих положение тела в пространстве, называется числом **степеней свободы**.

Исключая переменную времени t из уравнений (1.1) и (1.2), получим уравнение, описывающее **траекторию** материальной точки. Траектория – **воображаемая** линия, описываемая движущейся в пространстве точкой. В зависимости от формы траектория может быть **прямолинейной** и **криволинейной**. Отметим, что траектория – понятие скорее математическое, чем физическое. Оно отражает свойство инерционности человеческого восприятия, наличие «зрительной памяти».

Длина участка траектории между двумя последовательными положениями тела называется **длиной пути** и обозначается Δs . Длина пути является скалярной функцией **интервала** времени. Вектор $\Delta \vec{r} = \vec{r}_1 - \vec{r}_2$, проведенный из начального положения движущейся точки в положение её в данный момент времени (приращение радиус-вектора точки за рассматриваемый интервал времени), называется **перемещением**.

При прямолинейном движении модуль вектора перемещения совпадает с длиной пути за любой интервал времени. Это соотношение можно использовать как индикатор прямолинейности движения.

Для характеристики движения материальной точки вводится векторная величина – **скорость**, которая определяет **быстроту** движения и его **направление**. **Вектором средней скорости** $\langle \vec{v} \rangle$ называется отношение приращения радиус-вектора $\langle \Delta \vec{r} \rangle$ к промежутку времени Δt , за который это приращение произошло:

$$(1.3) \langle \vec{v} \rangle = \frac{\langle \Delta \vec{r} \rangle}{\Delta t}.$$

При неограниченном уменьшении интервала Δt средняя скорость стремится к предельному значению, которое называется **мгновенной скоростью**:

$$(1.4) \langle \vec{v} \rangle = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\langle \Delta \vec{r} \rangle}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt}.$$

Можно показать, что **модуль мгновенной скорости** равен первой производной пути по времени:

$$(1.5) v = |\vec{v}| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}.$$

При **неравномерном** движении модуль мгновенной скорости с течением времени изменяется. В таком случае пользуются скалярной величиной $\langle v \rangle$ **средней скоростью неравномерного движения**:

$$(1.6) \langle v \rangle = \frac{\Delta s}{\Delta t}.$$

Длина пути, пройденного точкой за интервал времени, в общем случае определяется интегралом:

$$(1.7) \quad s = \int_t^{t+\Delta t} v dt .$$

В случае *равномерного* движения скорость не зависит от времени, следовательно, путь:

$$(1.8) \quad s = v \int_t^{t+\Delta t} dt = v\Delta t .$$

В случае *неравномерного* движения важно знать, как быстро меняется скорость с течением времени. Физической величиной, характеризующей быстроту изменения скорости по модулю и направлению, называется **ускорение**. Полное ускорение тела есть производная скорости по времени и является суммой тангенциальной и нормальной составляющих:

$$(1.9) \quad \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{a}_T + \vec{a}_n .$$

Тангенциальная составляющая ускорения характеризует быстроту изменения модуля скорости и направлена по касательной к траектории, а **нормальная** составляющая – быстроту изменения направления скорости и направлена по главной нормали к центру кривизны траектории. Тангенциальная a_T и нормальная a_n составляющие взаимно перпендикулярны. Они определяются выражениями:

$$(1.10) \quad a_T = \frac{dv}{dt} ,$$

$$(1.11) \quad a_n = \frac{v^2}{r} .$$

Для *равнопеременного* движения скорость зависит от времени как:

$$(1.12) \quad v = v_0 + at .$$

В этом случае путь, пройденный точкой за время t , составляет:

$$(1.13) \quad s = \int_0^t v dt = \int_0^t (v_0 + at) dt = v_0 t + \frac{at^2}{2} .$$

При *вращательном* движении используется ряд специфических понятий. **Углом поворота** $\Delta\varphi$ твёрдого тела именуется угол между двумя радиус-векторами (до и после поворота), проведенными из точки на оси вращения к определенной материальной точке. Эти углы *принято* изображать векторами. **Модуль вектора** поворота $\Delta\vec{\varphi}$ равен углу поворота, а его **направление** совпадает с направлением поступательного движения острия винта, головка которого вращается в направлении движения точки по окружности, т.е. подчиняется *правилу правого винта*. Такие векторы, связываемые с направлением вращения, называются **псевдовекторами**, или **аксиальными векторами**. Эти векторы не имеют определённой точки приложения. Они могут откладываться от *любой* точки на *оси*

вращения. Угловой скоростью называется векторная величина, определяемая первой производной углового приращения по времени:

$$(1.14) \vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt}.$$

Размерность угловой скорости – обратные секунды, а величина измеряется в радианах в секунду. Вектор $\vec{\omega}$ направлен так же, как приращение угла. Радиус-вектором \vec{R} именуется вектор, проведенный от оси вращения к данной точке, численно равный расстоянию от оси до точки. Линейная скорость материальной точки связана с угловой скоростью как:

$$(1.15) v = \omega R.$$

В векторном виде записывают так:

$$(1.16) \vec{v} = [\vec{\omega}\vec{R}].$$

Если $\vec{\omega}$ не зависит от времени, то вращение является *равномерным* и его можно охарактеризовать *периодом вращения* T – временем, за которое точка совершает один полный оборот:

$$(1.17) T = \frac{2\pi}{\omega}.$$

Число полных оборотов в единицу времени в этом случае именуется *частотой вращения*:

$$(1.18) f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi},$$

откуда:

$$(1.19) \omega = 2\pi f.$$

Угловым ускорением называется векторная величина, определяемая первой производной угловой скорости по времени:

$$(1.20) \vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}.$$

Он сонаправлен вектору элементарного приращения угловой скорости. При ускоренном движении он сонаправлен вектору $\vec{\omega}$, а при замедленном противонаправлен ему. Тангенциальная составляющая ускорения:

$$(1.21) a_T = \frac{d(\omega R)}{dt} = R \frac{d\omega}{dt} = R\varepsilon.$$

Нормальная составляющая ускорения:

$$(1.22) \ a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{\omega^2 R^2}{R} = \omega^2 R.$$

Связь между линейными и угловыми величинами задаётся соотношениями:

$$(1.23) \ s = R\varphi, v = R\omega, a_T = R\varepsilon, a_n = \omega^2 R.$$

Когда речь идёт об *особенностях* и *причинах* движения материальных тел, т.е. тел, обладающих *массой*, то соответствующий раздел физики именуется *динамикой* и зачастую считается *основным* разделом механики.

В основе классической динамики лежат три закона Ньютона. Законы эти, как мы уже отмечали во Введении, являются обобщением огромного числа опытных данных. То есть они *феноменологические*. Это означает, что используемые в них сущности являются метафизическими, а математическая формулировка является результатом гениальной догадки и математической «подгонки» коэффициентов. Такое положение есть прямое следствие использованного в классической механике методологического подхода. Хорошо это или плохо? Нам кажется, что это просто вынужденные действия. Ньютон и его последователи не имели достаточных знаний, чтобы вскрыть истинные *причины* механических явлений, и им поневоле *пришлось* ограничиться феноменологическими законами и метафизическими формулировками. Решение, безусловно, гениальное, поскольку позволило всему человечеству совершить грандиозный скачок вперёд. Даже современная космонавтика вполне удовлетворяется законами Ньютона, а ведь прошло более трёхсот лет! А с другой стороны, на триста лет отложено изучение истинных причин механического движения. Парадокс!

Первый закон Ньютона: *всякая материальная точка (тело) сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока воздействие со стороны других тел не заставит его изменить это состояние.* Стремление тела сохранять состояние покоя или равномерного прямолинейного движения называется *инертностью*. Поэтому первый закон ещё называют *законом инерции*. Первый закон выполняется не везде, а только в так называемых инерциальных системах отсчёта. Данный закон, собственно, и утверждает существование таких систем.

Чтобы охарактеризовать *меру инертности* тел, вводится особая сущность – *масса*. Масса тела есть физическая величина, являющаяся одной из основных характеристик материи, определяющая её инерционные (*инертная масса*) и гравитационные (*гравитационная масса*) свойства [1, с.15]. Совершенно метафизическая характеристика, несводимая к каким-либо иным. Здесь констатируется *бессилие* исследователя вскрыть причины инерции и, тем паче, гравитации.

Чтобы описывать *воздействия*, упомянутые в первом законе, вводится понятие *силы*. Сила - это векторная величина, являющаяся мерой механического воздействия на тело со стороны других тел или полей, под действием которых тела приобретают ускорение или изменяют свои размеры (форму). С одной стороны, сила хорошо ассоциируется с мышечным *усилием*, которое знакомо человеку по ощущениям. А с другой стороны, она уже абстрагирована до такой степени, что смыкается с метафизикой. Силы, согласно первому закону, как-то связаны с движением. А именно: являются причиной изменения движения. Однако, как мы покажем чуть позже, полная сумма сил всегда равна нулю, как бы ни двигалось тело. Это и есть тот случай, когда метафизика понятия «сила» прорывается сквозь его чувственную конкретику. Напомним, что термин «силы» впервые был введён в рамках религии. В Библии силы – это сущности, неотвратимо исполняющие волю Божью.

Второй закон Ньютона: отвечает на вопрос, как изменяется механическое движение материальной точки (тела) под действием приложенных к нему сил. При одном

и том же приложенном *усилии* небольшая пустая тележка, например, и большой гружёный воз будут двигаться по-разному. Они отличаются массами и двигаются с разными *ускорениями*. Понять, что мера инерции и мера «тяжести» тела - это суть одно и то же, безусловно, было гениальной догадкой. А выяснить, что именно ускорение и есть то, что отличает движение тяжёлых и лёгких тел под воздействием одной и той же силы (усилия) – это обобщение многочисленных опытных данных. И тоже отчасти догадка. Формулируется закон так: *ускорение, приобретаемое материальной точкой (телом), пропорционально вызывающей это ускорение силе, совпадает с нею по направлению и обратно пропорционально массе материальной точки (тела)*. Этот закон записывается как:

$$(1.24) \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}.$$

или

$$(1.25) \vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt}.$$

Где векторная величина $d\vec{p}$ именуется **импульсом (количеством движения)** материальной точки. Импульс – новая сущность, введённая, кажется, без всякой необходимости. На самом деле польза от этой сущности появляется только после того, как устанавливается **закон сохранения импульса**. Этот закон позволяет рассчитывать некоторые результаты, не задумываясь о причинно-следственных связях. Выражение (1.25), использующее импульс, называется ещё и уравнением движения материальной точки. Называется оно так потому, что путём двукратного интегрирования ускорения можно получить координаты тела (материальной точки) при известном начальном положении, силах и массе.

Принцип независимости сил гласит, что если на тело действуют одновременно несколько сил, то каждая из них сообщает телу ускорение согласно второму закону Ньютона, *как если бы* других сил не было. Это опять же эмпирический принцип, причина того, что он выполняется, совершенно непонятна в рамках механики. Но он позволяет сильно упростить решение задач. В частности, из него следует, что силы и ускорения можно разлагать на составляющие так, как удобно исследователю. Например, силу, действующую на криволинейно неравномерно движущееся тело, можно разложить на нормальную и тангенциальную составляющие:

$$(1.26) F_T = ma_T = m \frac{dv}{dt}.$$

$$(1.27) F_n = ma_n = m \frac{v^2}{R} = m\omega^2 R.$$

Третий закон Ньютона гласит: *всякое действие материальных точек (тел) друг на друга носит характер взаимодействия; силы, с которыми тела действуют друг на друга, всегда равны по модулю, противоположны по направлению и действуют вдоль прямой, соединяющей эти точки*. Принято записывать как:

$$(1.28) F_{12} = -F_{21}.$$

Где F_{12} сила, действующая со стороны первой точки на вторую, а F_{21} со стороны второй точки на первую. Эти силы приложены к *разным* телам, всегда действуют парами и являются силами одной природы. Этот закон является умозраительным, и выражает скорее *веру* в то, что нет действия без противодействия, чем конкретное знание. Насколько нам известно из литературы, И. Ньютон никогда не проверял этот закон *прямым экспериментом*. Но закон позволяет перейти от парных взаимодействий к взаимодействиям в *системе* тел, разлагая их на парные. Как и первые два закона, он справедлив только в инерциальных системах отсчёта. В сущности, в системе двух и более тел полная сумма сил (с учётом сил инерции), согласно этому закону, *равна нулю*. Таким образом, согласно Ньютону, невозможно изменить движение системы тел как целого изнутри самой этой системы. Расширяя систему до размеров Вселенной, мы придём к выводу, что движение Вселенной как целого невозможно. Следовательно, Вселенная в целом неподвижна и, следовательно, вечна. Ну в самом деле, если нет движения, то нет и изменений. А раз нет никаких изменений, то всё останется таким, как есть, навечно. Именно такая Вселенная была *заложена* в метафизику Ньютона. И именно такой её всегда будет изображать и физика Ньютона.

Совокупность материальных точек, рассматриваемая как единое целое, называется **механической системой**. Силы взаимодействия между материальными точками механической системы называются *внутренними*, соответственно силы взаимодействия с внешними телами именуется *внешними*. Система, на которую не действуют внешние силы, называется **замкнутой**. В этом случае механический импульс системы n тел:

$$(1.29) \quad \frac{d\vec{p}}{dt} = \sum_{i=1}^n \frac{d}{dt} (m_i \vec{v}_i) = 0,$$

то есть:

$$(1.30) \quad \vec{p} = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = const.$$

Последнее выражение называется **законом сохранения импульса**: импульс замкнутой системы не изменяется с течением времени. Современная физика усматривает сохранение импульса и для микрочастиц, считая закон сохранения импульса *фундаментальным* законом природы. Закон сохранения импульса является *следствием* определённого свойства *пространства* – его *однородности*. Однородность пространства, как вы помните, закладывалась в метафизический каркас механики Ньютона. Таким образом, нет ничего удивительного в том, что эта однородность проявилась в виде закона сохранения импульса. Импульс не настолько соотносится напрямую с чувственным опытом, как сила, и поэтому является в большей степени *идеей*, чем физической характеристикой материи.

Центром масс (или **центром инерции**) системы материальных точек называется *воображаемая* точка C , положение которой характеризует распределение массы этой системы. Её радиус-вектор равен:

$$(1.31) \quad r_C = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \vec{r}_i}{\sum_{i=1}^n m_i},$$

где m_i и \vec{r}_i соответственно масса и радиус-вектор i -й материальной точки; n – число материальных точек системы. Сумма в знаменателе называется массой системы и обозначается m . Скорость движения центра масс:

$$(1.32) \quad v_C = \frac{dr_C}{dt} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \frac{d\vec{r}_i}{dt}}{\sum_{i=1}^n m_i} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i}{m}.$$

Тогда импульс системы можно записать как:

$$(1.33) \quad \vec{p}_C = m\vec{v}_C,$$

т.е. импульс системы равен произведению массы системы на скорость её центра масс. Отсюда вытекает, что *центр масс замкнутой системы либо движется равномерно и прямолинейно, либо остаётся неподвижным.*

А что будет, если масса, входящая в вышеприведенные уравнения, будет *изменяться* во времени? По факту это означает, что изменяется *вещественный состав* системы. То есть какие-то материальные точки уходят из системы или приходят в систему. Такую систему уже нельзя считать замкнутой. Тем не менее и для таких систем сравнительно легко установить особенности движения. Эта ситуация реализуется, например, в случае реактивного движения (ракеты, реактивные самолёты, УРС и т.п.). Пусть \vec{u} – скорость истечения вещества (массы) из системы. Тогда приращение импульса будет определяться выражением:

$$(1.34) \quad d\vec{p} = m d\vec{v} + \vec{u} dm.$$

Если на систему действуют внешние силы, то её импульс изменяется по закону $d\vec{p} = \vec{F} dt$, поэтому $\vec{F} dt = m d\vec{v} + \vec{u} dm$, или:

$$(1.35) \quad \vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} + \vec{u} \frac{dm}{dt}.$$

Второе слагаемое в правой части (1.35) называется *реактивной силой* \vec{F}_p . Если скорость движения отбрасываемой массы противоположна скорости движения системы, то система ускоряется. Если наоборот, то замедляется. Таким образом, получаем **уравнение движения тела переменной массы**:

$$(1.36) \quad m\vec{a} = \vec{F} + \vec{F}_p.$$

В то же время, если мы не будем рассматривать истекающее из системы вещество, как уже не принадлежащее системе, тогда следует учесть его, вычисляя импульс и центр масс системы, и мы немедленно увидим, что в полной системе ничего не изменилось. То есть в механике устанавливается, что единственный способ изменить движение системы, это ... изменить состав системы. По сути, то же касается и любых внешних воздействий. Если воздействующее на систему тело *считать* частью системы – то полная система продолжает двигаться по инерции, а если *не считать*, то движение системы изменяется. Получается, что выполнимость закона сохранения импульса, например, зависит от выбора, что считать, а что не считать входящим в изучаемую систему. Мы просим

запомнить это соображение. Как мы уже отмечали выше, импульс является идеей и, как видим теперь, демонстрирует соответствующее поведение, оказываясь зависящим от выбора исследователя. Скорость, конечно же, тоже идея, ровно по тем же причинам. Но скорость, не соотношённая с конкретным телом, есть идея уже даже не физическая, а чисто *математическая*.

Кроме идеи импульса, второй знаменитой идеей механики является идея *энергии*. Цитируем по [1]: «*Энергия – универсальная мера различных форм движения и взаимодействия. С различными формами движения материи связывают различные формы энергии: механическую, тепловую, электромагнитную, ядерную и др.*» В дальнейшем мы покажем, что все виды энергии, рассматриваемые в физике, *сводятся* к одному виду. Каждое тело обладает определённым количеством энергии. Предполагается, что в процессе взаимодействия тел происходит обмен энергией. Чтобы количественно охарактеризовать процесс обмена энергией, в механике вводится понятие *работы силы*.

Если тело движется прямолинейно и на него действует постоянная сила F , которая составляет некоторый угол α с направлением перемещения, то работа этой силы равна произведению проекции силы F_s на направление перемещения ($F_s = F \cos \alpha$), умноженной на перемещение точки приложения силы:

$$(1.37) \quad A = F_s s = F s \cos \alpha .$$

Сила может меняться как по модулю, так и по направлению, поэтому в общем случае формулой (1.37) пользоваться нельзя. Если, однако, рассмотреть малое перемещение, то силу во время этого перемещения можно считать постоянной, а движение точки прямолинейным. Для таких малых перемещений справедливо выражение (1.37). Чтобы определить полную работу на участке пути, следует проинтегрировать все элементарные работы на элементарных участках пути:

$$(1.38) \quad A = \int_1^2 F_s ds = \int_1^2 F ds \cos \alpha .$$

Единица работы – *джоуль*. Джоуль есть работа, совершаемая силой в 1 [Н] на пути 1 [м]. Работа может совершаться с различной скоростью. Чтобы охарактеризовать скорость совершения работы, вводится понятие *мощности*:

$$(1.39) \quad N = \frac{dA}{dt} = \frac{\vec{F} d\vec{r}}{dt} = \vec{F} \vec{v} .$$

Единица мощности – ватт. 1 [Вт]=1 [Дж/с].

Кинетической энергией T механической системы называется энергия механического движения этой системы.

Сила F , действуя на тело массой m и разгоняя его до скорости v , совершает *работу по разгону тела*, увеличивая его энергию. Используя второй закон Ньютона и выражение работы (1.38), можем записать:

$$(1.40) \quad A = T = \int_0^v m v dv = \frac{m v^2}{2} .$$

Видим, что кинетическая энергия зависит только от массы и скорости тела и не зависит от того, каким путём тело приобрело эту скорость. Поскольку скорость зависит от выбора системы отсчёта, то и кинетическая энергия зависит от выбора системы отсчёта. То есть –

ведёт себя, как *идея*. Кинетическая энергия системы тел равна простой арифметической сумме кинетических энергий её тел (материальных точек).

Потенциальная энергия U – механическая энергия системы тел, определяемая характером взаимного расположения и сил взаимодействия между ними. На самом деле потенциальная энергия может быть *выражена* через кинетическую энергию материальных точек (тел) системы, которую они приобретут, если позволить им свободно двигаться под действием вышеупомянутых сил взаимодействия.

Полной энергией системы в механике принято называть сумму её кинетической и потенциальной энергий:

$$(1.41) \quad E = T + U .$$

Для энергии также имеет место **закон сохранения**: в системе тел, между которыми действуют лишь *консервативные* силы (т.е. такие силы, которые не увеличивают *тепловую* энергию тел), полная механическая энергия не изменяется со временем (сохраняется). Закон сохранения механической энергии связан со свойством такой метафизической сущности, как время. А именно с его *однородностью*. Однородность времени проявляется в том, что все физические законы *инвариантны* (не изменяют свой вид) относительно выбора начала отсчёта времени. Однородность времени также была изначально *заложена* Ньютоном в основания механики.

Кроме зримого, макроскопического движения тел, существуют ещё движения незримые, микроскопические. Движение *молекул* и *атомов* – структурных единиц *вещества*. Такие незримые движения принято характеризовать некоторой средней по объёму энергией, именуемой *тепловой*. Тепловая энергия есть мера кинетической энергии микроскопического движения структурных единиц вещества. Поскольку движение большого ансамбля частиц всегда считается в той или иной мере хаотичным, то тепловая энергия считается особым видом энергии (и специально изучается в рамках отдельной дисциплины – термодинамики). Считается, что переход энергии из кинетической, например, в тепловую форму необратим. Здесь в ранг физического закона на самом деле возведён всего лишь *технический факт*: мы пока не умеем полностью превращать тепловое движение в поступательное. Это не означает, что такое преобразование *принципиально* невозможно. Невозможность этого всего лишь выведена в рамках термодинамики из её исходных положений. Одним из исходных положений является *статистический* характер термодинамических движений. То есть считается, что такие движения содержат принципиальную неопределённость, случайность. Простите, но когда-то и движение наночастиц было неуправляемым для человека и считалось принципиально стохастичным. Сегодня мы уже собираем конструкции из наночастиц с высочайшей точностью. Очень возможно, что и стохастичность движения молекул является всего лишь технической, а не принципиально-физической.

Изучая различные виды энергии, физика сформулировала более общий закон сохранения энергии: *энергия никогда не исчезает и не появляется вновь, она лишь превращается из одного вида в другой*. Принято *считать*, что этот закон есть следствие неунуничтожимости материи и её движения. Если взглянуть ещё глубже, то этот закон есть следствие *вечности* метафизической Вселенной Ньютона. Постулируя «смертные» Вселенные, как это делается в ряде космологических моделей, учёный должен допустить и нарушения закона сохранения энергии.

§ 1.2. Применение механики к понятию поля. Тонкое тело механики

До сих пор, когда речь шла о материальных объектах, мы предполагали, что они состоят из того или иного **вещества**. Со школьной скамьи все мы знаем, что вещество - это *материя*, пребывающая в одном из известных нам **агрегатных состояний**: твёрдом, жидком, газообразном и плазменном. Однако понятие *материя* не исчерпывается понятием *вещество*. Современная физика не могла бы существовать, если бы ограничивала свою сферу деятельности только веществом. Не менее, а может быть уже и более важными для физики являются **физические поля**. В 1830 г. великий М. Фарадей впервые ввёл в науку понятие «поле». С тех пор слова «материя» и «вещество», бывшие ранее просто синонимами, начали расходиться по смыслу. Материя стала обобщающей, философской категорией для двух субстанций: вещества и поля. Более чем за 170 лет история совершила круг, и в настоящий момент границы между веществом и полем начали активно размываться в сознании исследователей. Так что же есть «вещество», а что есть «поле»? Обратимся, для начала, к литературным источникам, в частности БСЭ (Большой советской энциклопедии).

Вещество,

вид материи, которая, в отличие от поля физического, обладает массой покоя (см. Масса). В конечном счете В. складывается из элементарных частиц, масса покоя которых не равна нулю (в основном из электронов, протонов, нейтронов). В классической физике В. и поле физическое абсолютно противопоставлялись друг другу как два вида материи, у первого из которых структура дискретна, а у второго непрерывна. Квантовая физика, внедрившая идею двойственной корпускулярно-волновой природы любого микрообъекта (см. Квантовая механика), привела к нивелированию этого противопоставления. Выявление тесной взаимосвязи В. и поля привело к углублению представлений о структуре материи. На этой основе были строго отграничены категории В. и материи, на протяжении многих веков отождествлявшиеся в философии и науке, причём философское значение осталось за категорией материи, а понятие В. сохранило научный смысл в физике и химии. В. в земных условиях встречается в четырёх состояниях: газы, жидкости, твёрдые тела, плазма. Высказывается предположение, что В. может существовать также в особом, сверхплотном состоянии (например, нейтронном состоянии; см. Нейтронные звёзды).

Лит.: Вавилов С. И., Развитие идеи вещества, Собр. соч., т. 3, М., 1956, с. 41-62; Структура и формы материи, М., 1967.

И. С. Алексеев.

Пока что довольно странно. Определение вещества, во-первых, негативно (просто «отличается от поля»), во-вторых, отсылает нас к другому определению – массы, причём некоторого особого вида, «массы покоя». Запомним и продолжим. Выясним, что принято понимать под словом «поле».

Поля физические,

особая форма материи; физическая система, обладающая **бесконечно большим числом степеней свободы**. Примерами П. ф. могут служить электромагнитное и гравитационное поля, поле ядерных сил, а также волновые (квантованные) поля, соответствующие различным частицам.

Впервые (30-е гг. 19 в.) понятие поля (электрического и магнитного) было введено М. Фарадеем. Концепция поля была принята им как альтернатива теории дальнего действия, т. е. взаимодействия частиц на расстоянии без какого-либо промежуточного агента (так интерпретировалось, например, электростатическое взаимодействие заряженных частиц по закону Кулона или гравитационное взаимодействие тел по закону всемирного тяготения Ньютона). Концепция поля явилась возрождением теории близкого действия, основоположником которой был Р. Декарт (1-я половина 17 в.). В 60-х гг. 19 в. Дж. К. Максвелл развил идею Фарадея об электромагнитном поле и сформулировал математически его законы (см. Максвелла уравнения).

Хм... Здесь приведена лишь одна физическая характеристика поля, отличающая его от всего остального. Видимо, придётся выяснить, что имелось в виду под словами «степени свободы». Но сначала выясним определения понятий «электрическое поле» и «магнитное поле», коль скоро они были исторически введены первыми.

Электрическое поле,

частная форма проявления (наряду с магнитным полем) электромагнитного поля, определяющая действие на электрический заряд силы, не зависящей от скорости его движения. Представление об Э. п. было введено в науку М. Фарадеем в 30-х гг. 19 в. Согласно Фарадею, каждый покоящийся заряд создаёт в окружающем пространстве Э. п. Поле одного заряда действует на другой заряд, и наоборот; так осуществляется взаимодействие зарядов (концепция близкодействия). Основная количественная характеристика Э. п. - напряжённость электрического поля E , которая определяется как отношение силы F , действующей на заряд, к величине заряда q , $E = F/q$. Э. п. в среде наряду с напряжённостью характеризуется вектором электрической индукции (см. Индукция электрическая и магнитная). Распределение Э. п. в пространстве наглядно изображается с помощью силовых линий напряжённости Э. п. Силовые линии потенциального Э. п., порождаемого электрическими зарядами, начинаются на положительных зарядах и оканчиваются на отрицательных. Силовые линии вихревого Э. п., порождаемого переменным магнитным полем, замкнуты. Напряжённость Э. п. удовлетворяет принципу суперпозиции, согласно которому в данной точке пространства напряжённость поля E , создаваемого несколькими зарядами, равна сумме напряжённостей полей (E_1, E_2, E_3, \dots) отдельных зарядов: $E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots$ Суперпозиция полей вытекает из линейности Максвелла уравнений.

Лит.: Тамм И. Е., Основы теории электричества, 9 изд., М., 1976, гл. 1, 6; Калашиников С. Г., Электричество, 4 изд., М., 1977 (Общий курс физики), гл. 2, 13.

Г. Я. Мякишев.

Как уже ожидалось, вновь отсылка к другому определению. На сей раз «электромагнитного поля». К тому же электрическое поле упоминается совместно с магнитным полем.

Магнитное поле,

силовое поле, действующее на движущиеся электрические заряды и на тела, обладающие магнитным моментом, независимо от состояния их движения. М. п. характеризуется вектором магнитной индукции, B , который определяет: силу, действующую в данной точке поля на движущийся электрический заряд (см. Лоренца сила); действие М. п. на тела, имеющие магнитный момент, а также другие свойства М. п.

Впервые термин «М. п.» ввёл в 1845 М. Фарадей, считавший, что как электрические, так и магнитные взаимодействия осуществляются посредством единого материального поля. Классическая теория электромагнитного поля была создана Дж. Максвеллом (1873), квантовая теория в 20-х годах 20 века (см. Квантовая теория поля).

Источниками макроскопического М. п. являются намагниченные тела, проводники с током и движущиеся электрически заряженные тела. Природа этих источников едина: М. п. возникает в результате движения заряженных микрочастиц (электронов, протонов, ионов), а также благодаря наличию у микрочастиц собственного (спинового) магнитного момента (см. Магнетизм).

Снова упоминание о некоторой *единой* сущности, при помощи которой осуществляются как электрические, так и магнитные взаимодействия. Так что за сущность?

Электромагнитное поле,

особая форма материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между электрически заряженными частицами (см. Поля физические). Э. п. в вакууме характеризуется вектором напряжённости электрического поля E и магнитной индукцией B , которые определяют силы, действующие со стороны поля на неподвижные и движущиеся заряженные частицы. Наряду с векторами E и B , измеряемыми непосредственно, Э. п. может характеризоваться скалярным j и векторным A потенциалами, которые определяются неоднозначно, с точностью до градиентного преобразования (см. Потенциалы электромагнитного поля). В среде Э. п. характеризуется дополнительно двумя вспомогательными величинами: напряжённостью магнитного поля H и электрической индукцией D (см. Индукция электрическая и магнитная).

Поведение Э. п. изучает классическая электродинамика, в произвольной среде оно описывается Максвелла уравнениями, позволяющими определить поля в зависимости от распределения зарядов и токов. Микроскопические Э. п., созданные отд. элементарными частицами, характеризуются напряжённостями микроскопических полей: электрического поля E и магнитного H . Их средние значения связаны с макроскопическими характеристиками Э. п. следующим образом: $\langle \rangle$. Микроскопические поля удовлетворяют Лоренца - Максвелла уравнениям.

Э. п. неподвижных или равномерно движущихся заряженных частиц неразрывно связано с этими частицами; при ускоренном движении частиц Э. п. «отрывается» от них и существует независимо в форме электромагнитных волн.

Порождение Э. п. переменным магнитным полем и магнитного поля переменным электрическим приводит к тому, что электрические и магнитные поля не существуют обособленно, независимо друг от друга. Компоненты векторов, характеризующих Э. п., образуют, согласно относительности теории, единую физ. величину тензор Э. п., компоненты которого преобразуются при переходе от одной инерциальной системы отсчёта к другой в соответствии с Лоренца преобразованиями.

При больших частотах Э. п. становятся существенными его квантовые (дискретные) свойства. В этом случае классическая электродинамика неприменима и Э. п. описывается квантовой электродинамикой.

Лит.: Тамм И. Е., Основы теории электричества, 9 изд., М., 1976; Калашиников С. Г., Электричество, 4 изд., М., 1977 (Общий курс физики, т. 2); Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М., Фейнмановские лекции по физике, в. 5-7, М., 1966-67; Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Теория поля, 6 изд., М., 1973 (Теоретическая физика, т. 2); их же, Электродинамика сплошных сред, М., 1959.

Г. Я. Мякишев.

Совсем становится странно. Электрические и магнитные поля, оказывается, не существуют по отдельности. Разве?! Вы не держали в руках электрически нейтрального магнита? У него нет никакого заметного электрического поля, которое можно было бы обнаружить. А разве вы не видели заряженной медной сферы в физическом кабинете школы? Никакого сколь-нибудь заметного магнитного поля вокруг неё нет. Чтобы появилось это магнитное поле, заряженную сферу надо привести в *движение*. Остановите заряженную сферу – магнитное поле вновь исчезнет. А если не заряженную сферу двигать, а самому двигаться? Никакой разницы. Двинетесь – есть магнитное поле. Остановитесь – нет его. Значит, по Вашей воле оно может появляться и исчезать. Но мы же верим в принцип объективности материального мира! (Иначе надо бы не физикой заниматься, а изучать больше, скажем, «растения силы»). Ну не может, никак не может та или иная субстанция, будучи объективно существующей, появляться и исчезать по нашей воле...

А кстати, куда нас на сей раз отослали? На сей раз к «*заряженным частицам*». Стоп. Первой отсылкой в нашем поиске была «*масса*». Притормозим. Запомним, что исследуя такие понятия, как вещество и поле, мы по цепочке приходим к понятиям масса и заряд. Как ни странно, в электронной версии БСЭ не нашлось определения слова «масса»! Статьи, определяющей термин «масса покоя», также не нашлось. Забавно? А вот, что говорят другие уважаемые научные словари и энциклопедии.

Масса (Брокгаузен Эфрон)

Масса, механ., величина, которою определяется инертность тела, то есть стремление его сохранять величину и направление скорости абсолютного движения. Количество материи называют М. тела. М. равна отношению между движущей силой (f) и произведенным ею ускорением (a), или М.: a, то есть М. прямо пропорциональна силе и обратно пропорциональна ускорению. Сравнение различных М. между собою производится посредством рычажных весов. М. величина, единица которой легла в основу абсолютной системы единиц, - сантиметр - грамм - секунда (С. Г. S).

Вполне ясно и понятно. Масса определяется через ускорение и силу, которые суть легко измеряемые физические величины. Мы бы только добавили для общности, что источник силы для измерения неподвижен относительно тела, чью массу мы хотим измерить.

Масса (Глоссарий.ru)

Масса - скалярная физическая величина, определяющая инерционные и гравитационные свойства материи. Различают:

- инертную массу, входящую в выражение второго закона Ньютона; и
- гравитационную массу, входящую в выражение закона всемирного тяготения.

При соответствующем выборе гравитационной постоянной инертная и гравитационная массы совпадают. В СИ масса измеряется в кг.

Почти столь же ясно и понятно, с той разницей, что у Ньютоновой инерционной массы появилась сестра-близнец «гравитационная масса». Тут также всё можно измерить, в том числе и силу притяжения тел. Оговорка относительно неподвижности при измерении также весьма была бы кстати.

Масса покоя. (Глоссарий.ru)

Масса покоя - масса частицы/тела в системе отсчета, в которой эта частица/тело покоится.

Краткость – сестра таланта. Но нам всё же удалось кое-что выяснить. Итак, поле – не имеет массы покоя. Это наводит на мысль, что какую-то другую массу оно всё-таки имеет. Значит, нет такой системы, в которой бы поле покоилось. Так? Надеемся, речь шла лишь об инерциальных системах отсчёта... Из определения, кстати, это неочевидно. Тогда, например, поле покоящегося точечного заряда не будет покоящимся в системе этого заряда! Такое возможно лишь в одном случае – полю *имманентно* присуще движение, причём не абы какое, а такое, которое принципиально неуничтожимо выбором инерциальной системы отсчёта. Что бы это могло быть?! Ну, например, вращательное движение... не так ли? То есть – заряд-то неподвижен, а вот его поле пребывает в некоем непрерывном, например, вращательном движении. Возможны и другие варианты *неустранимого* выбором системы отсчёта движения. Впоследствии мы покажем, что этот почти метафизический вывод неоднократно подтверждается при изучении различных вопросов физики. Когда мы будем изучать, что же такое заряд, этот вывод очень нам пригодится. Кроме того, мы выяснили, что поле имеет бесконечное число степеней свободы. Давайте теперь посмотрим на определение числа степеней свободы, поскольку именно эта физическая характеристика, как выяснилось, отличает вещество от поля.

Степеней свободы число

Степеней свободы число в механике, число независимых между собой возможных перемещений механической системы. С. с. ч. зависит от числа материальных частиц, образующих систему, и числа и характера наложенных на систему связей механических. Для свободной частицы С. с. ч. равно 3, для свободного твёрдого тела — 6, для тела, имеющего неподвижную ось вращения, С. с. ч. равно 1 и т.д. Для любой голономной системы (системы с геометрическими связями) С. с. ч. равно числу s независимых между собой координат, определяющих положение системы, и даётся равенством $S = 3n - k$, где n — число частиц системы, k — число геометрических связей. Для неголономной системы С. с. ч. меньше числа координат, определяющих положение системы, на число кинематических связей, не сводящихся к геометрическим (неинтегрируемых). От С. с. ч. зависит число уравнений движения и условий равновесия механической системы.

Вот так! Обладающее бесконечным числом степеней свободы *поле* должно иметь возможность бесконечного числа *независимых механических перемещений*. То есть любая, сколь угодно малая часть поля также должна обладать той же свободой перемещений. Фактически здесь утверждается абсолютная бесструктурность поля. Иными словами – *вещество имеет некую микроструктуру, поле – нет*. Мы во Введении постулировали бесструктурность для *мировой среды* (эфира, вакуума, плenums). Если на секундочку предположить, что та сущность, которая именуется физическими полями, являет собой возмущённые состояния мировой среды, то всё становится понятно. Бесструктурность полей просто унаследована от той сущности, проявлениями которой они являются.

Попробуем просуммировать результаты нашего экскурса:

- *поле не является веществом*, в том смысле что
- *поле не имеет массы покоя*, ибо
- *поле пребывает в непрерывном неинерциальном движении*, в отношении коего
- *поле бесструктурно*, то есть

любая его сколь угодно малая часть может двигаться независимо от других частей.

Соответственно,

- *вещество не является полем, в том смысле что*
- *вещество имеет массу покоя, ибо*
- *можно найти такую инерциальную систему, в которой вещество покоится, причём*
- *вещество структурировано, в том смысле что*
- *существует столь малая его часть, что дальнейшее деление невозможно.*

Мы вряд ли имеем сомнение в том, что *всякому веществу присуще механическое движение*. Некоторые виды движений можно «устранить» выбором системы отсчёта. Полю же, согласно только что рассмотренным определениям, должно быть также имманентно присуще механическое движение, причём принципиально неустранимое выбором инерциальной системы отсчёта. Механические движения вещественных тел широко и глубоко изучены современной физикой. Кинематика, динамика, в т.ч. релятивистская... Механические же движения *полей* словно не существуют. То есть когда физики говорят о поле, то его движения составляют как бы особый, немеханический класс. Электродинамика лишь довольно робко оговаривается о единственной вполне механической характеристике электромагнитного поля – скорости распространения электромагнитной волны. Именно волны, как конкретной особой формы поля. За волной также признаётся наличие механического импульса. Скорость и импульс магнитного и электрического поля вне конкретного случая электромагнитной волны, как правило, не используются. А когда всё-таки используются (например, у Р. Фейнмана), то часто приводят к явным несуразностям. И в то же время нам уже хорошо известно, что на микроуровне механическое взаимодействие вещественных тел осуществляется именно через поля. Не противоречие ли? Разве вы слышали в отношении, скажем, статических полей слова «ускорение поля», «импульс поля», «момент импульса поля»? Поднесите к магниту другой магнит. Покоившийся доселе предмет придёт в движение и устремится либо к, либо от того магнита, который в вашей руке. Разве возможно сомневаться, что пришедший в движение магнит приобрёл механический импульс, кинетическую энергию, ускорение? Через что же получил он эти механические характеристики, как не через магнитное поле?! Следовательно, поле с очевидностью способно как минимум *передавать* механические характеристики. В то же время современная физика прочно стоит на концепции близкодействия и, следовательно, ограниченной скорости распространения любых взаимодействий. А, следовательно, чтобы передать некие механические характеристики от одного предмета к другому через пространство, поле должно хоть на краткий миг *сохранить* эти характеристики. Это с очевидностью означает, что поле может и должно обладать самыми обычными, *классическими, механическими характеристиками*. Вспомним, что и на практике поля часто используются как тела, например как тела отсчёта.

Ну, так вот оно – «тонкое тело» механики! Это *поле*. И, как мы выяснили, для него должны быть сформулированы все те же классические механические характеристики, что и для вещества. И масса у него должна быть, и плотность, и прочая, и прочая, и прочая... И движение ему присуще даже в большей степени, чем веществу, так что должна быть сформулирована и кинематика поля, и динамика. На счёт статики вот только мы не уверены. Разумеется, поле, как особая, бесструктурная материя, обладающая бесконечным числом степеней свободы, может вести себя отлично от вещества. Большинство этих вопросов не только не были продуманы в физике, но даже не были *поставлены*. Может быть, именно поэтому к началу XX века физикам *показалось*, что электродинамика противоречит классической механике?

Помните, во Введении мы говорили, что одним из главных признаков хорошей физической теории является её *способность к развитию*. Почему-то учёные в XIX веке решили, что классическая механика полностью *завершена*. И вместо того, чтобы развить её, расширив и включив в неё недавно открытое поле, они, ни шага не сделав для развития механики, просто объявили, что она противоречит электродинамике [5]. Так давайте попытаемся всё-таки развить служившую людям триста лет классическую механику, распространив её на поле. Искушенный читатель может заметить, что подобных попыток распространить механику на поля в наше время производилось уже множество [Ацюковский и др.]. Большинство этих попыток были попытками представить электрические (а иногда и гравитационные) явления как чисто механические (аэродинамические, гидродинамические) движения эфира. При этом сам эфир рассматривался как газ или жидкость особого рода. Ещё раз повторим: мы полностью отказываемся от подобного подхода. В последнее время появились работы некоторых исследователей, которые пытаются механические явления объяснить электрическими [10]. Этот подход представляется нам более перспективным. Но, на наш взгляд, и этот путь – не лучший. Мы считаем, что объединение электродинамики и механики должно происходить *с двух сторон*, при этом и механика и электродинамика должны быть в значительной мере *переосмыслены*. В механике очень хорошо изучено движение как таковое. Движение, почти оторванное от того, что именно движется. Именно эту часть механики (кинематику) мы, для начала, попытаемся применить к полю, чтобы определить *особенности* его движения.

§ 1.3. Механическое движение поля. Два сорта движений. Скорость движения поля

Сейчас мы вынуждены будем несколько забежать вперёд, в область электричества и магнетизма, поскольку будем изучать, как именно двигаются поля. Для этого необходимы такие конкретные поля, которыми мы *умели бы управлять*. А все такие поля имеют электрическую природу. Мы надеемся, что основные, общепринятые представления об электричестве и магнетизме у читателя уже имеются, в противном случае можно обратиться к главам 2 и 3.

Определение базовых понятий

Вряд ли у кого-то вызовет сомнения тот факт, например, что поле постоянного магнита *перемещается* в пространстве *вместе* с самим магнитом. Это представляется тривиальным. Однако, вообразите себе, что мы не имеем возможности наблюдать магнит (источник поля), но создаваемое им поле доступно для изучения наблюдателю. Каким образом наблюдатель может установить, что поле совершило подобное «механическое» перемещение и куда именно оно переместилось? Предположим, для конкретности, что речь идёт о магнитном поле, и отвлечёмся на время от всех споров физиков о его реальности. В таком случае, поле полностью определяется вектором его индукции \vec{B} во всех точках пространства. Величина \vec{B} введена в физике как силовая характеристика магнитного поля, определяющая силу, с которой действует поле на пробный магнит достаточно малых размеров. Однако интуитивно понятно, что если мы имеем дело с механическим перемещением источника поля из точки A_1 в точку A_2 , то нет никакой необходимости изучать поле во всём пространстве, ведь очевидно, что произошедшее изменение в пространственном распределении вектора \vec{B} в некотором смысле однообразно. Для дальнейших рассуждений предположим, что мы имеем дело с магнитным диполем и его полем, и будем считать перемещение магнита малым, по

сравнению с характерным расстоянием от него до наблюдателя. Рассмотрим простейший случай, когда магнит переместится строго по линии, соединяющей его с наблюдателем на расстояние Δr . При этом наблюдатель зафиксирует изменение вектора индукции поля \vec{B} в точке наблюдения O (рис.1.1). Наблюдатель располагает часами, линейкой и магнитометром, пользуясь которыми, он получает величину вектора \vec{B} в последовательные моменты времени. Очевидно, что при перемещении магнита, как показано на рис. 1.1, наблюдатель зафиксирует рост модуля \vec{B} при сохранении его направления в пространстве, причём рост этот будет для него функцией времени. Таким образом, мы в точности знаем, что магнит (а вместе с ним и его поле) переместился на расстояние Δr за время Δt . В то же время наш наблюдатель в точке O зафиксировал изменение модуля вектора магнитной индукции на величину $\Delta \vec{B}$ за время Δt . Зададимся вопросом, где же наблюдатель теперь обнаружит тот вектор \vec{B}_1 , который он измерил в первый момент от начала движения магнита? Подвигав магнитометр туда-сюда, он обнаружит его в положении O' на расстоянии $\vec{r} + \Delta \vec{r}_B$.

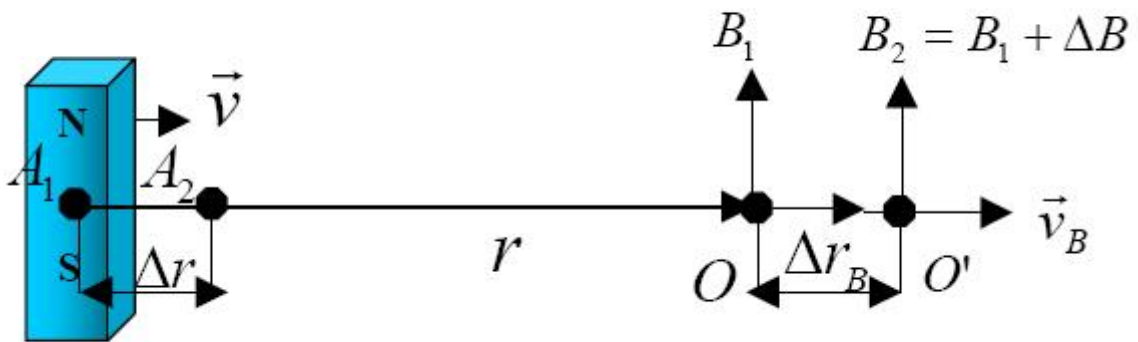


Рис.1.1. К вопросу об определении скорости движения поля.

При этом наблюдатель имеет полное право сделать выводы о величине *средней скорости перемещения источника поля*. В частности, определить скорость как:

$$(1.42) v_B = \frac{\Delta r_B}{\Delta t}, [\text{м/с}]$$

где $\Delta \vec{r}_B$ – расстояние от точки наблюдения O до точки, где «оказалось» изначальное поле \vec{B}_1 . Определенная таким образом скорость оказывается **равной механической скорости** перемещения *вещественного* тела – магнита. На этом *определении* (1.42) нами был создан простой физический *прибор* – измеритель средней скорости движения поля (см. приложение П5). Прибор содержит два холловских датчика магнитного поля, разнесённых в пространстве, и микропроцессор для оцифровки показаний датчика и вычисления скорости. Сначала фиксируется значение напряжённости поля на первом датчике. Расстояние между датчиками известно. Прибор сравнивает показания на втором датчике с запомненной величиной поля на первом до тех пор, пока они не сравняются. Расстояние между датчиками делится на затраченное время. Получаем *среднюю скорость движения поля*. Показания прибора в точности совпадают с величиной заданной скорости движения магнита (источника поля) при равномерном движении последнего.

Введём *определение*: мгновенной скоростью движения поля \vec{B} в точке O в момент t_0 называется предел отношения:

$$(1.43) v_B = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r_B}{\Delta t} \text{ [м/с]}.$$

где Δr_B определено как расстояние в момент времени $t_0 + \Delta t$ от точки наблюдения O до точки O' , в которой обнаружен вектор \vec{B} , в точности равный тому, который был в точке наблюдения O в момент t_0 .

Можно показать, что введённая таким образом новая физическая величина «*мгновенная скорость движения поля в точке*» в случае нерелятивистского механического перемещения будет численно равна *классической* механической скорости перемещения точечного источника поля. В случае изменяющегося во времени поля эта простая связь нарушится.

Указанное нарушение с неизбежностью можно было ожидать из того простого факта, что поле в современной физике определено (дословно) как «материальная физическая система, имеющая неограниченное число степеней свободы». Именно неограниченность степеней свободы и отличает поле от вещества, по мнению большинства современных физиков. Поэтому, вводя понятие механической скорости для новой физической субстанции (поля), следовало ожидать, что оно будет иметь отличия от соответствующего понятия, введённого ранее для вещества.

Теперь определим *неподвижное* в лабораторной системе отсчёта поле, в том смысле, что определенная по (1.43) скорость v_B для *каждой точки* этого поля тождественно равна нулю, при том условии, что она измерялась неподвижным в той же системе наблюдателем. Отсюда с очевидностью следует, что для *движущегося* в лабораторной системе наблюдателя измеренная им в собственной системе скорость v_B *всюду* окажется равна его собственной скорости v **относительно** неподвижной лабораторной системы отсчёта. Так проявляется в случае полей *механический принцип относительности*: если наблюдатель движется относительно тела с некоторой скоростью, то и тело движется относительно наблюдателя с той же по модулю и обратной по направлению скоростью. Выглядит вполне естественно, не так ли?!

Назовём *стационарным* такое поле, для которого *существует инерциальная система отсчёта, в которой оно неподвижно*.

Для строгости следует отметить, что не всякое постоянное во времени поле будет являться стационарным (например, поле вращающегося вокруг своей оси цилиндрического магнита), но это тема для отдельного рассмотрения.

Движение переменных полей

Кроме достаточно очевидных движений поля как целого (т.е. *стационарных* движений полей), которые, как мы выяснили только что, *повторяют движения своего источника*, существуют и менее очевидные. Это движения одних *фрагментов* поля относительно других его же фрагментов. Такого рода движения возникают, в частности, в случае изменения «силы» (интенсивности) источника поля во времени. В наличии указанных движений легко убедиться, вооружившись определением (1.43) и исследовав, например, поле бесконечно длинного провода с *изменяющимся во времени* током (рис. 1.2.).

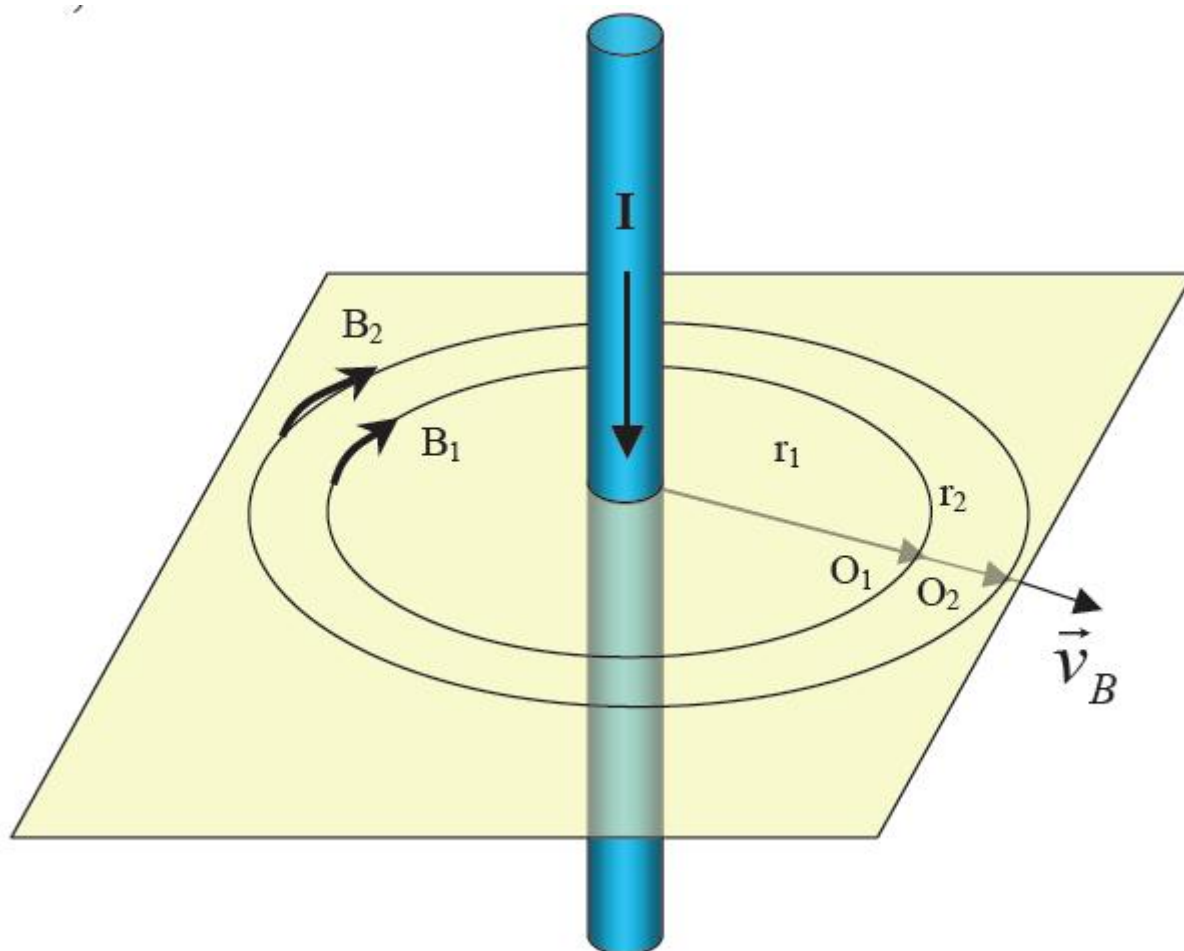


Рис. 1.2. Движение магнитного поля переменного тока, протекающего в прямом проводе.

Рассмотрим участок прямолинейного бесконечного тока, изображенный на рисунке, и создаваемое им поле \vec{B} в плоскости, перпендикулярной току. Как известно [2], поле такого тока на расстоянии \vec{r} от него определяется по формуле:

$$(1.44) \quad B = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I}{r} \quad [\text{Тл}],$$

притом силовые линии такого поля представляют собой концентрические окружности в указанной плоскости, а направление векторов \vec{B} определяется по правилу буравчика. Теперь увеличим силу I_1 протекающего тока, например, вдвое за время Δt равное, например, одной секунде. Тогда поле \vec{B}_2 тока I_2 равного $2I_1$ всюду примет значение равное $2\vec{B}_1$, согласно [3]. Зададимся всё тем же вопросом, на каком расстоянии r_2 мы обнаружим такое поле, что его векторная величина в точности равна \vec{B}_1 ? Безусловно, из (1.44) с очевидностью следует, что это расстояние r_2 равно $2r_1$. Таким образом, мы можем сказать, что поле \vec{B}_1 , за которым мы наблюдали, за время Δt в результате изменения тока в источнике поля *переместилось* на расстояние равное $r = 2r_1 - r_1 = r_1$. Обратившись к определению (1.42), мы немедленно определим *среднюю скорость движения поля* в данной точке как:

$$(1.45) \quad v_B = \frac{r}{\Delta t} \quad [\text{м/с}].$$

Перейдя к малым приращениям величин, согласно определению (1.43) и используя описанную выше «*процедуру поиска*» нового положения поля понимаем, что поле должно переместиться на такое расстояние dr , чтобы, согласно формуле (1.44), отношение $B + dB$ к расстоянию $r + dr$ не изменилось бы и осталось равным отношению B к r :

$$(1.46) \quad \frac{B + dB}{r + dr} = \frac{B}{r},$$

раскрывая скобки и упрощая, получим:

$$(1.47) \quad \frac{dr}{r} = \frac{dB}{B}.$$

Разделив обе части равенства на интервал времени dt , получим:

$$(1.48) \quad \frac{dr}{dt} \frac{1}{r} = \frac{dB}{dt} \frac{1}{B},$$

поскольку (1.43) определяет скорость v_B как предел отношения приращений равный dr/dt , можем записать:

$$(1.49) \quad v_B = r \frac{\dot{B}}{B} \text{ [м/с]},$$

где \dot{B} - производная поля B по времени, определённая для точки r . Причём направлена эта скорость радиально в сторону увеличения расстояния, если приращение dB положительно и в обратную сторону, если оно отрицательно.

Казалось бы, получен хороший результат – определена скорость движения поля в точке для простого случая переменных во времени полей. Однако мы здесь лишь *наметили* путь верного решения проблемы, но допустили существенную *ошибку*. Мы как бы забыли о *неограниченности числа степеней свободы поля* и при рассмотрении задачи не выходили *за рамки плоскости*, обозначенной на рис. 1.2. Реальное же поле ничего не знало, о *воображаемых* нами плоскостях и двигалось не только из центра провода O в точке пересечения его с этой плоскостью, но и от всех *остальных* точек провода, лежащих уже отнюдь не на расстоянии r от той точки, для которой решалась задача. При этом, очевидно, что результат может весьма отличаться от столь грубого приближения (1.49). К счастью, похожая задача уже более ста лет решена в классической физике, и мы можем просто воспользоваться готовым методом.

Так как, согласно принципу суперпозиции [4], поле B в любой точке создаётся всеми бесконечно малыми элементами dl бесконечного тока I , то, следуя методике Био-Савара-Лапласа [4], мы должны рассмотреть бесконечную совокупность бесконечно малых элементов тока и просуммировать *явления*, создаваемые ими в интересующей нас точке пространства. Разумеется, если оные явления также подчиняются принципу суперпозиции и их *в принципе можно* суммировать.

При этом мы увидим бесконечное число бесконечно слабых полей, движущихся в вышеуказанном нами смысле сквозь выбранную точку пространства в различных, вообще говоря, направлениях и с различными скоростями. Таким образом, мы не только постулировали бесконечное число степеней свободы поля, но и реально ими воспользуемся на уровне физической теории для решения поставленной физической

задачи. Чтобы показать, как такое использование осуществимо на практике, мы вначале укажем физическое средство, коим можно измерить и оценить суммарный эффект, производимый движениями фрагментов поля сквозь точку пространства. По нашему мнению, таковым средством является *элементарный заряд*, в качестве пробного тела помещённый в изучаемую точку.

Движение поля относительно заряда порождает, в принципе, те же явления, что и движение заряда относительно поля, с той лишь количественной разницей, которая определяется более сложным характером движения нестационарных полей. Известно, что на заряд, движущийся относительно магнитного поля, действует сила Лоренца [4]. В силу принципа относительности следует, что и поле, движущееся относительно заряда, произведёт силу Лоренца. Мы же утверждаем, что и малый *фрагмент поля*, движущийся относительно заряда, порождает ровно ту же силу Лоренца. Множество фрагментов порождает множество сил, однако силы, в отличие от скоростей, вполне подчиняются принципу суперпозиции, и можно ожидать, что пробный заряд послужит «интегратором» этих сил и укажет нам их равнодействующую. Проверим это!

Скорость движения поля бесконечного провода с током

Из обобщения трудов Био и Савара, сделанного Лапласом [1, с.205], следует, что для проводника с током \vec{I} , элемент $d\vec{l}$ которого создаёт в некоторой точке A (рис. 1.3) индукцию магнитного поля $d\vec{B}$ справедливо:

$$(1.50) \quad d\vec{B} = \mu\mu_0 \frac{I[d\vec{l}, \vec{r}]}{4\pi \cdot r^3},$$

где $d\vec{l}$ – вектор, по модулю равный длине dl элемента проводника и совпадающий по направлению с током I , \vec{r} – радиус-вектор, проведенный в точку A поля, r – модуль этого радиус-вектора.

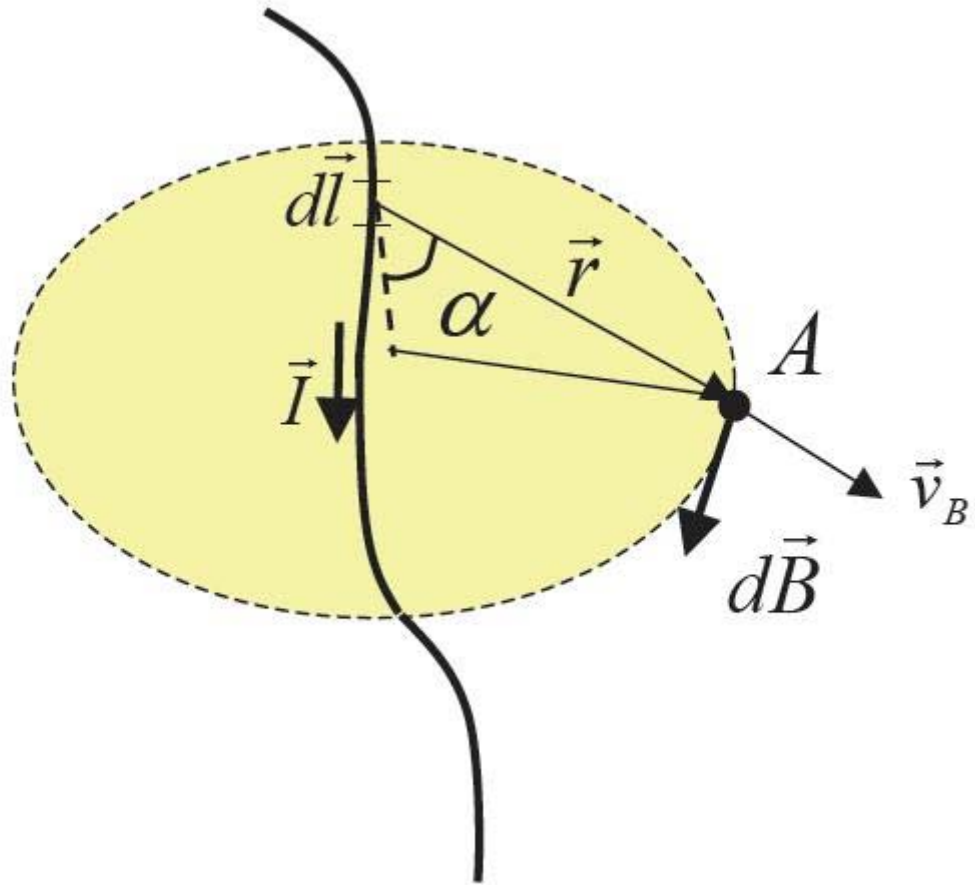


Рис. 1.3. К выводу выражения для скорости движения поля элемента тока $Id\vec{l}$

Соответственно, модуль dB определяется выражением:

$$(1.51) \quad dB = \mu\mu_0 \frac{Idl \sin(\alpha)}{4\pi \cdot r^2},$$

где α - угол между векторами $d\vec{l}$ и \vec{r} .

Теперь, зная вид зависимости поля $d\vec{B}$ от расстояния (квадратичная зависимость), вычислим скорость движения поля элемента $d\vec{l}$ в точке A аналогично (11.46 - 11.49):

$$(1.52) \quad \frac{dB + d^2B}{(r + dr)^2} = \frac{dB}{r^2}.$$

Уравнение (1.52) отражает тот факт, что для того, чтобы найти, на каком расстоянии оказалось поле после того, как оно увеличилось, нам надо, чтобы квадрат расстояния увеличился на столько же, насколько поле. Тогда, раскрывая скобки и упрощая, пренебрегая членами второго порядка малости по dr (т.е. dr^2), получаем:

$$(1.53) \quad \frac{2dr}{r} = \frac{d^2B}{dB}.$$

Делим обе части равенства на dt , переносим r в правую часть и имеем:

$$(1.54) \quad v_B = \frac{dr}{dt} = \frac{1}{2} \cdot r \cdot \frac{d\vec{B}}{dB},$$

где $d\vec{B} = \frac{d}{dB} dB$ производная индукции магнитного поля элемента тока в точке A .

Напомним, что символ d перед символом B в данном случае говорит нам не о том, что это приращение поля, а о том, что это просто поле малого элемента с током.

Сравните (1.54) и (1.49). Выражение для скорости движения поля малого элемента с током лишь **вдвое** отличается от выражения для скорости движения поля бесконечного тока, полученного нами, исходя из весьма грубых приближений. Итак, более точный расчет привёл нас к выражению (1.54) для скорости движения поля малого элемента $d\vec{l}$ при изменении тока I , протекающего сквозь него.

При определении полного магнитного поля прямого тока в физике принято интегрировать поля всех элементов $d\vec{l}$ в точке A . Это возможно, потому что \vec{B} – силовая характеристика, и она подчиняется принципу суперпозиции. Мы не можем поступить так со *скоростями* полей элементов тока, ибо это скорости *разных объектов*. Зато мы можем поступить так с *силами*, действующими на пробный заряд, помещенный в точку A . Как мы уже говорили выше, природа этих сил Лоренцева, поэтому будем пользоваться выражением для силы Лоренца, как если бы элементы с током были бы **неподвижны**, а заряд **двигался** бы с теми скоростями относительно *каждого* элемента, какие мы им приписали выражением (1.54). Здесь мы, пользуясь принципом относительности, вывели для поля свойство **локальной стационарности**, заключающееся в том, что для бесконечно малого элемента нестационарного поля можно считать его стационарным, но *движущимся* в лабораторной системе отсчёта.

Итак, известно выражение для силы Лоренца [1]:

$$(1.55) \quad \vec{F}_L = [\vec{v} \otimes \vec{B}] \cdot q,$$

где \vec{v} – скорость движения заряда относительно поля, \vec{B} – индукция поля, q – заряд. В силу принципа относительности движущееся относительно неподвижного заряда поле породит ту же силу Лоренца. Разница только в том, что знак скорости следует взять противоположным.

Тогда используя (1.54) и полагая $\vec{v} = -\vec{v}_B$, из (1.54) и (1.55) получим:

$$(1.56) \quad d\vec{F}_L = -\frac{1}{2} \cdot \left[\vec{r} \cdot \frac{d\vec{B}}{dB} \otimes d\vec{B} \right] \cdot q = -\frac{1}{2} \left[\vec{r} \otimes \frac{d\vec{B}}{dB} dB \right] \cdot q = -\frac{1}{2} \left[\vec{r} \otimes d\vec{B} \right] \cdot q.$$

Вот такие «элементарные» **силы** Лоренца мы уже вправе проинтегрировать по всем элементам $d\vec{l}$. Для простоты изложения рассмотрим *прямолинейный* бесконечный проводник с током. Воспользуемся вспомогательным рис. 1.4, на котором изобразим ту же ситуацию, что на рис. 1.3, но в плоскости, проходящей через проводник и точку A .

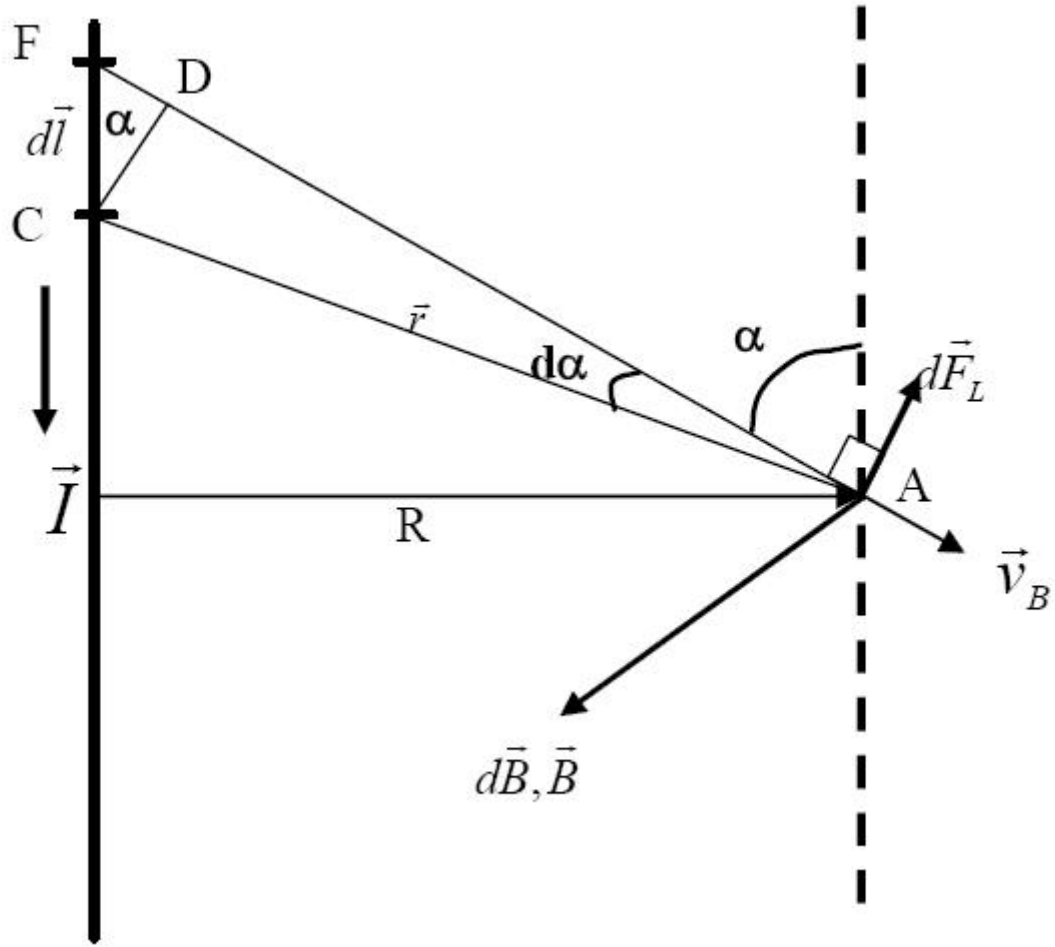


Рис. 1.4. К выводу интегральной силы Лоренца, действующей на заряд q в переменном магнитном поле прямого бесконечного провода с током.

Итак, в произвольной точке A , удалённой от проводника с током \vec{I} на расстояние \vec{R} векторы $d\vec{B}$ от всех элементов тока имеют одинаковое направление, перпендикулярное плоскости чертежа («к нам»).

В качестве постоянной интегрирования выберем угол α (угол между векторами $d\vec{l}$ и \vec{r}), выразив через него все остальные величины. Из геометрии рис. 1.4 следует, что:

$$(1.57) \quad r = \frac{R}{\sin(\alpha)}, dl = \frac{rd\alpha}{\sin(\alpha)}.$$

Радиус дуги CD вследствие малости dl равен r , поэтому угол FDC можно считать прямым. Сила же Лоренца $d\vec{F}_L$ направлена перпендикулярно как радиус вектору \vec{r} , так и полю \vec{B} . Скорость \vec{v}_B направлена вдоль радиус-вектора \vec{r} , как и было ранее показано. Используя (1.51) и учитывая, что производная по напряжённости фрагмента поля $d\dot{B} = \frac{d}{dt} B = \frac{d}{dt} \mu\mu_0 \frac{Idl \sin(\alpha)}{4\pi \cdot r^2} = \mu\mu_0 \frac{\dot{d}l \sin(\alpha)}{4\pi \cdot r^2}$, получим, что сила $d\vec{F}_L$, создаваемая одним элементом проводника, равна с учётом (1.57):

$$(1.58) \quad |d\vec{F}_L| = \left| \frac{1}{2} [\vec{r} \otimes d\dot{B}] \cdot q \right| = \frac{1}{2} \cdot qr \cdot \mu_0 \dot{d}l \frac{rd\alpha}{\sin(\alpha)} \frac{\sin(\alpha)}{4\pi \cdot r^2} = \frac{1}{2} q\mu\mu_0 \frac{dl}{dt} \frac{d\alpha}{4\pi}.$$

Весьма занимательный результат! Так как сила Лоренца, создаваемая *элементом* тока, действующая на пробный заряд, оказалась *не зависящей напрямую от расстояния*. Хотя и зависящей от малого угла $d\alpha$. Рассмотрим теперь силы Лоренца, создаваемые *всеми* элементами dl (рис. 1.5). Учитывая симметричность провода относительно плоскости перпендикулярной проводу и проходящей через точку, A видим, что при сложении «элементарных» сил Лоренца не равный нулю вклад дадут только проекции $d\vec{F}_{L\Pi}$ на прямую, проходящую через точку A и *параллельную* току \vec{I} . Верхняя часть тока такая же, как и нижняя, соответственно, левые силы Лоренца на рис.1.5 равны соответствующим правым.

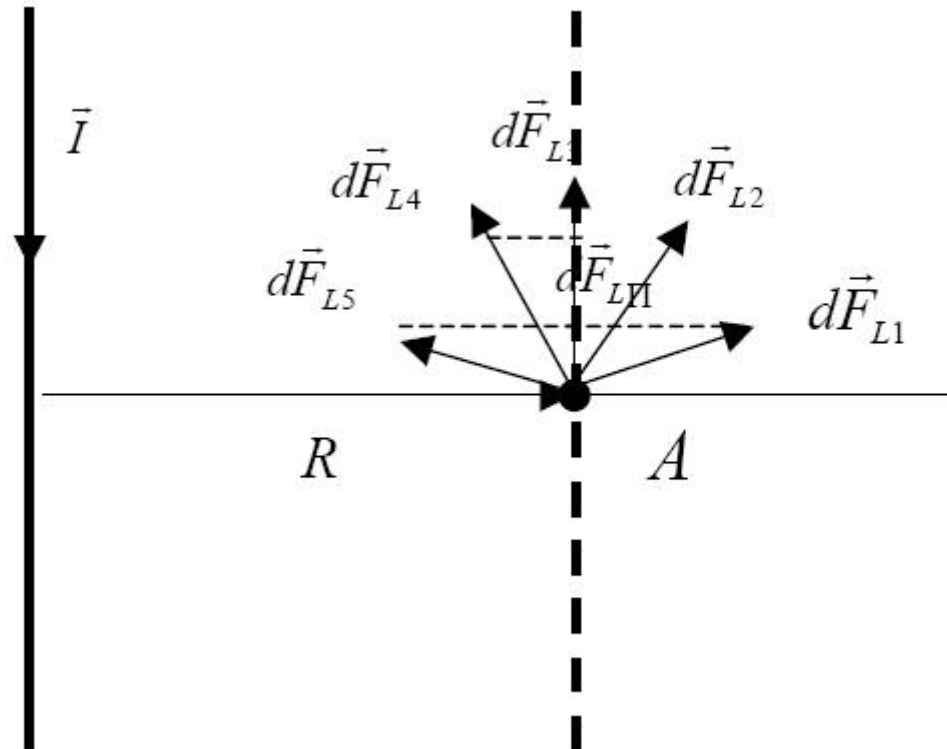


Рис. 1.5 Возможные направления «элементарных» сил Лоренца в точке A

Интегрируя все возможные элементарные силы, создаваемые всеми элементами dl , запишем:

$$(1.59) F_L = \int_{\alpha} dF_{L\Pi} = \int_0^{\pi} \frac{1}{2} q \mu \mu_0 \frac{dI}{dt} \frac{d\alpha}{4\pi} \sin(\alpha) = \frac{1}{2} \frac{q \mu \mu_0}{4\pi} \frac{dI}{dt} \cdot (\cos(0) - \cos(\pi)) = \frac{q \mu \mu_0}{4\pi} \frac{dI}{dt} \quad [\text{H}].$$

Итак, мы получили *выражение для силы, действующей на элементарный пробный заряд, помещенный в произвольную точку A , со стороны магнитного поля бесконечного прямого провода с изменяющимся во времени током*. Естественно было бы, разделив эту силу на величину пробного заряда, получить ещё и выражение для *напряжённости* «поля сторонних сил некулоновской природы», как принято выражаться в физической литературе:

$$(1.60) E_{\text{стор}} = \frac{F_L}{q} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{dI}{dt} \quad [\text{Гн} \cdot \text{А/м/с}] = [\text{В/м}].$$

Таким образом, можно сделать вывод, утверждающий, что тонкий *бесконечный* провод с изменяющимся во времени током dI/dt порождает в окружающем пространстве то, что можно было бы назвать полем сторонних сил электрической природы, которое действует на пробный заряд *независимо от расстояния*, на которое он удалён от тока. Эта сила пропорциональна величине производной тока по времени и направлена противоположно и параллельно току. Сила эта порождена *движением* магнитного поля \vec{B} , в какое оно приходит под действием своего источника, чья интенсивность изменяется во времени. На самом деле эта сила - просто совокупность действия всех сил Лоренца элементарных токов на пробный заряд.

Читатель может самостоятельно получить результат, например, для *кругового* витка с током. Сколь серьёзные и фундаментальные последствия возникают из только что полученного результата, мы увидим несколько позже, когда подробно будем изучать явления индукции и самоиндукции.

Пока же, обобщая материал данного параграфа, укажем, что, для *бесконечного прямого провода с током*, несмотря на разнообразие скоростей и величин элементарных полей, действующую с их стороны на заряд силу можно записать в интегральном виде:

$$(1.61) \vec{F}_B = [\vec{v}_B \otimes \vec{B}] \cdot q = \frac{q}{2} [\vec{r} \otimes \dot{\vec{B}}] [\text{н}].$$

или же, в виде напряженности электрического поля:

$$(1.62) \vec{E}_B = [\vec{v}_B \otimes \vec{B}] = \frac{1}{2} [\vec{r} \otimes \dot{\vec{B}}] [\text{в/м}],$$

где:

$$(1.63) \vec{v}_B = \frac{1}{2} \vec{r} \cdot \frac{\dot{B}}{B} [\text{м/с}],$$

можно условно назвать *«средней» скоростью движения поля в точке*.

Разумеется, можно определить не только скорости движения поля в каждой точке пространства, но и *ускорения*. Поскольку движущееся относительно пробного заряда магнитное поле порождает силу, то это *эквивалентно* действию на заряд некоего электрического поля. Эквивалентная напряжённость электрического поля может быть исчислена по (1.62), если известна индукция магнитного поля, скорость её изменения и расстояние до источника. Зададимся ещё одним *механическим* вопросом: коль нам известна скорость движения поля, то нельзя ли получить и *закон движения*? То есть можем ли мы, зная поле в источнике и скорость его изменения получить местонахождения интересующего нас фрагмента поля в любой момент времени?

Уравнение движения поля

Для того чтобы получить *закон движения поля* $r(t)$, мы можем проинтегрировать (1.63) по времени:

$$(1.64) r(t) = \int_0^t v_B(r, t) dt = \frac{1}{2} \cdot \int_0^t r(t) \cdot \frac{\dot{B}}{B} dt = \frac{1}{2} \cdot \int_0^t r(t) \cdot \frac{dB(r, t)}{B(r, t)}.$$

То, что мы получили - это уравнение движения поля (фрагмента поля) в интегральной форме. Началом движения поля полагается момент времени $t = 0$. Для того, чтобы получить из него закон движения поля, необходимо задаться конкретной зависимостью $B(r, t)$. Подставив его в (1.64), получим $r(t)$. Анализируя скорость движения поля (1.63), легко заметить, что она растёт с расстоянием и с ростом производной поля по времени. То есть поле нестационарного источника, если уж движется, то всегда движется с *ускорением!* Как будто им движут некие *реактивные* силы. К тому же скорость тем выше, чем слабее поле. Ситуация такая, как если бы *более сильное поле* (при той же скорости его изменения) было бы *тяжелее разогнать*. Позднее мы покажем, что это не только впечатление. Давайте представим на секундочку, что ток в нашем проводе меняется по гармоническому закону с частотой f . Тогда и поле $B(r, t)$ меняется с той же частотой. Тогда отношение *действующих значений* производной его напряжённости к самой напряжённости будет $2\pi f$. Тогда скорость будет соответствовать выражению:

$$(1.65) \quad v_B = \frac{1}{2} \cdot r \cdot \frac{\dot{B}}{B} = \frac{1}{2} 2\pi f r = \pi f r$$

Теперь подумаем, а на каком расстоянии от провода скорость движения поля достигнет *скорости света*? Подставив в (1.65) скорость света, получим:

$$(1.66) \quad c = \pi f r_c \Rightarrow r_c = \frac{c}{\pi f} = \frac{\lambda}{\pi}$$

То есть скорость движения магнитного поля прямого переменного тока очень быстро достигает скорости света, примерно за *треть длины волны* соответствующей частоты. Поскольку обычные электромагнитные взаимодействия действительно передаются не быстрее скорости света (опытный факт), то становится понятно (на феноменологическом уровне), как именно происходит излучение электромагнитных «волн». Ток в проводе меняется с определённой частотой, поле вокруг провода приходит в движение. Оно движется тем быстрее, чем дальше от провода и выше частота. Когда ток в проводе растёт по величине, поле «убегает» от провода. Когда ток уменьшается, поле «возвращается» к проводу. Пока скорость движения поля много меньше скорости света, то процессы убегания и возвращения поля взаимно обратимы. Когда скорость приближается к световой, то поле не успевает полностью вернуться, как уже снова надо убегать. Уже на расстоянии трети длины волны, достигнув скорости света, оно перестаёт взаимодействовать с проводом, «отрывается» от него и становится автономным. Такое «оторвавшееся» поле называют *электромагнитной волной*. Однако уже по механизму образования, который только что забрезжил перед нашим мысленным взором, электромагнитная волна не очень-то похожа на гармонические волны, какими мы их знаем. Уж скорее на регулярную последовательность *порывов ветра*. Позднее, подробно изучая электромагнитные волны, мы покажем, что наши подозрения, родившиеся на данном этапе, подтверждаются.

Есть ещё одна интересная подробность движения поля, которую мы можем выяснить из анализа выражения (1.63). Дело в том, что отношение производной гармонически меняющегося поля к его напряжённости вблизи *нулевого* значения напряжённости поля стремится к *бесконечности*. Здесь проявляется незавершенность нашей теории движения поля, а именно то, что мы пока никак не учитывали, что на скорость поля есть «естественное» ограничение – скорость света. Мгновенная скорость движения поля гармонического тока периодически достигает скорости света на *любом*, сколь угодно малом, расстоянии от провода. Но величина поля при этом оказывается тоже

малой. Из этого мы можем заключить, что излучать в той или иной степени будет любой провод с переменным током при любой длине провода и любой частоте. Разница будет лишь в «интенсивности» излучения. И это утверждение также согласуется с экспериментальными фактами.

Итак, применив кинематику к понятию поля (на примере магнитного поля), мы выяснили, что, во-первых, поле движется вместе со своим источником. И это движение одинаково для всех его частей. Ранее мы уже назвали такое движение *стационарным*. Мы применили принцип относительности, заявив, что это движение столь же относительно, как и любое механическое движение. То есть если поле движется относительно заряда, то эта ситуация ничем не отличается от той, когда заряд движется относительно поля. Во-вторых, поле движется, когда интенсивность источника поля изменяется. В этом случае поле движется ускоренно, и притом различные его части движутся по-разному. Однако для малого *фрагмента* поля мгновенное движение можно считать стационарным. Мы выяснили, что для каждого конкретного источника можно установить закон движения поля в каждой точке пространства в каждый момент времени. Выяснили содержание понятия «*скорость движения поля*» и получили выражение скорости для конкретного случая малого элемента тока. Мы установили также, что при движениях как первого, так и второго рода поле способно производить специфические *силовые* воздействия на заряды. В случае с магнитным полем эта действующая на заряды сила есть сила Лоренца. Поскольку через одну точку пространства одновременно могут двигаться различные (порождённые различными элементарными источниками) фрагменты поля с различными скоростями, то полную силу, действующую на заряд, следует определять путём интегрирования всех элементарных сил. Здесь мы применили как принцип относительности, так и принцип суперпозиции сил. В результате мы неожиданно близко подошли к объяснению явления электромагнитной индукции, лежащего в основе всей электродинамики. И даже коснулись возможности «отрыва», обособления поля от источника, то есть электромагнитного излучения.

§ 1.4. Механические движения зарядов и магнитов. Ускоренное движение зарядов

Посмотрим теперь, как отражаются простые механические движения источников полей (зарядов и магнитов) в учении об электрических явлениях. То есть постараемся *соотнести понятия*. Мы попробуем *не пользоваться понятием точечного заряда* (т.е. заряда бесконечно малых размеров), поскольку это понятие немедленно приведёт к несуразностям, сильно мешающим пониманию. Вместо этого мы будем считать все заряды *маленькими сферами* с радиусом r_0 и величиной заряда q . Зарядом (величиной заряда) называется «физическая величина, характеризующая свойство тел или частиц вступать в электромагнитные взаимодействия и определяющая значение сил и энергий при таких взаимодействиях»[2, с.176]. Пусть в начальный момент времени эта заряженная сфера (заряд) покоится в начале координат. Поле этой сферы (вне её самой) сферически симметрично и *эквивалентно* полю точечного заряда, традиционно используемого в электродинамике. Это означает, что как бы мы ни уменьшали радиус сферы, при условии сохранения её заряда, мы, находясь на расстоянии большем начального радиуса, не заметим изменений поля. Опытный факт. Электрическое поле принято характеризовать напряжённостью \vec{E} . Это векторная величина, определяющая величину и направление *силы*, действующей на пробный заряд во внешнем электрическом поле. В самом начале изучения электричества и магнетизма в первой трети XIX века, М.Фарадеем было введено понятия о *силовых линиях*. Силовыми линиями называются *воображаемые* линии, касательные к которым в каждой точке совпадают с вектором напряжённости

электрического поля [2]. Вначале исследователи склонны были полагать силовые линии реально существующими объектами, вроде тонких незримых нитей, исходящих из зарядов и магнитов. В наше время так мало кто считает. Однако как ни считай, но если силовая характеристика поля (напряжённость) тождественно равна нулю в некоторой области пространства, то невозможно изобразить и силовые линии, и даже более того – молчаливо принято считать, что в данной области *нет поля*. Лишь в редких исследованиях (например, у Ааронова и Бома [11]), предполагается, что поле, возможно, *не исчерпывается единственной характеристикой*. Это весьма здравая мысль, следующая из общепризнанного принципа *неуничтожимости материи*, в том числе и материи полевой. Фактически, эксперименты Ааронова, Бома, Таномуры, Брауна и Твисса показывают, что существуют ситуации, в которых изменение поля *там* влияет на частицу *здесь*, хотя предприняты все мыслимые меры, чтобы частицы *не было* в той области, где осуществляются изменения поля. Сегодня даются различные и, порой, весьма оригинальные объяснения этим эффектам. Тогда как, следуя Аристотелевой логике, надо было бы просто предположить, что либо поле не удалось локализовать, либо частица нелокальна, либо то и другое вместе. В нашей парадигме такие опыты не требуют специальных объяснений, поскольку мы убеждены в невозможности локализовать как поле, так и частицу. Чаще всего в качестве другой, несиловой характеристики поля приводят потенциал (векторный A или скалярный φ) (скалярным потенциалом поля в данной точке называется скалярная величина, численно равная потенциальной энергии единичного положительного заряда, помещенного в эту точку). Но потенциал, к сожалению, не имеет физического смысла. Поскольку определяется произвольно, с точностью до константы. Смысл имеет лишь *разность* потенциалов, а она фактически может быть сведена всё к той же напряжённости. Таким образом, прогрессивные попытки некоторых исследователей заявить, что поле не исчерпывается своей силовой характеристикой, пока что оказываются уже даже не в области метафизики, а скорее мистики. Мы же стоим на позициях последовательной и неукоснительной демистификации физики везде, где только возможно, где для этого хватает знаний и данных.

Итак, рассмотрим теперь движущуюся заряженную сферу (рис. 1.6).

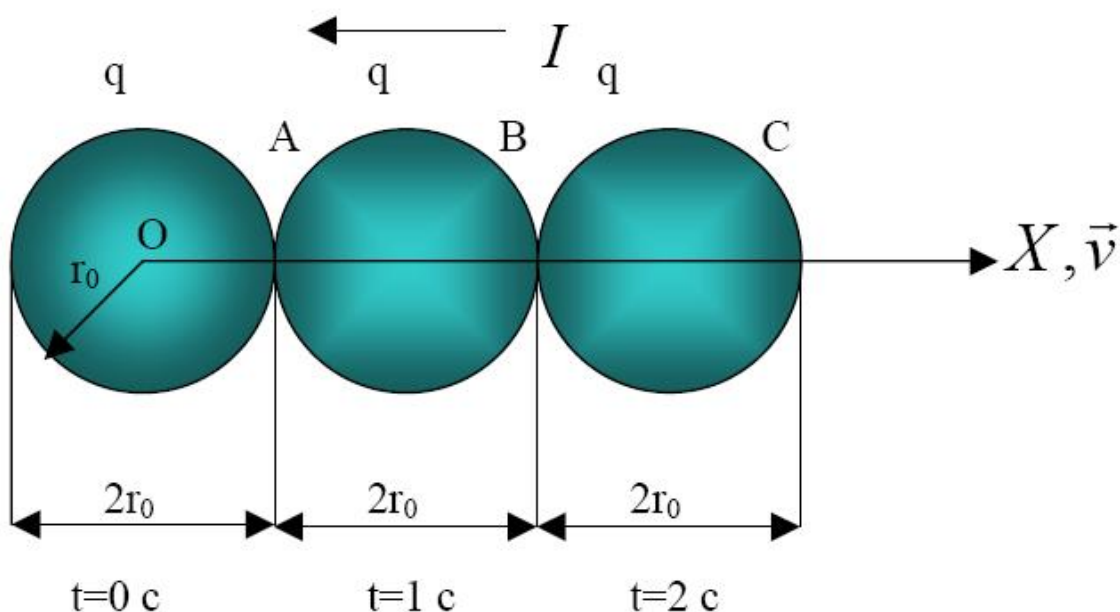


Рис. 1.6. Движение отрицательно заряженной сферы и эквивалентный ток.

В момент времени $t = 0$ сфера находилась в начале координат и двигалась вправо со скоростью v . Пусть наблюдатель находится в точке A и фиксирует *количество заряда*, которое проходит мимо него *в единицу времени*. Пусть скорость для определённости 2 м/с а радиус сферы 1 м. Пусть заряд сферы 1 Кулон. Тогда через 1 секунду наблюдатель зафиксирует, что *весь* заряд сферы Q прошёл мимо него, и на вопрос, каков был *средний ток за время наблюдения*, он определённо ответит: 1 Кулон за секунду. Т.е. 1 Ампер. Если теперь поместить наблюдателя в точку B и проделать всё то же самое, ответ останется тем же: 1 Ампер. Затем переместимся в точку C и так далее. Уже понятно, что при такой *процедуре* ответ всегда будет одним и тем же и будет выражаться формулой:

$$(1.67) \vec{I} = \frac{Q\vec{v}}{2r_0}.$$

Таким образом, мы только что выяснили, что *движущийся заряд конечных размеров* представляет собой *электрический ток*, выражающийся формулой (1.67). (Более детально сила конвекционного тока обсуждается в Приложении П.1). Кроме того, поскольку скорость есть вектор, то и **ток есть вектор!** А что, раньше как-то не так делали? Отвечаем: да, не так. Доселе в физике использовали *точечный заряд*. А используя точечный заряд, невозможно определить силу тока I , можно определить лишь *плотность тока* j . А это совсем другая физическая величина. Такие токи, связанные с механическим движением макроскопических заряженных тел в физике называются **конвекционными токами**. Экспериментально установлено [2, с. 212], что свойства конвекционных токов ничем не отличаются от свойств токов проводимости. Раз так, то тогда мы можем немедленно выразить величину *магнитного поля* нашего тока (1.67), памятуя, что это поле *не* бесконечного провода, а всего лишь *элемента с током* (1.51):

$$(1.68) dB = \mu\mu_0 \frac{\frac{Q\vec{v}}{2r_0} 2r_0 \sin(\alpha)}{4\pi \cdot r^2} = \frac{\mu\mu_0 Q\vec{v} \sin(\alpha)}{4\pi r^2}.$$

Видите, зависимость от размеров сферы ушла естественным образом. Значит, если мы всё делали правильно, то наше выражение (1.68) должно *совпасть* с выражением для магнитного поля движущегося точечного заряда, известного в классической электродинамике [1, с. 209]. И оно *в точности совпадает*, хотя наш вывод не использовал даже самого понятия точечного заряда. Запомним вывод: *магнитное поле любого движущегося заряда, каких угодно размеров, на достаточном удалении от заряда соответствует выражению* (1.68).

Теперь прямо не терпится представить себе *ускоренное* движение заряда и посмотреть, что в электрическом смысле означает ускоренность движения. Для этого просто продифференцируем обе части выражения (1.67) по времени:

$$(1.69) \frac{d\vec{I}}{dt} = \frac{d}{dt} \frac{Q\vec{v}}{2r_0} = \frac{Q\vec{a}}{2r_0}.$$

Ну вот, уже всё и видно: **ускоренное движение заряда есть переменный ток!** Не в том смысле переменный, что он меняет свою полярность 50 раз в секунду, как в осветительной сети, а в том, что он *изменяется во времени*. Вот что писал Э. Х. Ленц в работе «Об определении направления гальванических токов, возбуждаемых электрической индукцией» [4, с. 191]: «...каждому явлению электромагнитного движения должен соответствовать случай *электродинамической индукции*; нужно только, как в

вышеприведенном примере, движение, вызываемое электромагнитным путём, осуществлять каким-нибудь другим способом...». Например, способом *механическим*. Тогда становится ясно, что ускоренное движения зарядов должно порождать явление электромагнитной индукции. То есть специфические действия на другие заряды. Действие, связанное не с зарядом как таковым, не со скоростью его движения, а именно с *ускорением*.

Здесь следует сделать существенное, хотя и несколько лирическое отступление. Говоря об ускоренном движении, физики различают всего два вида ускорений: ускорения *абсолютные* и ускорения *относительные*. Хрестоматийным примером абсолютных ускорений служит «ведро Ньютона», т.е. ускорение при круговом вращении. Относительное ускорение двух и более тел рассматривается иногда, но крайне редко и глухо. Это связано с тем, что мы не привыкли усматривать физических явлений, связанных с взаимными ускорениями тел. Примером таких явлений, как мы покажем впоследствии, может служить взаимоиндукция заряженных тел, особый род Доплеровских сдвигов частот и некоторые другие. Благодаря Ньютону, абсолютность ускорения стала устойчивым мифом. Мы часто встречали непонимание самой идеи относительных ускорений со стороны весьма просвещённых оппонентов. Между тем, как мы теперь ясно понимаем, никаких *абсолютных ускорений вообще нет*. То, что принято принимать за абсолютные ускорения – суть *ускорения тел относительно окружающего их эфира* (вакуума, плenums). Так что, мы вынуждены расширить принцип относительности Галилея-Ньютона, заявив, что нет не только абсолютных скоростей, но и абсолютных ускорений.

Вспоминая из кинематики, что такое ускорение и как оно может быть представлено, понимаем, что при *вращательном* движении заряда по окружности радиуса R со скоростью v мы будем иметь:

$$(1.70) \quad \frac{dI}{dt} = \frac{Qa}{2r_0} = \frac{Q}{2r_0} \frac{v^2}{R} = \frac{Q}{2r_0} \omega^2 R,$$

причём направление производной тока будет *радиальным*, таким же, как ускорение. Причём, по или против часовой стрелки происходит вращение, неважно. Знак производной будет зависеть от знака заряда, как следует из (1.70). Таким образом, мы выяснили, что и *вращательное движение заряда есть переменный ток!* Теперь понятно, почему излучают электромагнитные волны электроны, движущиеся по круговым (спиральным) орбитам в магнетроне и других подобных приборах. По той же причине, почему излучает провод с переменным током, рассмотренный в предыдущем параграфе.

Глядя на выражение (1.68), мы отчётливо понимаем, что движение *электрического поля* заряда (а никакого другого у него изначально не было) *представляется* внешнему наблюдателю как *магнитное поле*. Таким образом, появляется догадка, что *всякое* магнитное поле есть просто результат движения каких-то электрических полей. По-видимому, Ампер рассуждал так же, выдвигая свою *гипотезу Ампера*: магнитное поле постоянных магнитов обусловлено *микроскопическими токами*, протекающими внутри вещества магнитов. Зная теперь, что токи это движущиеся заряды, мы можем перефразировать: магнитное поле постоянных магнитов обусловлено движущимися внутри них зарядами. Есть там заряды? Вне всякого сомнения. Двигутся ли они?! Конечно же. Электроны в атомах, например. Но ведь мы же знаем, что атом в целом *электронейтрален!* Поле его отрицательных зарядов полностью компенсируется полем положительных (уж на большом расстоянии от атома точно!). И, тем не менее, мы уверенно чувствуем магнитное поле, достаточно взять два сильных магнита в руки и «поиграть» с ними. Как такое может быть?! Электрического поля снаружи магнита вроде бы нет, а факт его (поля) движения мы явственно ощущаем?! В современной физике принято привлекать релятивистские теории для объяснения этого факта. При ближайшем

рассмотрении видно, что это не решение вопроса, а его «заметание под ковёр». А давайте просто включим здравый смысл! Давайте вспомним, что материя (в т.ч. и полевая) *неуничтожима*. Следовательно, поле электронов, содержащихся в магните, вовсе не «уничтожено» полем его ионов. «Уничтожена» не сама материя, а лишь одна конкретная её *характеристика* – напряжённость электрического поля. Само поле электронов простирается везде и всюду. Как и поле ионов. Но поле электронов *движется* вместе с электронами. А поле ионов – стоит на месте. Движение поля электронов порождает эффекты, приписываемые магнитному полю. Поскольку чисто электростатические эффекты скомпенсированы, то всё, что мы видим – постоянное магнитное поле, которое является *электродинамическим* эффектом.

Для большей уверенности в наших выводах, мы поставили эксперимент. Была взята проводящая медная сфера. Внутри сферы был помещён весьма чувствительный датчик магнитного поля. Датчик мог двигаться на валу, проходящему сквозь сферу и электрически изолированному от неё. Сфера заряжалась высоким напряжением от высоковольтного генератора. Согласно положениям электростатики – поле внутри заряженной сферы отсутствует. Как мы теперь понимаем, эта фраза означает всего лишь *равенство нулю напряжённости поля*. А не отсутствие полевой материи вообще. Датчик магнитного поля фиксировал только поле Земли. Мы привели сферу во вращательное движение при неподвижном датчике. Датчик зафиксировал слабое добавочное магнитное поле. Вращая сферу в противоположном направлении, мы получали такое же приращение поля. Остановив сферу и снова вращая датчик, мы получили ровно тоже самое. Таким образом, мы убедились в том, что ***магнитного поля, как самостоятельной сущности, не существует!*** Оно проявляется как результат *взаимного* движения электрического поля и наблюдателя. Соответственно, мы убедились и в том, что коль скоро «отсутствующее» электрическое поле способно порождать «магнитное», то никакого «отсутствия» попросту и не было.

Отсюда истекает каскад весьма далеко идущих последствий. В том числе философского порядка. В частности, следует, что, по-видимому, поле *каждого* элементарного заряда занимает *всю* Вселенную. И это поле влияет на любой другой объект во Вселенной так, как если бы других зарядов не существовало. То есть подчиняется принципу суперпозиции. Именно поэтому нам *кажется*, что поля элементарных частиц вещества не выходят за пределы самого этого вещества. Из-за суперпозиции полей ионов и электронов. И лишь постоянные магниты и большие массы демонстрируют нам, насколько обманчиво это впечатление. На самом деле ничто не может остановить поле, подобно тому, как ничто не может остановить вакуум (эфир, пленум, мировую среду). Мы можем добиться лишь *компенсации* (и то, как правило, частичной и в ограниченной области пространства) *конкретных характеристик* поля. Обращаясь к аналогии, можно сказать, что это похоже на воздух. Мы не ощущаем атмосферного давления, поскольку оно всюду, в т.ч. и внутри наших тел, одно и то же. Отсутствует разница давлений. Но это же не означает, что нет воздуха! Достаточно энергично *взмахнуть* рукой, как мы тут же поймём, что воздух на месте. Никуда не делся. Так и электрическое поле. Если нет напряжённости, то это не значит, что нет поля. Попробуйте подвигаться с *магнитометром* в руках и немедленно поймёте, что поле никуда не делось.

Какова же причина того, что столь простые и почти очевидные соображения не используются в физике? А потому, что, вообще говоря, с полем дело обстоит несколько сложнее, чем с воздухом. Например, если мы имеем два одинаковых по величине и противоположных по знаку *близко* расположенных заряда, то *даже движение* (вдали от зарядов) не позволит нам обнаружить поля зарядов. Поскольку в данном случае не только напряжённости электрического поля зарядов, но и магнитные эффекты будут скомпенсированы. Дело в том, что разноимённые заряды при их общем движении являют собой *разнонаправленные* токи и напряжённости их магнитных полей взаимно

компенсируются в дальней зоне. Вот почему нам так упорно кажется, что нет никакого поля снаружи материальных тел. Но ведь скопление большого количества зарядов должно породить весьма «густые» поля. И даже если *две* характеристики этих полей компенсированы, то должны остаться ещё какие-то! Иначе как же проявляется полевая материя?! В чём её материальность? А давайте вспомним, что, согласно опытным данным, скопление большого количества микроскопических зарядов, т.е. *материальное тело, притягивается* к другим таким же телам. Это явление называется *тяготением*, или *гравитацией*. Возникает сильное подозрение, что тяготение тел и есть один из электрических эффектов и являет собой манифестацию электрического поля там, где другие манифестации отсутствуют.

§ 1.5. Вечное падение пустоты. Мировая среда, гравитация и движение

Кроме законов динамики материальных тел, сэр И. Ньютон установил и закон иного рода, ещё более метафизический и потрясающий воображение – *закон всемирного тяготения*. Этот закон гласит: *между любыми двумя материальными точками (телами) действует сила взаимного притяжения, прямо пропорциональная произведению масс этих точек (m_1 и m_2) и обратно пропорциональная квадрату расстояний между их центрами (r^2):*

$$(1.71) F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

Эта сила называется *гравитационной* (или *силой всемирного тяготения*). Коэффициент пропорциональности γ называется *гравитационной постоянной*. Закон был выведен сэром И. Ньютоном теоретически, «на кончике пера». Прямыми опытами этот закон проверил Г. Кавендиш, который и установил величину гравитационной постоянной $6.672 \cdot 10^{-11}$ [$\text{Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$]. Закон (1.71) справедлив лишь для точечных тел, то есть тел, размерами которых в задаче можно пренебречь. В противном случае следует разбить тело на малые фрагменты и затем интегрировать силы, вызываемые каждым фрагментом. Малая величина гравитационной постоянной показывает, что сила тяготения значительна только для очень больших масс. Считается, что тяготение всегда положительно, то есть наблюдается только взаимное притяжение тел и никогда отталкивание. Именно эта сила притягивает все тела на поверхности Земли, обеспечивая весомость тел.

Вблизи поверхности Земли, как установил ещё Галилей, *все тела (в вакууме) падают с одинаковым ускорением*, которое получило название *ускорения свободного падения* g . На всякое тело массой m в системе отсчёта, связанной с Землёй, действует сила:

$$(1.72) \vec{P} = m\vec{g},$$

называемая *силой тяжести*.

Согласно обобщённому закону Галилея, *все тела в одном и том же поле тяготения падают с одинаковым ускорением*. Для Земли это ускорение меняется от 9.780 м/с^2 до 9.832 м/с^2 на полюсах. Это обусловлено как вращением Земли вокруг своей оси, так и её геоидной формой. Если пренебречь этими факторами, то сила тяжести и сила гравитационного тяготения равны между собой:

$$(1.73) P = mg = F = \gamma \frac{mM}{R^2},$$

где M – масса Земли, R – расстояние от тела до центра Земли. Если тело расположено на высоте h над поверхностью Земли, то:

$$(1.74) P = \gamma \frac{mM}{(R_0 + h)^2}.$$

Т.е. сила тяжести с высотой уменьшается. Весом тела называют силу, с которой тело действует на опору (или подвес) вследствие гравитационного притяжения Земли.

Сам И. Ньютон не указывал *причин* гравитационного взаимодействия тел, ограничившись лишь установлением и описанием законов. В настоящее время принято считать, что тяготение обусловлено **гравитационным полем**, окружающим любые весомые тела. Ни что такое это поле, ни как оно распространяется, ни других данных у нас за истекшие века не появилось. Поиски «гравитационных волн» так ничего и не дали, несмотря на огромные усилия, продолжительное время и большие финансовые затраты. Под вопросом и скорость распространения этого поля. Следовательно, такое объяснение ничем не лучше, чем фиктивное **поле сил инерции**, иногда используемое в литературе. Или **звуковое** поле, или **запаховое** поле. Похоже, гравитационное поле – это *фикция*. Такая же, как теплород. Как **магнитное** поле. Позже мы вскроем *причины* тяготения и покажем читателю, чем на самом деле вызывается взаимное притяжение массивных тел. А пока напомним ещё некоторые положения классической механики, касающиеся тяготения.

Напряжённостью поля тяготения называют *силу*, действующую на материальную точку единичной массы. Напряжённость есть силовая характеристика поля. Чтобы переместить материальную точку в поле тяготения, необходимо затратить работу. Поле тяготения потенциально, то есть эта работа не зависит от пути, но только от начального и конечного положения точки.

Потенциалом поля тяготения φ в данной точке называют скалярную величину, определяемую *работой* по перемещению тела единичной массы из данной точки в бесконечность:

$$(1.75) \varphi = -\gamma \frac{M}{R}.$$

Можно показать, что напряжённость поля тяготения есть ускорение свободного падения и равна градиенту потенциала:

$$(1.76) \vec{g} = -\text{grad}\varphi.$$

Отсюда также следует, что *любое тело независимо от его массы, плотности, материала в поле тяготения Земли приобретёт ускорение, в точности равное g* .

Потенциальная энергия тела, поднятого на высоту h , равна:

$$(1.77) \Pi = mgh.$$

Первой космической скоростью v_1 называют такую минимальную скорость, при которой **любое** тело может двигаться вокруг Земли по круговой орбите, т.е. стать искусственным спутником. Она равна 7.9 км/с. Соответственно **второй космической скоростью v_2** называют ту наименьшую скорость, при которой **любое** тело уходит от Земли и

становится спутником Солнца. Она равна 11.2 км/с. *Третьей космической* называют скорость, при которой тело способно покинуть пределы Солнечной системы. Она равна 16.7 км/с.

Нетрудно заметить, что наличие у всех тел на поверхности Земли *ускорения свободного падения* создаёт (в смысле сил) такую же ситуацию, как если бы все эти тела двигались с указанным ускорением *от* Земли, а толкала бы их, к примеру, сама Земля. Кроме того, Земля *вращается* вокруг своей оси, создавая заметную *центробежную силу*, действующую на все покоящиеся на ней тела. А на движущиеся меридионально тела действует сила Кориолиса, равная:

$$(1.78) F_K = 2m[\vec{v}\vec{\omega}],$$

где m – масса тела, \vec{v} – скорость тела в меридиональном направлении, $\vec{\omega}$ – вектор угловой скорости движения Земли. Обычно указанные силы объединяют в группу, называемую *силами инерции*, и объявляются *фиктивными*, связанными не с реальными физическими воздействиями, а с особенностями неинерциальных систем отсчёта [1]. Простите великодушно, но считать вращающуюся Землю не реальным телом, а всего лишь специфической системой отсчёта – это уже мистификация. Не вращающаяся Земля действует на движущуюся воду реки, а вода за счёт инерционности действует на Землю по третьему закону Ньютона, подмывая один из берегов, а *система отсчёта вызывает появление фиктивных сил, подмывающих берег*. Вам не смешно? Так что же такое – силы инерции? Чтобы получить полный и точный ответ, Вам, дорогой читатель, придётся дочитать до главы 5. А пока укажем, что в рамках классической механики ответа нет.

Во всяком случае, система Земли, в которой мы живём и изучаем законы Природы – существенно неинерциальна. Но это не особо нам мешает. Почему? Да потому, что действие тяготения всегда компенсируется силами реакции опоры (подвеса), а все остальные неинерциальности численно невелики и могут быть легко учтены или исключены. Если же изучать законы движения внутри свободно падающего лифта, то они окажутся практически такими же, как и в открытом космосе, вдалеке от гравитирующих тел.

Ну что же? Теперь нам ничто не мешает вновь вернуться к эфиру (*пленуму*, вакууму, мировой среде) и рассмотреть, *а как же влияет тяготение тел на эфир?* Из законов тяготения Ньютона, приведенных выше, следует, что *любое* тело, падающее на Землю из бесконечности, приобретёт (на поверхности Земли) ускорение, равное g и скорость, равную второй космической v_2 . *Любое* тело. В том числе и тело очень маленькой массы. И тело очень маленькой плотности. И даже тело *нулевой массы* и нулевой, соответственно, плотности! Мы просим в этом месте остановиться и обдумать вышеизложенное. Представьте себе падающий на Землю со всех сторон эфир. Ну падают же на Землю метеориты. Вас же это не удивляет? Разница только в том, что Земля *останавливает* метеорит, а *эфир остановить не может*. Как повёл бы себя метеорит, если бы Земля была, скажем, крайне разреженным газовым телом? Да провалился бы сквозь поверхность внутрь. Полетел бы себе дальше. Проскочил бы центр планеты и благополучно продолжил бы движение, только на сей раз уже не с ускорением, а с *замедлением*. Ну вот и эфир ведёт себя так же – он пронзает планету насквозь и вылетает с противоположной стороны с *замедлением* свободного падения, если можно так выразиться. Вспомним, что мы постулировали бесструктурность эфира. Вспомним, что мы выяснили на примере полей, что это означает способность любой сколь угодно малой его части свободно двигаться в любых направлениях. Значит, ничто не мешает одному эфиру падать на Землю вниз, а другому в ту же самую секунду вылетать из-под земли вверх. Скорости их противоположны. Значит средняя скорость *нулевая*. Что общего у этих двух потоков?! Ответ прост: вектор *ускорения*. Он у них одинаковый, и направлен к центру Земли.

Теперь рассмотрим весомое тело вблизи Земли. Оно находится в потоках эфира, у которых средняя скорость ноль, а среднее ускорение равно ускорению свободного падения. Пусть мы в неподвижном лифте. Стенки которого, как мы уже понимаем, не могут остановить эфир. Эфир движется мимо пробного тела внутри лифта с ускорением g . В силу принципа относительности Галилея, это то же самое, как если бы пробное тело ускорялось бы с ускорением $-g$. Тогда, согласно *второму и третьему законам Ньютона*, тело давило бы на опору с силой $P = -(-mg) = mg$. Так это же и есть *вес тела!* Если бы эти размышления проделали во времена Ньютона, то *принцип эквивалентности масс* (тяжёлой и инертной) показался бы самой естественной на свете вещью. Просто потому, что вес и инерция есть одно и то же физическое явление – *ускоренное движение тел относительно эфира*.

Вот что писал Б. Риман в работе «Фрагменты философского содержания. Натурфилософия» [3, с. 35]: «...силу ускорения я пытаюсь объяснить движением некоей субстанции, наполняющей всё бесконечное пространство, а именно, допускаю, что направление её движения совпадает с направлением силы ускорения, а *скорость* её пропорциональна величине силы ускорения». Видите, где именно кроется инерция мышления? Она кроется в представлении, что движущийся эфир давит на тела тем больше, чем больше его *скорость*. То есть эфир подобен газу или жидкости. Нет, и ещё раз нет. Не скорость определяет взаимодействие эфира с телами, а *ускорение* их взаимного движения.

Что, Вам трудно себе вообразить то, о чём мы говорим? А вспомните, что современники не могли себе вообразить то, что говорил Ньютон! Это исторический факт [12]. Только через полтора века его идеи были окончательно приняты в науке. Полтора века! Мы не удивимся, если вам, читатель, понадобится время на обдумывание высказанных нами идей. Скорее, мы удивимся, если кто-то сходу поймёт их и примет.

Но даже те, кто совершенно понял, продумал и согласился с нами, всё равно зададут всё тот же вопрос, который, наверное, современники задавали ещё Декарту. А в чём же *причина* того, что эфир приходит в движение вблизи массивных тел? И нам уже не удастся отговориться «гравитационным полем», ибо мы сами выяснили его фиктивность. И мы *дадим* ответ, полный и точный, но не в разделе механики. Мы подошли к ответу уже вплотную, но, увы, в рамках классической механики, ответа на этот вопрос нет. Ответ будет дан после разделов об электромагнитных явлениях и инерции в главе 7.

§ 1.6. Эффекты специальной теории относительности и их объяснение

В конце XIX и начале XX веков физика столкнулась с трудноразрешимой проблемой: казалось, что сравнительно молодая, но блестяще подтверждающаяся опытами наука электродинамика противоречит *завершённой* классической механике Галилея-Ньютона. Первым и главным противоречием стала нековариантность уравнений Максвелла относительно преобразований Галилея. Доказательством наличия этого противоречия явился опытный факт: скорость распространения электромагнитных волн (в т.ч. света) в пустоте оказалась *одинаковой во всех направлениях*. А между тем из астрономии хорошо известно, что планета Земля не только движется вокруг Солнца с немалой скоростью 16.7 км/с, но и движется вместе с ним относительно неподвижных звёзд со скоростью около 30 км/с. И, хотя скорость света много больше (около 300 000 км/с), тем не менее, возможности эксперимента вроде бы уже позволяли зафиксировать и гораздо меньшие, чем 30 км/с скорости. Получалось, что скорость света *не складывается* геометрически со скоростью движения Земли [5, с. 110]! Стоп-стоп. Простите-ка великодушно. А почему *механическое* движение брошенных горизонтально *тел* не

обнаруживает движение Земли? Да и на Луне, вообще говоря, движение Солнечной системы механически не обнаруживается. А там даже воздуха нет. Так с чего физики решили, что движение света *должно* обнаруживать такое движение? Оказывается, они *сначала* решили, что электромагнитные волны есть *особое механическое явление*, а именно: волны, распространяющиеся в неподвижной среде – эфире. А эфир во всём подобен особому газу или жидкости. Именно так выводил свои уравнения Максвелл. В эфир тогда, кстати, верили практически все. Ну а раз так, то все явления, связанные со светом, должны были бы быть такими же, как и связанные со звуком, с той лишь разницей, что скорость распространения волн другая. А оказалось – это не так. Точнее – не совсем так. Следовательно, предположений относительно света было несколько: 1) свет - это именно *волны* в эфире, 2) эфир подобен газу или жидкости, 3) эфир не увлекается Землёй, т.е. локально неподвижен. Скажите, пожалуйста, а не слишком ли много гипотез? Мы уже подвергали критике предположение номер 2. Чуть позже мы подвергнем сомнению и предположение номер 1. А предположение номер 3 вообще *не имеет никакого значения*, поскольку, как мы уже показали, невозмущённый эфир если и способен к взаимодействию с веществом, то только за счёт взаимного с ним *ускорения*, а не скорости.

Тем не менее физики (не все, разумеется, но многие) объявили, что механика противоречит электродинамике. Чтобы устранить это, ими же и придуманное, противоречие, было предпринято немало усилий. Чаще всего заявляли, что эфир полностью или частично увлекается Землёй. Опять же по привычке, памятуя, что газовая атмосфера вполне себе увлекается ею. Однако как опыты Физо, так и абберация звёзд показывали, что эфир не увлекается или, по крайней мере, не полностью увлекается Землёй. Если он не полностью увлекается, то тогда на поверхности планеты должен был бы быть эфирный ветер. Майкельсон и Морли в 1881-1889 гг. поставили серию экспериментов по обнаружению «эфирного ветра». Эти эксперименты дали нулевой результат. Их много критиковали, они неоднократно совершенствовали свою установку и обнаруживали что угодно, вплоть до влияния магнитных полей и флуктуаций силы тяжести, но не эфирный ветер. Вокруг этого вопроса было сломано столько копий, что ими можно было бы мостить дороги. И лишь один учёный подверг сомнению предположение номер один. Вальтер Ритц, молодой швейцарский учёный выдвинул так называемую «баллистическую гипотезу». Он фактически предположил, что свет – *не волна* в эфире, а совокупность, последовательность движущихся *материальных тел*. Таких же тел, как снаряды, выпущенные из орудия. Тогда, конечно же, никакого эфирного ветра не обнаружить, как не обнаружить пушкой движение Солнечной системы. Прошло несколько лет, прежде чем астроном (и *ярый приверженец* теории относительности!) Де Ситтер (в 1911-1913 гг.), наблюдавший движение двойных звёзд, как тогда казалось, опроверг гипотезу Ритца [3, с. 299]. Прошло ещё более полувека и уже работы Де Ситтера подверглись критике [8]. Выходит, что по состоянию на данный момент гипотеза В. Ритца никем так и не опровергнута? Ага. Именно так. Однако в науке господствует вовсе не она, а так называемая Специальная теория относительности А. Эйнштейна (СТО). Мы кратко изложим её суть, хотя теория эта к физике имеет весьма косвенное отношение. Это почти чисто математическая теория о кажимости, о *видимости* реальности, которая возникнет у исследователя, если он может *только наблюдать световые явления* и ничего более не может и не желает делать. В науке и около науки полно таких умозрительных спекуляций, они иногда даже служат полезным подручным материалом, но, бога ради, не стоит называть их «физикой». Исследователи СТО сами отмечают, сколь ничтожную роль (честно говоря, нулевую) играл эксперимент в создании этой теории [5, с. 114].

Итак, Эйнштейн постулировал две вещи, легшие в фундамент СТО. Первый постулат, так называемый «принцип относительности Эйнштейна», который гласит, что теория должна быть ковариантной (сохраняющей вид своих законов) относительно определённой *группы* преобразований координат и времени. В частности, относительно

преобразований Лоренца. Чистейшее умозрение! Причём оно касается не физической реальности, а именно теории. Идеи. Ощущаете разницу? Второй принцип уже, казалось бы, ближе к физике: скорость света в вакууме одинакова во всех инерциальных системах отсчёта. Выглядит, как физический постулат. Но чего-то не хватает. Ах, вот оно что! Не указан *способ измерения* скорости света во всех, этих самых инерциальных системах отсчёта. Нет *процедуры*. Вот у Ньютона всё было на месте – и постулаты и процедуры измерения. Может быть, Эйнштейн имел в виду, что в СТО годится ньютоновская процедура (1.4) измерения скорости? Но ведь ньютоновская скорость измеряется именно так, потому что к этой процедуре приводят ньютоновы представления о пространстве и времени. А Эйнштейн от них отказался! У Ньютона была допустима мгновенная передача взаимодействий. По Эйнштейну это запрещено. У Ньютона была абсолютная система отсчёта, связанная с неподвижным эфиром. Эйнштейн от такой системы отказался. Следовательно, если при принятии постулатов Эйнштейна *не изменять процедуры измерения* основных величин, то можно ожидать, что *изменяются сами величины*. Что, разумеется, и проявилось в дальнейшем как странное «Лоренцево сокращение длин», «замедление времени», «релятивистский рост массы» и ряд парадоксов, вроде «парадокса близнецов». Впрочем, простите нас, в наше время только ленивый не пнул Эйнштейна. Мы вовсе не собирались распинать этого уважаемого учёного, который заслуженно получил Нобелевскую премию за фотоэффект и незаслуженно несколько отказов германского патентного ведомства в приоритете на холодильные установки. Мы только хотели показать, как сам *схоластический подход* к физике приводит в тупик. Из СТО вытекает, в частности, что взаимная скорость двух радиоимпульсов, посланных одновременно и встречно, равна не $2c$, как следовало бы ожидать в кинематике Ньютона, а только c . Позвольте-позвольте! Но кто нам мешает взять два радара на известном расстоянии, синхронизировать их по атомным часам и одновременно испустить два коротких радиоимпульса навстречу друг другу. Измерить время прихода импульса от соседнего радара. Нарисовать схему расположения радаров на листочке и вычислить взаимную скорость радиоимпульсов в каждый момент времени, пока они летели. Конечно же, мы получим *удвоенную* скорость света! Это возможно, потому, что в классической физике мы можем *сначала* с линейкой и часами полазать между радаром, установить кто, где и в какой момент времени *будет* находиться на самом деле, а уж потом импульсы испускать. Законы Вселенной не изменятся, пока мы лазали с линейкой. А релятивисты, конечно же, в духе средневековой схоластики, скажут, что надо было измерять скорость в системе одного из движущихся импульсов, что, конечно же, бред. В какой инерциальной системе хочу, в такой и измеряю: именно так устроена механика Ньютона. Сам же Эйнштейн постулировал, в частности, в рамках СТО такой же принцип. На этом примере видно, что СТО имеет дело не с физической реальностью, а с кажимостью, т.е. видимостью реальности, с её *отражением*. Тех читателей, которые хотели бы подробнее поговорить о критике СТО мы можем отослать к превосходной, преисполненной здравого смысла, хотя и не бесспорной, работе В. и Г. Соколовых [6].

Ещё раз повторим: мы *не* критикуем СТО Эйнштейна. Она *вне* рамок *физической* критики, поскольку является частью какой-то *другой* науки, не физики. Вместо критики и обсуждения СТО мы предлагаем обсудить и дать нормальное, физическое объяснение *экспериментально наблюдаемым эффектам*. Чувствуете разницу? Для начала мы попробуем их перечислить так, как они *именуются* в литературе и сразу же указать, чем они на практике *являются*:

- 1) Замедление *времени* в движущихся системах. На практике это замедление очень мало и измеряется по *сдвигу частот*. То есть о ходе времени судят по изменению *частоты* того или иного периодического сигнала, испущенного движущейся системой. Так вот, *этот* эффект открыт давно, и открыт он в

рамках классической механики. Он называется *эффектом Доплера*. Другое дело, как именно он *проявляется* в той или иной ситуации.

- 2) Увеличение *массы* тел в движущихся системах. Сейчас уже не принято так говорить, поскольку уж больно много критики прозвучало в адрес этого понятия. Казуистически говорят, что увеличивается «релятивистская масса», а «масса покоя» сохраняется. На практике, чтобы достичь околосветовых скоростей, разгоняют не макроскопические тела, а элементарные частицы, в лучшем случае атомы. Никто не измеряет их массу, как таковую, при этом. Измеряют *косвенные* характеристики, в частности, время пролёта и энерговыделение потока частиц на мишени. Оказывается, что время пролёта и выделившаяся тепловая энергия как-то необычно связаны. Не так, как ожидалось. И «увеличение массы» - это уже *объяснение* явления. Всего лишь одно из возможных, причём, наверное, самое невероятное.
- 3) Лоренцево «*сокращение длин*» в движущейся системе. Вообще в настоящее время не считается реально существующим эффектом. Ну и в самом деле, если у нас сокращаются *все* длины, то сокращается и длина любой *линейки*, и привычная процедура измерения длин даст ровно тот же самый результат, что и в неподвижной системе. Такой эффект *необнаружим*. Это не физика, конечно же.
- 4) *Поперечный эффект Доплера*. Его не часто и не везде называют как самостоятельный *эффект СТО*, поскольку его часто приписывают замедлению времени в движущихся системах, то есть считают проявлением эффекта 1. Мы же считаем, скорее наоборот. «Замедление времени» является *объяснением* изменения частоты f_0 движущегося со скоростью v источника

$(f = f_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}})$. Следовательно, изменение частоты - это самый серьёзный

эффект из всех, вышеперечисленных. Мы имели в виду что эффект действительно наблюдается в эксперименте (1938 г., Айвз и Стилуэй, эксперимент с каналовыми лучами), причём непосредственно, и является не объяснением каких-то других явлений, а именно самим физическим явлением. *Частота f_0 сигнала источника, движущегося строго поперечно приёмнику, изменяется*. Причём изменяется так, как предсказывает СТО. Считается, что *поперечный Доплер* проявляется для *электромагнитных волн* и *не* проявляется для *акустических*. (См. приложения П2 и П3). Искали ли его в акустике – неизвестно, но принято считать, что его там нет.

Нам пришлось провести довольно трудоёмкое и длительное исследование, чтобы выяснить не только *механизм* возникновения поперечного эффекта Доплера, но и целого ряда связанных с этим механизмом других явлений, приписываемых эффектам СТО и ОТО. Выяснилось, что этот механизм *кинематический*, прекрасно объясняется в рамках кинематики Ньютона и благополучно *работает в акустике* так же, как и в оптике. Мы разработали экспериментальную акустическую установку, с помощью которой убедились в правоте наших выводов.

Для начала вообразим себе ускоренно движущуюся платформу, на которой мы производим простой баллистический эксперимент: бросаем шарики из точки *A* в точку *B* (рис. 1.7).

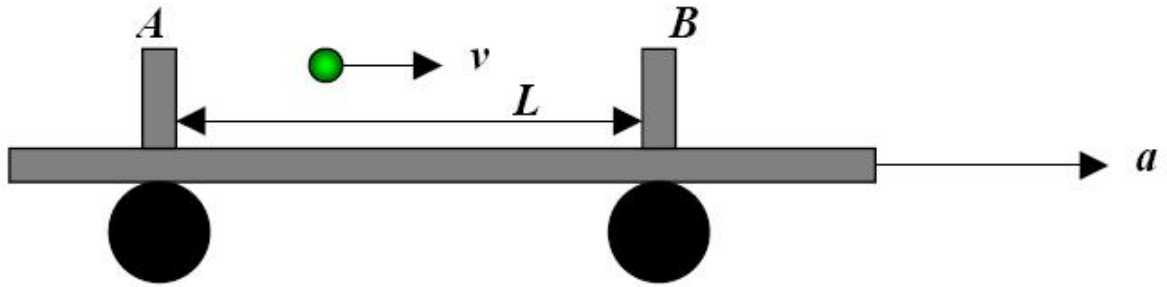


Рис. 1.7. Изменение времени пролёта тел в ускоренно движущейся системе

Если ускорение платформы a отсутствует (равно нулю), то время пролёта шарика t будет, очевидно:

$$(1.79) t = \frac{L}{v},$$

с какой бы скоростью ни двигалась сама платформа. А теперь представим, что произойдёт, если ускорение не равно нулю. Пока шарик летит расстояние L , и точка A и точка B *изменяют свою скорость* движения. Принцип простого сложения скоростей перестает работать. Точка B «убегает» от шарика *ускоренно*. Понятно, что приращение скорости убегания составит:

$$(1.80) \Delta v \approx at \approx a \frac{L}{v}.$$

Здесь мы положили, что скорость шарика велика, время пролёта мало и соответственно дополнительное расстояние Δs , которое придётся пролететь шарика, мало, по сравнению с L . Запишем величину относительно изменения скорости:

$$(1.81) \frac{\Delta v}{v} \approx \frac{at}{v} \approx \frac{a \frac{L}{v}}{v} = \frac{aL}{v^2}.$$

Следовательно, время, затрачиваемое шариком от старта в точке A до встречи с мишенью в точке B , будет больше (в нашем случае) или меньше, чем t , если ускорение платформы направлено в другую сторону:

$$(1.82) \Delta t \approx \frac{\Delta s}{v_{\text{средн}}} = \frac{\frac{at^2}{2}}{v_0 + \frac{at}{2}} = \frac{at^2}{2v_0 + at} = \frac{aL^2}{2v_0^3 + aLv_0} \approx \frac{aL^2}{2v_0^3}.$$

Как видим, появилась зависимость времени пролёта не только от *ускорения* и длины платформы, но и от *относительной скорости* брошенного шарика v_0 . Значит, при известной скорости и длине платформы, засекая изменение времени пролёта шарика, можно судить об ускорении платформы. Если вместо бросания шариков использовать испускание, например, звуковых волн, то задержка прибытия фронта волны будет означать *фазовый сдвиг*. Измерить фазовый сдвиг принятого акустического сигнала относительно излучённого несложно. Достаточно пропустить оба сигнала через детектор

пересечения нуля и подать на схему сравнения «исключающее или», а затем проинтегрировать. Такая установка была нами создана и работала, как хороший, чувствительный акселерометр. Разумеется, измерялось лишь *взаимное* ускорение воздуха и установки. Если установку помещали в плексигласовый корпус, то ускорение не фиксировалось. Как не фиксировалось и ускорение свободного падения при вертикальном расположении установки. Но если на неподвижную открытую установку дунуть, она немедленно показывала наличие ускорения.

Если, заменив шарики волнами (акустическими или электромагнитными), обратиться к выражению (1.81) и вспомнить, как определяется понятие *длины волны* ($\lambda = \frac{v}{f}$), то можно оценить относительное изменение длины волны в ускоренной системе:

$$(1.83) \quad \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v + \Delta v - v}{f} / \frac{v}{f} = \frac{\Delta v}{v} = \frac{aL}{v^2}$$

То есть возникает *относительное изменение длины волны*, если считать частоту испускания волн неизменной. А с чего бы ей меняться? Мы же ничего не изменили на передающем конце. Причина изменения длины волны есть изменение *скорости* распространения волн относительно приёмного конца. Теперь вспомним, как измеряются на практике малые вариации фазы, частоты и длины волны в оптике: они измеряются по изменению *интерференционной картины*. То есть интерференционные измерения не позволят, сами по себе, сказать, что именно изменилось: фаза прихода волны, длина волны или частота волн. Поскольку СТО запрещает своим приверженцам даже думать об изменении скорости света, то им *приходится* думать, что изменяется именно частота. А между тем частота - это как раз именно тот единственный параметр, который в данном случае не меняется. А раз не меняется частота, то и говорить об изменении *хода времени* нет никаких оснований.

Итак, мы установили, что в силу классической кинематики Ньютона, в *ускоренно движущихся* системах отсчёта происходит изменение относительной *скорости* распространения сигналов, приводящее к изменению *фазы* и *длины волны* и *ошибочно трактуемое* как изменение *частоты* сигнала.

А причём тут, спросите Вы, поперечный Доплер? Вроде бы движение при этом прямолинейное и равномерное, а у нас шла речь об эффектах ускорения. Давайте нарисуем ситуацию (рис. 1.8).

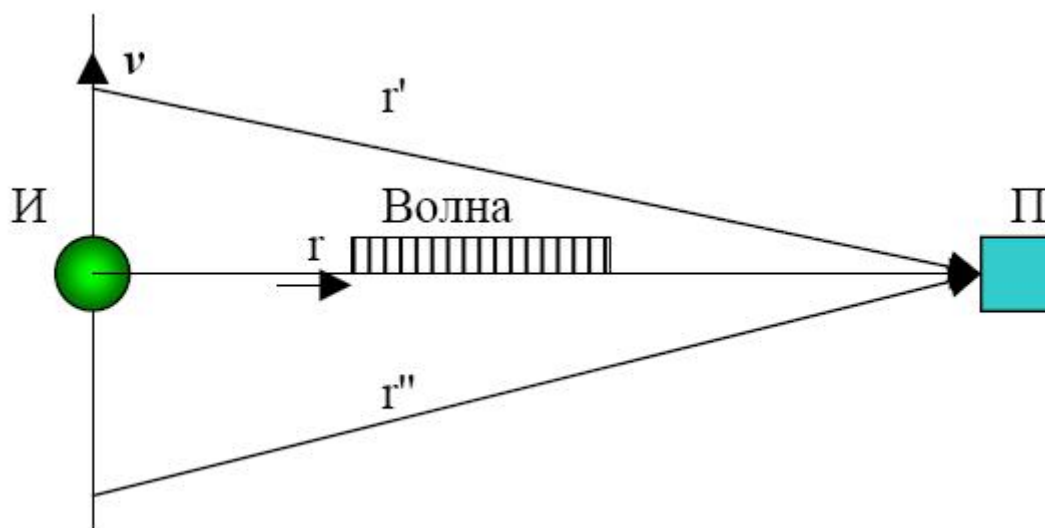


Рис. 1.8. Поперечный эффект Доплера, как эффект *относительного* ускорения

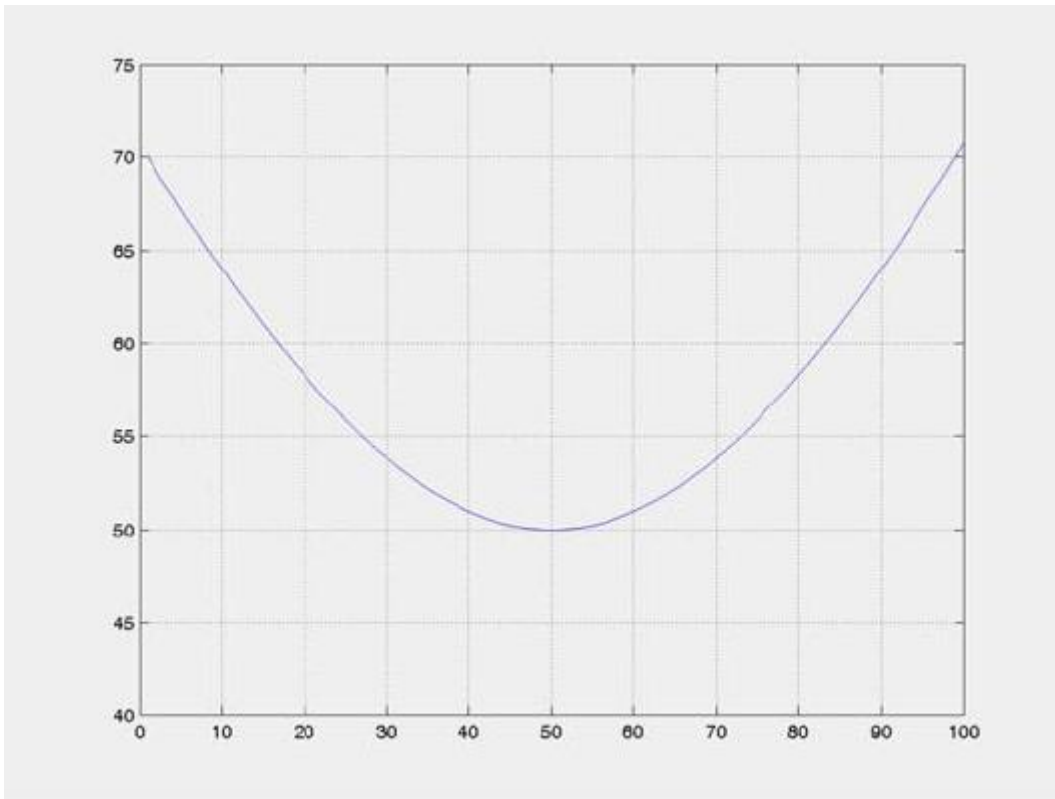


Рис. 1.9. Зависимость расстояния до источника от времени в ситуации рис. 1.8

Пусть источник волн движется равномерно и прямолинейно, и пусть в некий момент времени он оказывается точно на траверзе приёмника. Чтобы можно было говорить о частоте, длине волны или хотя бы фазе фронта волн, требуется, чтобы излучение волны длилось хотя бы один период, а лучше несколько. На меньших интервалах времени теряется физический смысл этих понятий. Но пока излучался один период волны, тело прошло из положения r'' через положение r в положение r' . То есть *во время* излучения менялось **расстояние** от источника до приёмника (рис. 1.9)! Причём оно сначала уменьшалось, а потом увеличивалось. Это означает, что, несмотря на то что источник двигался прямолинейно и равномерно, его *расстояние* до приёмника менялось *нелинейно*. То есть всё *выглядело* с точки зрения приёмника, как *ускоренное движение*. У расстояния $r(t)$ была отличная от нуля и постоянная по знаку **вторая производная**. Вторая производная расстояния - это, с точки зрения кинематики, *ускорение*. А мы выше установили, к чему приводит наличие *взаимного* ускорения при приёме волн. Теперь, даже не прибегая к расчётам, мы можем сказать, что при таком (поперечном) движении источника должно появляться относительное изменение длины волны *принимаемого сигнала на приёмном конце*. Поскольку эффект чисто *кинематический*, то он не должен зависеть от природы сигнала и обязан существовать *не только в оптике, но и в акустике*.

Конечно, относительное изменение расстояния (а с ним и вторая производная) тем меньше, чем дальше находится источник от приёмника, но ведь и *время* пролёта сигнала до приёмника соответственно увеличивается. Вычислим величину «поперечного Доплера».

Пусть источник движется равномерно и прямолинейно со скоростью v . В некий момент времени, принимаемый за начало отсчёта времени, он оказывается движущимся точно перпендикулярно вектору r , соединяющему приёмник и источник. Пусть теперь через некоторое время t , в течение которого источник продолжал двигаться равномерно и прямолинейно, он оказывается в новом положении A . Теперь расстояние от положения источника A до приёмника обозначим $r(t)$. Выразим расстояние r от времени t . Очевидно, что по теореме Пифагора о сторонах прямоугольного треугольника:

$$(1.84) \quad r(t) = \sqrt{r^2 + v^2 t^2} \text{ [м]}.$$

Теперь определим *ускорение* $a(t)$ источника относительно приёмника путём двукратного дифференцирования расстояния по времени:

$$(1.85) \quad \frac{d^2 r}{dt^2} = -\frac{v^4 t^2}{(r^2 + v^2 t^2)^{3/2}} + \frac{v^2}{(r^2 + v^2 t^2)^{1/2}} = a(t) \text{ [м/с}^2\text{]}.$$

А теперь устремим время t к нулю, чтобы получить величину ускорения в *начальном* положении источника:

$$(1.86) \quad \lim_{t \rightarrow 0} a(t) = -\frac{v^4 t^2}{(r^2 + v^2 t^2)^{3/2}} + \frac{v^2}{(r^2 + v^2 t^2)^{1/2}} \Big|_{t=0} = \frac{v^2}{r} \text{ [м/с}^2\text{]}.$$

Видим, что для любого расстояния до источника r ускорение a отлично от нуля. Главным возражением против осмысленности только что проделанных выкладок обычно является заявление, что с ростом r ускорение уменьшается до ничтожных величин. Да, это так. Однако взгляните на формулу (1.83), описывающую относительное изменение длины волны сигнала, излучённого ускоренно движущимся источником. Как видите, оно *линейно растёт* с ростом расстояния L . Подставим же выражение для ускорения a из (1.86) в (1.83) и, используя связь между частотой и длиной волны, как если бы мы верили, что меняется именно частота, получим для относительного (воображаемого!) сдвига частоты:

$$(1.87) \quad \frac{\Delta f}{f} = \frac{al}{v_{\text{сигнала}}^2} = \frac{v^2}{l} \cdot \frac{l}{v_{\text{сигнала}}^2} = \frac{v^2}{v_{\text{сигнала}}^2}.$$

То есть относительный сдвиг частот оказался пропорционален *отношению квадратов скоростей движения источника и распространения сигнала* в среде. И это отношение уже не зависит от расстояния и *качественно совпадает* с результатами экспериментов, выполненных как в оптике, так и в акустике. Таким образом, «поперечный эффект Доплера» не является специфически релятивистским эффектом, а представляет собой вполне тривиальное кинематическое следствие нелинейности изменения расстояния до источника от времени при поперечном движении источника в рамках Евклидовой геометрии и Ньютоновой кинематики.

Механизм явления можно *рассмотреть* и несколько иначе. Как мы уже отмечали, чтобы говорить о частоте волн, необходимо излучить хотя бы несколько периодов, иначе "понятия «спектр», «частота», «ширина полосы» просто неприменимы. За то время, пока эти несколько периодов излучаются, источник успевает сместиться из положения точной перпендикулярности и приобрести относительно приёмника *радиальную скорость* $v = at$. Где a - его радиальное ускорение, вторая производная от расстояния. Понятно, что *средняя его скорость* за весь этот период будет равна *половине* максимальной (движение было примерно равноускоренным!). Тогда формулу (1.87) следует откорректировать, помножив на одну вторую:

$$(1.88) \quad \frac{\Delta f}{f} = \frac{\frac{1}{2}al}{v_{\text{сигнала}}^2} = \frac{1}{2} \frac{v^2}{l} \cdot \frac{l}{v_{\text{сигнала}}^2} = \frac{1}{2} \frac{v^2}{v_{\text{сигнала}}^2}.$$

Напомним, что, в соответствии с известным релятивистским выражением для поперечного эффекта Доплера:

$$(1.89) \frac{\Delta f}{f} = 1 - \sqrt{1 - \frac{v^2}{v_{\text{сигнала}}^2}}.$$

При малых скоростях сравнительно с a выражения (1.88) и (1.89) дадут **практически одинаковый результат**. Следует отметить, что релятивистское выражение (1.89) имеет сингулярность при скорости источника, равной скорости распространения сигнала. То есть фактически утверждает, что частота излучения (в поперечном направлении) околосветового источника, например, будет околонулевой. Формула же (1.88) утверждает, что всего лишь вполовину от исходной.

Однако мы рассмотрели, кажется, *не все* явления, в данном случае приводящие к «сдвигу» частот. Вторым фактором, который следует непременно учитывать при рассмотрении «поперечного Доплера», является **абберация звука** (света). Звук от движущегося источника распространяется под некоторым *углом* к вектору r на рис. 1.8. Абберацию звука оценить несложно из простых соображений. Пока звук распространяется от источника к приёмнику, время $\tau = r/v_{\text{сигнала}}$, источник успеет сдвинуться на некоторое расстояние $v\tau$. То есть нарушается перпендикулярность движения и образуется *продольная компонента скорости* (направленная вдоль r). Можно показать, что при малых относительных скоростях движения эта продольная проекция v_r будет иметь в среднем величину:

$$(1.90) v_r = \frac{1}{2} \frac{v^2}{v_{\text{сигнала}}}.$$

Тогда связанный с ней обычный *линейный эффект Доплера* примет значение:

$$(1.91) \frac{\Delta f}{f} = \frac{1}{2} \frac{v_r}{v_{\text{сигнала}}} = \frac{1}{2} \frac{v^2}{v_{\text{сигнала}}^2}.$$

То есть имеет ту же структуру и порядок величины, что и эффект связанный с ускоренностью изменения расстояния между источником и приёмником.

На выяснение читателю оставим вопрос о том, *различные* ли это явления, приводящие к изменению длин волн сигнала поперечно движущегося источника и трактуемые как изменения частот. Или это просто два разных языка на которых выражено одно и то же явление.

Эффекты абберации и ускоренности относительного движения следует учитывать при постановке *экспериментов*, иначе результат будет весьма далёким от реальности. В случае звука всё более-менее просто, поскольку мы можем легко отметить момент именно перпендикулярного движения источника. В случае со светом всё сложнее, поскольку информация о «моменте перпендикулярности» дойдёт до нас не быстрее, чем сам излучённый свет.

§ 1.7. Эффекты общей теории относительности и их объяснение

В рамках СТО А. Эйнштейн отказался от эфира и тем самым породил другую проблему. Дело в том, что пока учёные верили в существование газоподобного эфира, они хотя бы на качественном уровне могли объяснить тяготение. Как только эфир был «изгнан», проблема тяготения вновь «повисла в пустоте». На наш взгляд, Эйнштейн проявил своего рода «научную порядочность», взявшись самолично за проблему гравитации. Результаты его трудов в этом направлении принято называть Общей теорией относительности (ОТО), в отличие от СТО.

Цитируем по материалам Википедии [7]: *Общая теория относительности (ОТО; англ. general theory of relativity) — геометрическая теория тяготения, опубликованная Альбертом Эйнштейном в 1915—1916 годах. В рамках этой теории, являющейся дальнейшим развитием специальной теории относительности, постулируется, что гравитационные эффекты обусловлены не силовым взаимодействием тел и полей, находящихся в пространстве-времени, а деформацией самого пространства-времени, которая связана, в частности, с присутствием массы-энергии. Таким образом, в ОТО, как и в других метрических теориях, гравитация не является силовым взаимодействием. Общая теория относительности отличается от других метрических теорий тяготения использованием уравнений Эйнштейна для связи кривизны пространства-времени с присутствующей в пространстве материей.*

То есть суть ОТО, в отношении к гравитации, можно высказать следующим образом: массивные тела искривляют пространство-время вокруг них, а пространство-время указывает другим телам, как им двигаться в этой области. Здесь даже не требуется понятия «гравитационное поле». По форме это обычное для позднего средневековья, схоластическое и метафизическое учение. Почти как учения Декарта, Галилея и Ньютона. Проблемы у него, как нам кажется, две: новая сущность «пространство-время», которая плохо ассоциируется с чувственным опытом. И странное слово «кривизна», относимое к пространству-времени. Говоря о кривизне зеркала, например, мы сравниваем его с зеркалом нормальным, прямым. Но с зеркалами понятно: вот одно зеркало, кривое, а вот другое прямое. Чтобы говорить о кривизне пространства вообще, следует иметь какое-то другое «пространство вообще», менее кривое. Где у нас во Вселенной склад образцовых пространств? Непонятно. Ну и, конечно же, как и у Ньютона, у Эйнштейна отсутствует конкретный физический механизм взаимодействия «пространства-времени» с «телами». Есть только *видимость* механизма, метафизическая схема: **тело 1 искривляет пространство-время, а пространство-время изменяет траекторию движения тела 2**. Как именно и за счёт чего они взаимодействуют, остаётся непонятным, и никакие тензорные мантры не скроют этого факта.

Но, поскольку ОТО даже официально именуется *геометрической* (т.е. математической!) теорией, то мы, так же как и в случае с СТО, отказываемся её критиковать в рамках *физики*. Ибо и эта теория не имеет отношения к физике. Пусть о кривизне пространств-времён рассуждают математики, мы же займёмся более физическим делом. Перечислим *эффекты*, связываемые с ОТО, и попробуем понять, что это на самом деле за явления и как их можно объяснить.

- 1) Гравитационное замедление времени. Эффект почти полностью аналогичен одноимённому эффекту СТО. Измеряется изменение скорости распространения сигнала вблизи тяготеющих тел, принимается за изменение частоты (из-за запретов СТО) и дальше делается странный вывод о замедлении *времени* под действием гравитации.
- 2) Гравитационное красное смещение. То же, что и 1, отнесённое к свету, излучённому с поверхности массивных тел. Поскольку, как мы показали выше, тяготение есть *ускоренное движение* тел относительно эфира, то эффекты 1 и 2

полностью объясняются кинематическими эффектами ускорения, изложенными выше при обсуждении эффектов СТО.

3) Гравитационное линзирование. Специфическое отклонение луча света в поле тяготения массивных тел, например Солнца. Наблюдается экспериментально. Имеет ту же природу, что эффекты 1 и 2 с учётом *градиента* ускорения. Градиент ускорения вызывает градиент относительной скорости в соответствии с (1.80), что для света эквивалентно градиенту коэффициента преломления.

4) Орбитальные эффекты. Это эффекты ускорения в частном случае *криволинейного* движения небесных тел по орбитам. Самый знаменитый (и единственный, более-менее подтверждённый) эффект - это вековое смещение перигелия Меркурия. При том, что Меркурий чуть ли не цепляет при движении фотосферу Солнца, и во многих смыслах является особой планетой, может ли единичное совпадение предсказаний быть серьёзным доказательством верности целой теории?

5) Чёрные дыры. Вообще могли быть предсказаны почти во времена Ньютона, стоит только поставить вопрос, каким должна быть масса и радиус гравитирующего тела, чтобы его вторая космическая скорость превысила бы скорость света? Из теории тяготения Ньютона результат получается за пять минут. Строго говоря, существование чёрных дыр до сих пор считается не доказанным [5].

6) Увлечение инерционных систем отсчёта массивными вращающимися телами. Да-да. Эффект так и называется [7]. Тела увлекают за собой идеи. Прекрасный образец схоластического мышления. Суть проста - быстрее всего идут часы, которые висят на геостационарной орбите. Оно и понятно: в этом случае ускорение эфира, создаваемое гравитирующим телом, компенсируется ускорением самих вращающихся на орбите часов, а раз нет суммарного ускорения, то нет и эффектов ускорения. Здесь также заявляемое изменение времени связано с воображаемым изменением частоты, за которое ошибочно принимается изменение длины волны. Сам эффект измеряется настолько *косвенно*, что учёные до сих пор спорят, есть он в реальности или нет его.

7) Гравитационные волны. Гравитационное излучение. Доселе не найдено. Не о чем и говорить.

Таким образом, большинство эффектов либо сомнительны (доселе не найдены либо имеют другие, более внятные объяснения), либо сводятся к эффектам ускорения, уже описанным нами выше. Рассмотрим подробнее, как это работает в случае тяготеющих тел. Покажем это на примере эффекта красного гравитационного смещения.

Вот что сказано об этом эффекте в материалах Википедии (7): *«В физике гравитационное красное смещение является проявлением эффекта изменения частоты света (вообще говоря, любых электромагнитных волн) по мере удаления от массивных объектов, таких как звёзды и чёрные дыры; оно наблюдается как сдвиг спектральных линий в красную область спектра.*

Свет, проходящий из областей с более слабым гравитационным полем, испытывает гравитационное фиолетовое смещение.

Этот эффект не ограничивается исключительно электромагнитным излучением, а проявляется во всех периодических процессах, и, таким образом, связан с более общим гравитационным замедлением времени».

Красное смещение принято обозначать символом z :

$$(1.92) \quad z = \frac{\lambda_0 - \lambda_e}{\lambda_e},$$

где:

λ_e — длина волны фотона, измеренная в точке излучения.

λ_0 — длина волны фотона, измеряемая удалённым наблюдателем.

Гравитационное красное смещение в общей теории относительности (ОТО) для света, излучаемого на расстоянии r от массивного тела и принимаемого на бесконечности, приблизительно равно:

$$(1.93) \quad z_{approx} = \frac{GM}{c^2 r},$$

где:

z_{approx} — смещение спектральных линий под влиянием гравитации, измеремое бесконечно удалённым наблюдателем,

G - гравитационная постоянная Ньютона,

M - масса гравитирующего тела,

c - скорость света,

r - радиальное расстояние источника от центра тела.

Для сдвига частот в литературе приводится следующее выражение, полученное из соображений замедления хода времени с использованием преобразований Лоренца и релятивистского закона сложения скоростей:

$$(1.94) \quad z_a = \frac{\Delta \nu}{\nu_0} = \frac{al}{c^2},$$

где:

z_a - смещение частот спектральных линий под влиянием ускорения,

a - ускорение,

l - расстояние от источника до приёмника,

c - скорость света,

$\Delta \nu$ - изменение частоты фотона,

ν_0 - основная частота фотона.

Вместо постулатов и методов ОТО и СТО попробуем теперь придерживаться исключительно принципов *классической механики*. То есть: линейный закон сложения скоростей и постоянство хода времени и длин во всех системах отсчёта. Предположим (рис. 1.10), что в некий момент времени источник испускает в сторону приёмника фотон с базовой частотой ν_0 . Пусть источник и приёмник движутся с ускорением a , что, как мы показали ранее, эквивалентно тому, что эфир (вакуум, *пленум*) движется относительно их с ускорением $-a$. Будем искать величину z относительного изменения частоты фотона на стороне приёмника.

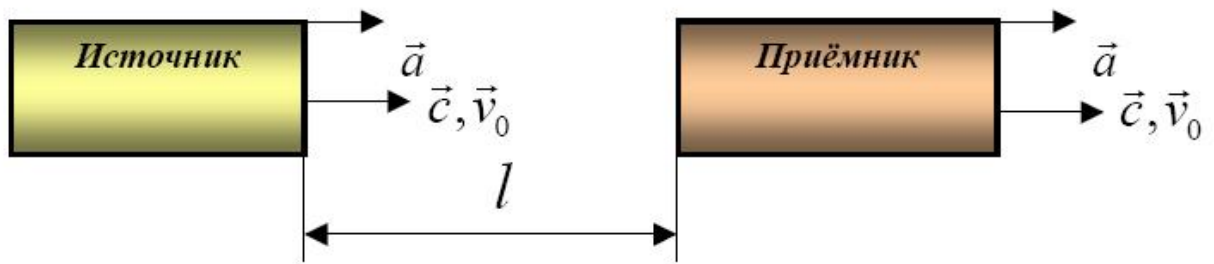


Рис. 1.10. Классическое рассмотрение «гравитационного» сдвига частот, появляющегося вследствие ускорения

Рассмотрим вначале относительное изменение скорости движения фотона в точке приёма. Как известно, время τ , затраченное телом, движущимся со скоростью c , на преодоление дистанции l равно:

$$(1.95) \quad \tau = \frac{l}{c}.$$

За это время при ускорении a прирост **взаимной** скорости Δc сближения фотона и источника составит:

$$(1.96) \quad \Delta c = a\tau = \frac{al}{c}.$$

Относительное изменение *скорости* c очевидностью составит:

$$(1.97) \quad \frac{\Delta c}{c} = \frac{a\tau}{c} = \frac{al}{c^2}.$$

Памятуя, что длина l и время τ при выбранном нами классическом подходе не изменяются, имеем для относительного (кажущегося!) изменения частот:

$$(1.98) \quad \frac{\Delta \nu}{\nu_0} = \frac{\frac{c + \Delta c - c}{l}}{\frac{c}{l}} = \frac{\Delta c}{c},$$

и, сопоставляя (1.97) и (1.98), имеем:

$$(1.99) \quad \frac{\Delta \nu}{\nu_0} = \frac{\Delta c}{c} = \frac{a\tau}{c} = \frac{al}{c^2},$$

что в *точности* соответствует выражению (1.94), полученному из релятивистского подхода.

Таким образом, явление гравитационного смещения частоты фотонов *не может служить доказательством* дееспособности ОТО и/или СТО, поскольку элементарно описывается в рамках классической механики.

Ну вот, собственно, мы и закончили раздел, касающийся взаимных механических движений как вещественных тел, так и полей и самого эфира (*плenums*, вакуума, мировой среды) в целом. Подводя итог, мы хотели бы сказать, что мы никоим образом не

призываем срочно куда-то бежать и немедленно всю науку переворачивать. Мы также не призываем ни с кем бороться и не предлагаем ничего отвергать, опровергать и свергать. Нет. Достаточно было в истории революций. Всё, что мы хотели, это показать, что современная физика есть во многом порождение средневековой схоластики и натурфилософии и что схоластическое мышление до сих пор довлеет над ней чуть ли не безраздельно. Инерция мышления в науке действует не поколениями, как многие считают, а веками. Если хоть в чём-то, даже слабыми силами всего одного человека остановиться, оглядеться и подумать свободно и методично, то можно получить новый взгляд на факты и научные теории и увидеть то, что более могучие умы не смогли увидеть только потому, что *не пытались* выйти за рамки привычной парадигмы мышления.

Попытка применить механику Ньютона к понятиям как полей, так и самого эфира (*плenums*, вакуума, мировой среды) показала, что эта теория за триста лет **ни мало не потеряла своих потенций к развитию**, и, соответственно, не может быть ни отброшена, ни заменена какими-либо иными, менее ясными, менее проверенными или менее способными к развитию конструкциями.

Мы считаем, что как специальная, так и общая теории относительности - это схоластические учения о том, как *пришлось бы* перекорёжить всё восприятие физических фактов, если отказаться от мировой среды, считать свет волной (волной чего и в чём?) и абсолютно запретить скорости света изменяться (относительно *любых* движущихся тел!), при этом даже не указав, о какой именно *процедуре* измерения скорости идёт речь. Это прекрасный (и очень дорогостоящий!) пример того, как не должен поступать учёный-физик, изучая Мироздание. Здравый смысл, ясность и наглядность – вот те маяки, которых, на наш взгляд, должен придерживаться исследователь. Но это не означает *слепое* следование традициям и схемам «классической физики». Ибо она тоже порождение средневековой схоластики и средневекового образа мышления. Разум следует освободить от этих оков. И при этом ни на секунду не следует забывать, что всё то, что мы столь старательно строим, может оказаться всего лишь кучей песка.

Литература

1. Т.И.Трофимова. Курс физики. 9-е издание. – М.: Издательский центр «Академия», 2004 г.
2. Б. М. Яворский, Ю. А. Селезнев. Справочное руководство по физике. Для поступающих в вузы и для самообразования. М.: «Наука», 1989 г.
3. Сборник «Альберт Эйнштейн и тория гравитации». М.: «Мир», 1979 г.
4. Голин Г.М. Хрестоматия по истории физики. Мн.: Высшая школа, 1979 г.
5. Захаров В.Д. Тяготение. От Аристотеля до Эйнштейна. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2003 г.
6. Г. Соколов, В. Соколов. Специальная теория относительности может быть опровергнута экспериментально. <http://www.wbabin.net/sokolov/sokolovr.pdf>
7. Википедия. Общая теория относительности. http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D1%89%D0%B0%D1%8F_%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8
8. Журнал американского оптического общества. Том 43, номер 8, Август, 1953 Двойные звёзды и скорость света. Пэрри Мун, Массачусетский технологический институт, Кембридж, Штат Массачусетс и Домина Эберле Спенсер, Университет Коннектикута, Сторрс, Штат Коннектикут (Поступило 25 марта, 1953) <http://btr.nnov.ru/moon.html>

9. Г. Соколов, В. Соколов. Сущность специальной теории относительности <http://www.wbabin.net/sokolov/sokolov9r.pdf>
10. В. И. Ганкин, Ю. В. Ганкин. Как образуется химическая связь и как протекают химические реакции. ИТХ. Институт теоретической химии. Бостон. 1998 г.
11. Б. И. Спасский, А. В. Московский. О нелокальности в квантовой физике. УФН. Т.142. вып. 4. 1984. Апрель.
12. Голин Г. М. Хрестоматия по истории физики. Классическая физика. Мн.: Выш. школа, 1979.

Глава 2. Электрическое поле и электричество

§ 2.1. Понятие об электрическом поле. Неуничтожимость полевой материи

С глубокой древности известно, что некоторые вещества, например янтарь (*электрон*, греч.), будучи натёрты шерстью, приобретают на время способность притягивать мелкие предметы. Причина этого оставалась полностью мистической веками. К мало-мальски связному пониманию электрических явлений человечество шло невероятно долго: от древних греков (если они вообще существовали, а не выдуманы во времена Возрождения) до XVIII века и далее. Гораздо дольше, чем к пониманию явлений механических. Возможно, это связано с тем, что проявления электричества невероятно разнообразны: от притяжения пылинок к янтарю до грома и молний. Чтобы понять, что все эти явления имеют единую природу, потребовалось время и большое количество фактов. К концу XIX века у учёных, по всей видимости, сложилось общее мнение, что они понимают природу электричества. В начале XXI века мы с уверенностью можем сказать: до подлинного понимания электрических явлений нам так же далеко, как древним грекам до электронного микроскопа.

Напомним кратко то, что считается известным и непреложным в современных учениях об электричестве.

Для построения представлений об электрических явлениях сначала были *введены* так называемые *заряды*, а затем, много позже, обнаружены их физические носители - электроны и ионы. Зарядами именуют ту *сущность*, благодаря которой наэлектризованные (тем или иным способом) тела приобретают способность к специфическому (электрическому) взаимодействию. Вначале заряды считали чем-то вроде незримых жидкостей, затем обнаружили носитель отрицательного заряда, элементарную частицу *электрон*. Позже обнаружили и носитель положительного заряда – *ион* (атом с «оторванными» электронами). В частном случае самого маленького иона H^+ носителем положительного заряда служит элементарная частица *протон*. Как сейчас понятно, именно *элементарные частицы* и служат материальными носителями зарядов. Твёрдо установлено, что не только микроскопические, но и макроскопические заряды бывают положительные и отрицательные. Тела, имеющие одноимённые заряды, на больших расстояниях отталкиваются. Имеющие разноимённые заряды – притягиваются. Ещё в 1843 г. Майклом Фарадеем, английским физиком, был установлен **закон сохранения заряда**: *алгебраическая сумма зарядов в замкнутой системе остаётся постоянной, какие бы процессы в системе ни происходили*. Замкнутость системы здесь понимается в точности, как и в механике. Так же, как и в механике между телами, между зарядами (идеализированными, оторванными от механических свойств тел) происходит *силовое* взаимодействие, выражаемое законом Кулона (1785 г.):

$$(2.1) F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \frac{\vec{r}_{12}}{r}.$$

Сила F взаимодействия между двумя неподвижными, находящимися в *вакууме* зарядами пропорциональна произведению величин зарядов (с учётом их знаков) и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Сила эта действует по прямой, соединяющей заряды, т.е. является центральной, подобно механическим силам взаимодействия тел. Называется она **Кулоновской силой**. Именно этот закон лежит в

основе *определения количества заряда* в Кулонах. Один Кулон соответствует силе в 1 Ньютон, действующей в поле напряжённостью 1 [В/м] на заряд. Коэффициент пропорциональности k в (2.1) в СИ составляет:

$$(2.2) \quad k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ [м/Ф]}.$$

Коэффициент ϵ_0 именуется абсолютной *диэлектрической проницаемостью вакуума* или *электрической постоянной*, и составляет $8.85 \cdot 10^{-12} \text{ [Кл}^2\text{/(н}\cdot\text{м}^2)] = [\Phi/\text{м}]$, где Φ (фарада) – единица ёмкости. Нетрудно догадаться, что, коль скоро в закон взаимодействия зарядов входит некое свойство вакуума (*эфира, пленума*), то, стало быть, вакуум является *активным участником* взаимодействия. Электрическую постоянную часто называют в числе *мировых констант*, как и гравитационную постоянную, обсуждавшуюся в механике. Несомненно, что *обе* они связаны со свойствами вакуума (*эфира, пленума*). Принято *идеализировать* мировые постоянные, считая, что они являются *истинными математическими константами*. Вдумайтесь. Не физическими, как, например, плотность воды, которая хотя и определена, но может несколько варьироваться в зависимости от давления, температуры, примесей и прочих условий. А *математическими*. То есть, по сути, для этих величин запрещены *сколь угодно малые* вариации. Вообще запрещены. Эта детская вера в то, что сам Бог или какие-то иные силы творения создали Вселенную по законам математики (т.е. по законам *человеческого мышления!*), принесла и продолжает приносить немало вреда.

Напомним, что когда говорят о законе Кулона и о том, что этот закон проверен как для очень больших, так и для очень малых расстояний, то имеют в виду, что *тела, участвующие во взаимодействии, во-первых, имеют малые размеры по сравнению с расстоянием между ними, а во вторых, ещё и сферичны, т.е. весьма симметричны по всем направлениям*. Только при таких условиях можно ожидать, что закон (2.1) действительно будет подтверждаться. Чтобы выразить это условие кратко, говорят, что в законе Кулона заряды предполагаются *точечными*. То есть, по аналогии с механикой, считается, что эти заряды настолько малы и круглы, что можно вообще пренебречь их геометрией. Это не значит, что все заряды всегда можно считать точечными – ни в коем случае! Но по аналогии с идеей материальной точки это означает, что реальные заряженные тела можно (*иногда!*) представить как *систему* малых по размерам зарядов. Мы настаиваем, чтобы все эти оговорки читатель постарался бы осознать и запомнить. Дело в том, что, бездумно применяя концепцию точечных зарядов, исследователи неизменно приходят к каскаду парадоксов. А затем зачем-то предпринимают невероятные ухищрения мысли, чтобы эти парадоксы обойти. Гораздо разумнее, на наш взгляд, никогда не забывать, что как *точечное тело* в механике, так и *точечный заряд* в учении об электричестве – всего лишь *вспомогательные метафизические модели*.

Рассуждая о том, каким же именно образом происходит взаимодействие между заряженными телами, М. Фарадей, сторонник идей *близкодействия*, пришёл к выводу, что они взаимодействуют посредством некоторой незримой *субстанции*, окружающей заряды. Эту субстанцию он именовал *полем*. При определённых условиях поле даже может быть визуализировано. Так, например, при помощи железных опилок М. Фарадею удалось «увидеть» магнитное поле постоянного магнита и соленоида. Способ визуализации, по-видимому, наваял Фарадею мысль о «силовых линиях», то есть о нитеобразной структуре поля. Идея идентифицировать *поле* как особое *состояние эфира* появилась в научной среде почти сразу же, как только появилось понятие поля. С тех пор на протяжении почти ста лет существовало параллельно два разных *восприятия* поля: как самостоятельной субстанции и как возмущённого состояния эфира. Уравнения Максвелла и опыты Герца, казалось бы, не оставили места для других идей, кроме эфирных. Но с появлением СТО и

развитием квантовой механики почти повсеместно вновь стала господствовать идея о самостоятельности полей, причём различных полей. Как ни странно, эта идея живёт бок о бок с неискоренимым стремлением физиков свести все поля к одному, построив *единую теорию поля*. Но тогда такое единое и вездесущее поле, частным проявлением которого были бы все ныне употребляемые в физике поля, оказалось бы просто очередным эвфемизмом эфира, всё той же мировой среды.

Чтобы определить числовую характеристику электрического поля используют пробный заряд q_0 . *Пробный заряд* – это такой заряд, который в силу своей малости не искажает того поля, которое с его помощью исследуется. Сегодня мы понимаем, что «самым пробным» зарядом являются электрон или протон. Поскольку меньших порций заряда как геометрически, так и в смысле количества заряда нам неизвестно. Тогда силовой характеристикой поля \vec{E} называют отношение силы \vec{F} действующей на пробный *положительный* заряд со стороны поля:

$$(2.3) \vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}.$$

Соответственно, когда известна напряжённость поля, то известна и сила, действующая на пробный заряд:

$$(2.3a) \vec{F} = q_0 \vec{E}.$$

Как следует из закона (2.1) и определения (2.3), для напряжённости поля создаваемого *точечным* зарядом:

$$(2.4) \vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \frac{\vec{r}}{r} \text{ [Н/Кл]}.$$

Графически электрическое поле принято изображать с помощью *линий напряжённости*. Это такие линии в пространстве, *касательные* к которым в каждой точке совпадают с направлением вектора \vec{E} . Иногда рисуют не линии напряжённости, а сами вектора \vec{E} в виде стрелок различной длины. Считается, что эти вектора *исходят* от положительных зарядов и *входят* в отрицательные. Но не следует понимать буквально, словно что-то истекает из одних зарядов и втекает в другие.

Электрическое поле, в смысле сил, действующих на неподвижные пробные заряды, со стороны системы зарядов подчиняется принципу суперпозиции: *резльтирующая сила \vec{F} , действующая со стороны поля системы зарядов на пробный заряд, равна векторной сумме сил, действующих со стороны каждого отдельного заряда системы, как если бы других зарядов не было:*

$$(2.5) \vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i.$$

Это *ровно тот же* принцип, который действует в отношении *механических* сил! Уже одно это могло бы натолкнуть исследователей на мысль, что механические силы, действующие между макроскопическими телами, имеют электрическую природу. Подставив определение (2.3) в принцип (2.5) получим для напряжённости поля:

$$(2.6) \vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i.$$

Полезный (т.е. облегчающий понимание) и правильный (т.е. подтверждающийся опытом), этот принцип, тем не менее, сыграл с исследователями злую шутку. Его частое и успешное применение привело к широко распространённому заблуждению, что где *нет напряжённости поля, там нет и поля* как такового. Мы видим поразительную аберрацию разума. Имея дело с *хорошо известными* субстанциями, например атмосферным воздухом, исследователи *никогда* не ограничивались *единственной* физической характеристикой, описывающей её. Они понимают, что отсутствие, например, градиента давления не означает отсутствия воздуха вообще. Здесь же учёные, имея дело с новой, только что обнаруженной и ещё малоизученной субстанцией (полем), фактически ограничиваются в её описании *единственной* (силовой) характеристикой. Из этой истории видно, что изучение поля поныне находится в самой начальной стадии, в стадии крайне упрощённых, по сути, *донаучных* представлений.

Возвращаясь к фактам, отметим, что существуют объекты вполне себе конечных размеров, которые создают почти такую же напряжённость электрического поля в пространстве, как и точечный заряд. Это однородно заряженные сферы. Заряженные поверхностно, либо объёмно. Впредь ограничимся поверхностно заряженными зарядом Q сферами радиуса R , у которых поле (т.е. *напряжённость*) *вне* сферы отлично от нуля, а *внутри* тождественно равно нулю:

$$(2.7) \vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \vec{r} \quad (r > R), \vec{E} \equiv 0 \quad (r \leq R).$$

Как и в случае с тяготением, электрическое поле оказывается потенциальным. Это означает, что работа, совершаемая силами этого поля над зарядом q_0 , не зависит от пути, по которому перемещался заряд, а зависит лишь от начального и конечного положения заряда:

$$(2.8) A_{12} = \int_1^2 q_0 \vec{E} d\vec{l}.$$

Если рассмотреть крайний случай удаления заряда на бесконечность, то тогда работа станет работой по удалению заряда на бесконечное расстояние и будет зависеть только от начального положения пробного заряда. Вот такую работу и называют потенциальной энергией поля $U(r)$. Потенциальная энергия (поскольку она есть *интеграл*) всегда определяется с точностью до произвольной константы, например, для поля сферического заряда Q справедливо:

$$(2.9) U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_0 Q}{r} + C.$$

Поскольку энергия зависит от величины q_0 , то для удобства применения надо либо *зафиксировать* величину пробного заряда либо ввести *новую* величину, не зависящую от заряда. Именно так вводится потенциал электрического поля:

$$(2.10) \varphi = \frac{U}{Q_0},$$

для конкретного случая точечного заряда получим:

$$(2.11) \quad \varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r}.$$

Потенциал принято измерять в *Вольтах*, равных [Дж/Кл]. То есть в единицах измерения энергии, отнесённой к единице измерения заряда. Поскольку потенциал определён с точностью до константы, то физический смысл имеет не сам потенциал, а разность потенциалов в двух точках $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$. Нетрудно заметить, что напряжённость поля (по построению) есть градиент потенциала:

$$(2.12) \quad \vec{E} = -\text{grad}\varphi.$$

Всё-таки люди есть люди, и они интуитивно чувствуют, что чего-то не хватает в общепринятых представлениях об электрическом поле. Например, чувствуют, что равенство нулю напряжённости E в некоторой области ещё не означает отсутствия в ней *любых* электрических манифестаций. Поскольку при равенстве нулю напряжённости потенциал имеет право не быть равным нулю (лишь бы отсутствовал градиент потенциала), то неоднократно разные исследователи пытались потенциал φ назначить *второй* содержательной характеристикой поля. Можно, конечно, но здесь всё губит произвольность аддитивной константы C , с точностью до которой определен потенциал. В то же время некое рациональное зерно в таком подходе есть. А именно, потенциал – есть интеграл *по пути*. Следовательно, если даже поля нет *здесь*, то это не значит, что поля нет *там* (дальше по пути в бесконечность). И наличие поля «там» влияет на работу по перемещению заряда *отсюда* через «там» в бесконечность. То есть потенциал говорит нам не только о свойствах поля в точке, но и в окрестности. Причём забавная вещь, если поле изменилось «там», то потенциал, вообще говоря (в силу определения), *мгновенно* изменится «здесь». Вот вам и принцип дальнего действия высунул свою метафизическую мордашку сквозь, казалось бы, вполне прагматические соображения. Искушённый читатель, знающий об идее *запаздывающих потенциалов* или потенциалов Лиенара-Вихерта, может попытаться возразить. Возражение не принимается! По одной простой и уже многократно обнаруженной причине – отсутствие *процедуры* получения. *Математическая* процедура получения потенциала - это интегрирование по пространству. Оно не связано с ходом времени. Никак. Что такое «интегрирование с конечной скоростью» математика не знает. Нет чёткого аппарата. В идее запаздывающих потенциалов время (а значит, и скорость) навязаны *искусственно*. Так и хочется спросить, а с какой скоростью будет распространяться, к примеру, произвольная аддитивная константа интегрирования? Все подобные разговоры из области исчисления количества ангелов, умещающихся на острие иглы.

Мы не будем лить воду на мельницу средневековой схоластики. Мы не станем *гадать*, какие ещё параметры можно было бы *приписать* электрическому полю. Мы просто их найдём. В реальности, а не в схоластических спорах.

Начнём мы с того, что *поставим вопрос*: а являются ли поля положительных и отрицательных зарядов *одним и тем же* полем? Конечно, силовое действие оказывают как первые, так и вторые, и ведут себя во многих случаях одинаково. Но ведь, например, и воздух и гелий способны создавать одинаковое давление. Оба они газы, но газы *разные!* Не забывайте, что у нас в распоряжении пока что *единственная* характеристика поля - силовая. Что, если поля положительных и поля отрицательных зарядов *различны по самой своей природе?* Этот вопрос бессмысленно даже ставить до тех пор, пока мы не отыщем хотя бы ещё один независимый от силовой характеристики параметр поля. И, тем не

менее, мы его поставим! Де-факто в физике принято сегодня считать, что поля положительных зарядов и поля зарядов отрицательных способны «уничтожить друг друга». То есть *не просто сводить к нулю силу*, действующую на пробный заряд, а уничтожить саму *сущность* поле, поскольку в этой парадигме у поля ничего нет, кроме силового действия. Если рассмотреть, например, сферический заряженный *конденсатор*, состоящий из двух разноимённых одинаковых сферических зарядов с общим центром, то везде *вне* конденсатора силовая характеристика поля E равна нулю. Такая система называется «сферическим конденсатором». Так что же, вокруг сферического конденсатора *действительно нет поля*? Такое утверждение противоречило бы всему человеческому опыту, приобретённому *до* изучения полей. Два ветра могут нивелировать силовое действие друг друга, но там где они столкнулись, не образуется «ничто». Не исчезает материя! Исчезает лишь конкретное, *поступательное движение* воздуха. Стоит только начать *вращать* один из сферических зарядов *вокруг своей оси* (с точки зрения электростатики он при этом никуда не движется!), как снаружи конденсатора, где, казалось бы, ничего нет, появится *магнитное* поле. Причём не абы какое, а магнитное поле, похожее на поле кругового тока. Похожее (но не идентичное) магнитное поле мы получим, если вращать и другой заряд. Так, стало быть, хотя вне конденсатора якобы *поля не было*, но при определённых условиях там появляются вполне ощутимые манифестации! Так, может быть, оно там *всё-таки было*? Причём не одно, а оба. И «положительное» и «отрицательное». Ведь когда одно из них мы *привели в движение*, то немедленно, там, где казалось, ничего нет, появились физические эффекты. Что такое *движение поля* мы уже рассмотрели в главе 1 и предложили *процедуру* для измерения характеристик такого движения (*скорости и ускорения*). Мы ограничивались примерами с магнитным полем, но все те же выводы применимы и к полю электрическому. Поле способно двигаться! Есть у него и скорость движения. Есть и ускорение. Выходит, что поля зарядов *неуничтожимы*, как и всякая другая материя. И поля обладают движением в той же мере, как и всякая материя вообще. Такой вывод вполне укладывается в рамки не только наших личных, но и широко распространённых в научной среде философских представлений.

А что, если поставить ещё более странный вопрос: а являются ли поля двух разных *одноимённых* зарядов *одним и тем же* полем? Соорудим «диполь» из двух сферических *одинаковых* зарядов. Расположим датчики магнитного и электрического поля ровно посередине отрезка, соединяющего центры зарядов. Там вроде бы ничего нет? Но сделаем всё то же, что и в случае со сферическим конденсатором. Начнём вращать заряды вокруг своей оси. Мы вновь обнаруживаем то же самое явление – магнитное поле! Причём оно может оказаться разным, когда мы вращаем разные заряды. Значит, даже два *одноимённых* заряда являются *различными* полями. И каждое из них отражает движение своего источника. А если заряды *элементарные*?! Не видно причин, почему бы что-то изменилось. Следовательно, поле *каждого* элементарного заряда **неразрывно с ним связано**, и, что бы ни происходило с другими зарядами и полями, поле безошибочно распознаёт «свой» источник. Сделаем ещё одно мысленное усилие и запишем, какие параметры *полного электрического поля* мы обнаружили вышеприведенными рассуждениями:

- 1) напряжённость i -го *положительного* континуума поля в пространстве как функция от времени и координат $E^+_i(r,t)$ (силовая характеристика *Кулоновских* полей *только* положительных i -х зарядов),
- 2) напряжённость j -го *отрицательного* континуума поля в пространстве как функция от времени и координат $E^-_j(r,t)$ (силовая характеристика *Кулоновских* полей *только* отрицательных j -х зарядов),
- 3) скорость движения i -го *положительного* континуума $v^+_i(r,t)$ (со скоростью относительного движения связаны силы Лоренца, действие которых мы принимаем за *магнитное поле*),

- 4) скорость движения j -го отрицательного континуума $\vec{v}_j(r,t)$ (со скоростью относительного движения связаны силы Лоренца, действие которых мы принимаем за *магнитное поле*),
- 5) ускорение движения i -го положительного континуума $\vec{a}_i^+(r,t)$ (с ускорением относительного движения связаны силы индукции Фарадея, действие которых мы принимаем за *вихревое электрическое поле*),
- 6) ускорение движения j -го отрицательного континуума $\vec{a}_j^-(r,t)$ (с ускорением относительного движения связаны силы индукции Фарадея, действие которых мы принимаем за *вихревое электрическое поле*).

Итого шесть *множеств*. Можно вводить характеристики движения и более высоких порядков, в принципе, хоть бесконечное число. Это, кстати, вполне укладывается в идею о *неисчерпаемости* поля в познавательном, гносеологическом смысле. Перефразируя В. И. Ленина, можем сказать, что поле столь же неисчерпаемо, как и атом. Однако практика механики показывает, что для описания механических движений вполне достаточно скорости и ускорения. Так что и мы, по крайней мере на данном этапе, ограничимся скоростями движения *компонент* поля и ускорениями. Может ли поле обладать ещё какими-то характеристиками, не сводящимися к выше сформулированным? Скорее всего, да. Но это уже тема совершенно других исследований. Во многих случаях можно считать, что действия положительного и отрицательного континуумов электрического поля суммируются и рассматривать не шесть, а только *три* компоненты. Причём, ограничиваясь силовыми эффектами, мы можем также интегрировать (суммировать) по i и j . Но всегда надо помнить, что можно суммировать *силы*, действующие на пробный заряд, но нельзя (в общем случае) суммировать скорости и ускорения. Когда мы впредь будем суммировать, просим не забывать, что это тоже упрощение, и мы можем что-то важное упустить из-за него.

Вот теперь наши представления об электрическом поле настолько обогатились (причём мы ухитрились не ввести ни одной новой сущности, кроме того, что призвали делать различия между полями не только отрицательных и положительных, но и вообще любых разных элементарных зарядов), что мы уже можем надеяться объяснить с их помощью более широкий круг явлений, чем это было ранее. Мы дали себе шанс. Как мы воспользуемся этим шансом, читатель увидит далее.

§ 2.2. Электрические заряды и поле. Неосознаваемая тавтология

До сих пор мы молчаливо как бы придерживались общепринятых представлений об элементарных зарядах, т.е. мельчайших, неделимых его порциях. Как довольно твёрдо установлено на сегодняшний день, каждая заряженная *элементарная частица* имеет заряд, кратный элементарному $q_0 = 1.602 \cdot 10^{-19}$ [Кл]. Считается, что элементарная частица имеет заряд *и* связанное с ним электрическое поле, а имеет ещё много всего разного, с электрическим полем *не* связанного. По этой логике получается, что заряд находится внутри, как ядрышко ореха, а его поле снаружи. И простирается оно в свободном пространстве неограниченно, а в среде настолько, насколько позволяет конкретное распределение других зарядов. Получается, что заряд - это больше чем просто создаваемое им поле. Не так ли?

Это настолько старая, архетипическая и схоластическая идея «божественного яйца», что воспринимается почти всеми без малейшей попытки критики. Однако не может ли быть всё иначе? Выше мы установили, что поле *каждого*, в том числе и *элементарного*, заряда неразрывно связано со своим «носителем». Ещё раньше мы

установили, что полю имманентно присуще *движение*. Соединённое нами с характеристиками движения, заново переопределённое электрическое поле содержит в себе так много потенциалов для явлений, что возникает надежда объяснить многие, а возможно и *все* характеристики элементарных частиц свойствами их поля. И тогда неизбежно встанет вопрос: *а что такое заряд как не его поле?! Скажите, кто-нибудь видел заряд без поля?! Так не может ли быть, что само понятие заряд сводится к понятию поле, с учётом его пространственной структуры и разнообразнейших движений?!*

Все наши дальнейшие изыскания убеждают нас в том, что это именно так. Более того, мы убедились сами и надеемся убедить Вас в том, что структурой электрического поля и его движениями объясняются и магнитные, и инерционные, и гравитационные, и все остальные характеристики элементарных частиц. Таким образом, каждая элементарная частица находится *не внутри* своего поля, как желток в яйце, а вся она *снаружи*, в «своём» поле, простираясь повсюду, вплоть до крайних пределов Вселенной. Знаменитая древняя философская формула «всё во всём» неожиданно (поверьте, даже для нас самих!) получила вполне наглядный смысл и значение.

Ну, коль скоро мы заподозрили, что заряды – это особым образом организованные поля, то придётся снова пересмотреть ряд привычных представлений. В рамках такой парадигмы становится понятно, что заряды (а значит, и стабильные элементарные частицы) простираются во все стороны *безгранично*. И их свойства, качества, распределены безгранично. Разумеется, «густота», или интенсивность поля элементарных зарядов, быстро убывает с расстоянием (скорее всего, как квадрат расстояния). Но ведь и объём занимаемого им пространства растёт (как куб расстояния). То есть «рассредоточенность» поля зарядов может в каких-то случаях оказаться не символической, а вполне реальной особенностью, вызывающей явления. Поля не способны «уничтожать» друг друга, как мы выяснили. Значит, они *сосуществуют* в одном пространстве. Следовательно, в любом месте пространства присутствуют поля *всех* стабильных частиц Вселенной. Если бы, например, «густота» полей была бы напряжённостью (представим на секундочку!), то величина этой напряжённости была бы астрономической величиной. Причём даже в межгалактическом пространстве. Тогда нам бы и в голову не пришло считать межзвёздное пространство «пустым». Похоже, нет во Вселенной уголка, где не присутствовали бы мириады полей всех частиц. У них близка к нулю Кулоновская составляющая, мала магнитная составляющая. И только поэтому мы их «не видим»?! Не эти ли поля и создают тот самый загадочный «физический вакуум», мировую среду, эфир? Как ни забавно, но и в рамках квантово-механических представлений о вакууме есть и такая концепция: «*В вакууме равны нулю только средние значения физических величин... Сами же эти величины непрерывно флуктуируют (колеблются) около этих средних значений*» [3]. «Чистый» эфир, «эфир в себе» – всего лишь идея. Это мы выяснили ещё в первой главе. Но ведь «газ вообще» - это такая же идея. Она является *эффективной* идеей потому, что в природе существуют *реальные* газы. Конкретные. Так вот же они «реальные эфиры». Не мировая среда вообще, а конкретная мировая среда, в каждой точке Вселенной образованная полями *всех* её частиц. И поля эти электрические. И находятся они в сложном и непрерывном движении. Стоит вообразить себе эту грандиозную картину непрерывного вселенского кипения сложнейшей жизни под покровом почти полной незримости.... Она поражает воображение. Поистине поражает. Возможно, когда П. Дирак создавал свою концепцию вакуума, подобного кипящему «бульону» из виртуальных частиц, он *видел* нечто подобное. Правда, нам теперь не нужны какие-то особые Дираковские «виртуальные» частицы. Вполне достаточно реальных.

Закон Кулона (2.4) (а на самом деле закон (2.7)) считается точно выполняющимся вплоть до весьма сильных полей. На сегодня возможности человеческих измерений ограничиваются 12 - 15-ю значащими цифрами после запятой, и это в редких, уникальных и весьма трудоёмких экспериментах. В среднем всё гораздо хуже. Если бы поля

действительно «исчезали» вдали от нейтральных в среднем зарядовых систем, то можно было бы считать, что этим законом и исчерпываются электростатические взаимодействия. Но коль скоро поля не исчезают, то остаётся вопрос: а что, если нарушения закона Кулона заметны, например, в 50-м знаке после запятой? Мы не можем обнаружить такие отклонения в лабораториях, но ничтожны ли они?! Отклонения от закона Кулона изучаются сегодня официальной наукой в рамках квантовых теорий вакуума и давно уже перестали являться крамольной идеей [3]. Если бы эта идея была бы принята в начале XX века! Возможно, не понадобились бы науке хромающие на обе ноги сами «квантовая механика» и «квантовая электродинамика». Учитывая астрономические величины суммарных зарядов всех стабильных частиц Вселенной, мы можем наблюдать воочию мощнейшие явления, даже не догадываясь об их электрической причине. Тогда почему бы не заподозрить и в тяготении тел, в гравитации всего лишь малый «хвостик» от закона Кулона? И такие мысли высказывались некоторыми исследователями тяготения. Правда, высказать подозрение – это ещё не наука. Мы позже покажем, что это подозрение оказывается вполне правдоподобным, и укажем точный и простой физический механизм возникновения отклонений от закона Кулона в *реальных* зарядах.

§ 2.3. Движение зарядов и движение полей. Электрические токи

Движение зарядов изучает раздел учения об электричестве, именуемый *электродинамикой*. С движениями зарядов связывают особое понятие – *электрический ток*. Вообще электрическим током сегодня принято называть *любое упорядоченное движение зарядов*. В настоящее время различают несколько видов токов:

- *токи проводимости* (упорядоченное движение зарядов в проводниках 1-го и 2-го рода)
- *токи смещения* (упорядоченное движение зарядов в диэлектриках и даже в вакууме)
- *конвекционные токи* (токи, вызываемые механическими перемещениями заряженных макроскопических тел).

Множество экспериментов в течение XIX и XX веков убедительно показали, что все три вида токов (во всех своих частных случаях) производят одинаковые эффекты и описываются одними и теми же закономерностями. Мы ещё вернёмся к этому общепринятому выводу и покажем, что и тут всё не так однозначно, как кажется. А пока напомним основные факты, известные о токах.

Количественной мерой электрического тока служит *сила тока* I – скалярная величина, определяемая электрическим зарядом, проходящим через поперечное сечение проводника (диэлектрика или площадку пространства вообще) в единицу времени:

$$(2.13) \quad I = \frac{dQ}{dt}.$$

Если сила тока и его направление не изменяются со временем, то такой ток называется *постоянным*. Для него справедливо:

$$(2.14) \quad I = \frac{Q}{t},$$

где Q – электрический заряд, проходящий за время t через поперечное сечение. *Единица силы тока – ампер*.

Сила тока, отнесённая к единице площади и перпендикулярная направлению тока, называется **плотностью тока**:

$$(2.15) \quad j = \frac{dI}{dS_{\perp}}.$$

Единица плотности тока – **ампер на метр квадратный**. Связь тока I с плотностью j , протекающего через произвольную поверхность S , устанавливается следующим образом:

$$(2.16) \quad I = \int_S \vec{j} d\vec{S}.$$

Рассматривая вопрос о *причинах* движения зарядов, именуемых токами, электродинамика приходит к выводу о том, что, по крайней мере, продолжительные токи не могут вызываться электростатическим полем. Поскольку опыт показывает, что в электростатических полях заряды перемещаются только до тех пор, пока их перераспределение не уравнивает действие поля. Это происходит быстро. А коль так, то причину *длящихся* токов следует выделять особо, и такие силы именуются *силами неэлектростатического происхождения*. Есть и другое, более короткое название – **сторонние силы**. Считается, что сторонние силы могут быть различными: химическими (как в случаях с гальваническими элементами), механическими (в случае с электромеханическими генераторами) и т.п.

Такое деление носит совершенно *поверхностный* характер, отражая чисто внешнюю сторону явления. Если дать себе труд подумать, то мы убедимся, что в химических источниках силы, приводящие в движение носители заряда, связаны с элементарными частицами. В механических источниках – с силами Лоренца, действующими опять-таки на элементарные частицы. В ядерных, термоэлектрических, фотоэлектрических – ровно то же самое. *К движению заряженных частиц всегда приводят другие движущиеся заряженные частицы*. Знакомая картина? Ну конечно же! Ровно то же самое происходит и в механике: к движению одних тел приводят другие тела. Вдумайтесь, какое огромное количество зарядов сосредоточено даже в крохотных макроскопических телах, вроде горошины. В одном моле молекулярного водорода (всего чуть менее двух грамм!) содержится примерно сто девяносто две тысячи кулон отрицательных зарядов и столько же положительных. Чтобы получить (или разложить) моль водорода из протонов и электронов, мы бы пропускали ток в 1 ампер более *ста* часов. А разве какие-то силы, кроме электростатических, действуют при этом? Нет! Другой разговор, что мы пока не понимаем, *чем именно* являются *сами* электростатические силы.

То есть мы хотим сказать, что на самом деле есть только *один* какой-то вид электродвижущих сил. То, что учёным мерещится их множество, всего лишь результат исторически сложившегося хода изучения электрических явлений.

Для того чтобы успешно двигаться дальше, в этом месте мы должны сделать экскурс в кинематику. Зачем? Оказывается, кинематика в той форме, в которой она сформулирована в рамках Ньютоновой механики, является *неполной*. И эта неполнота, практически никак не сказывавшаяся доселе на развитии самой механики, очень начинает мешать, когда мы сталкиваемся с электрическими явлениями. Это ни в коем случае не в укор Галилею, создавшему привычную нам кинематику, но наоборот, как свидетельство о способности её к дальнейшему *развитию*. Речь пойдёт о *специфических видах движения*. В механике равномерное и прямолинейное движение любой материальной точки (тела) можно *устранить* выбором системы отсчёта. Это возможно по той простой причине, что точечное тело движется как единое целое. При резких ускорениях достаточно «мягких»

тел появляется эффект деформации тела. И в этом случае тело перестаёт двигаться как единое целое. Но в механике это случай особый и интересует только специалистов. Если же тела абсолютно твёрдые, но их *больше одного*, то вновь возникает ситуация, когда они могут двигаться не только как целое, как система тел, но и *относительно друг друга*. Такое движение (двух и более тел) неустранимо выбором системы отсчёта. Причём не только инерциальной, а вообще любой. Ну и что, казалось бы? А вот что: если какие-либо взаимодействия между объектами связаны с движениями этих объектов, то может иметь *принципиальное значение устранимо* или *неустранимо* выбором системы отсчёта движение, о котором идёт речь. В механике просто *нет* взаимодействий, обусловленных именно взаимным движением тел (пока они не столкнутся, разумеется). А вот среди электрических явлений таких взаимодействий немало! Вот почему устранимость или неустранимость движения должна играть существенную роль в электрических явлениях.

Возьмём пример с током. Всем известен классический случай постоянного тока, протекающего по длинному проводу. Изучены взаимодействия между такими проводами, на этом основании введено понятие о силах Ампера, и прочая, и прочая, и прочая... А случай одиночной заряженной движущейся частицы вроде бы полностью должен укладываться во все законы и явления, установленные для токов. Ведь это тоже ток! Ан нет, возникает принципиальная разница... Ну, к примеру: как бы вы ни двигались вдоль провода с током, вы будете фиксировать магнитное поле тока. Это факт. Пусть будет теперь не ток в проводе, а равномерно и прямолинейно движущийся заряд, частица. С точки зрения неподвижного наблюдателя эта частица тоже есть ток и у него есть магнитное поле. Но стоит вам начать двигаться вместе с заряженной частицей (не обязательно микроскопической), как магнитное поле тока исчезает. Парадокс? Кажущийся, всего лишь кажущийся... Всё дело в том, что провод состоит из *многих* частиц. И двигаясь вместе с электронами, вы окажетесь неподвижны относительно электронов, но будете двигаться относительно *ионов* решётки металла. Если же вы остановитесь – то вы станете неподвижны относительно ионов, но снова начнёте двигаться относительно электронов. И как бы вы ни двигались, всегда будет *сохраняться факт движения* относительно тех или иных заряженных частиц провода. Движение электронов в проводе оказывается *принципиально неустранимо*. А движение одной-единственной частицы – устранимо простой заменой системы отсчёта. Таким образом, разница между конвекционным током и током проводимости оказалась связанной не с названиями этих токов, не с носителями, а с природой *движений*! В обоих случаях ток – всего лишь движение зарядов, а значит, движение полей. Причём движение каждого вида зарядов (положительных или отрицательных) *стационарно*. Но даже для стационарных полей, когда их больше одного, возможно возникновение неустранимости движения. Кстати, предоставляем читателям самостоятельно доказать, что *движение нестационарных полей неустранимо*.

В связи с этими рассуждениями вскрывается причина одной распространённой в современной физике ошибки. Имеется в виду так называемая «самофокусировка» пучка заряженных частиц. Экспериментально установлено, что мощные пучки, например, электронов при определённых условиях самофокусируются, сжимаются в поперечном к вектору скорости направлении. Это происходит, как считается, по причине того, что большой ток вызывает сильное магнитное поле, которое и фокусирует частицы. Часто для объяснения привлекают *релятивистские* эффекты, такие как ослабление и анизотропию Кулоновского взаимодействия в движущихся системах. Такое же явление (именуемое «шнурованием тока») происходит в обычных проводниках при больших токах. А там самые большие скорости движения электронов – миллиметры в секунду. Отнюдь не релятивистские. Получается, что если пучок заряженных частиц например, электронов, летит с околосветовой скоростью в межзвёздном пространстве, то он будет тоже шнуроваться? Если так, то вот вам способ обнаружить абсолютное движение! А?

Нет, конечно, никакого абсолютного движения мы так не обнаружим. Потому что в условиях межзвёздного пространства никакого шнурования не будет. А не будет его потому, что нет *относительного* движения в пучке: все летят одинаково. Такое движение *устранимо* выбором системы отсчёта и, следовательно, *необнаружимо*. А как же тогда в ускорителях и установках электронно-лучевой сварки?! Там же шнурование есть! Многократно проверенный факт. Почему?! А потому, что сосредоточив взгляд на пучке электронов, все как бы «забыли» о том, что эти электроны не упали с неба, а вырваны из *проводников ускорительной установки*. И, следовательно, в этих проводниках остались некомпенсированные *положительные* заряды ионов кристаллической решётки. И вот относительно них-то и движутся электроны. Такое движение, как мы уже показали выше, неустранимо. Эти положительные заряды не в другой Галактике, а здесь же, рядом, в проводниках той же установки, в которой движутся электроны пучка. Происходит магнитное взаимодействие между электронами и ионами! Ещё раз произнесём: не между *электронами внутри пучка*, а между *электронами и неподвижными некомпенсированными положительными ионами проводников*.

Мы надеемся, что читатель уже уловил идею устранимых и неустранимых движений и ту роль, которую она играет у нас при анализе электрических явлений.

Теперь зададимся более конкретным вопросом: коль скоро любой (в том числе и элементарный) движущийся заряд являет собой ток, то, как именно следует определять *силу тока* такого заряда? Ведь его движение отличается от движения зарядов в проводнике своей устранимостью. Определения (2.13) и (2.14) не помогают, поскольку заряд остаётся постоянным. В современной электродинамике принято в таких случаях определять не величину силы тока, а плотность тока, согласно (2.15). Из теории электрического тока в *проводниках* следует, что сила тока через сечение S проводника:

$$(2.17) \quad I = envS,$$

где e – заряд носителя, n – число носителей в единице объёма, v – средняя скорость движения носителей, S – площадь поперечного сечения. Тогда из (2.15) следует, что для *одного* носителя плотность тока j составляет:

$$(2.19) \quad j = ev.$$

Оставаясь в рамках идеи точечных зарядов, больше ничего сделать нельзя, разумеется. Как вычислить величину силы тока, когда площадь S равна нулю? Невозможно. Иная ситуация в нашей парадигме – заряды имеют *размеры*. А раз так, то движущиеся заряды являют собой не только плотность тока, но и силу тока. Но токи эти, если можно так выразиться, «короткие». Длиной в саму частицу. То есть движущиеся частицы являют собой практически «элементы с током». Такой объект был введён в электродинамику ещё Био, Саваром и Лапласом, как вспомогательный приём для вычисления магнитных полей токов. По счастью, трудами этих исследователей разработан и аппарат для применения «элементов с током», которым мы будем впоследствии неоднократно пользоваться. Возвращаясь к вопросу о величине силы тока движущегося (полагаем его, например, сферическим) заряда конечных размеров r_0 , и, памятуя, что речь идёт об *элементе с током*, измерим силу тока при помощи следующей *процедуры*: поместим наблюдателя непосредственно перед частицей по ходу движения. Засечём время, за которое частица *вся целиком* пройдёт мимо наблюдателя. При равномерном и прямолинейном движении это время составит:

$$(2.20) \quad t = \frac{2r_0}{v}.$$

Заряд частицы был q и весь прошёл мимо наблюдателя. Следовательно, из определения (2.13) получим:

$$(2.21) I = \frac{q}{t} = \frac{qv}{2r_0}.$$

То есть не только плотность, но и сила тока прямо пропорциональна скорости и величине заряда. Здесь мы повторили результаты, уже полученные в предыдущей главе, однако повторили не бездумно, а успев уже переосмыслить целый ряд вещей. Соответственно, мы теперь лучше готовы делать выводы. Например, проявилась интересная особенность реальных зарядов – сила тока падает обратно пропорционально размеру заряда. Всё выглядит так, как если бы заряд q двигался бы со скоростью v по проводнику с переменной концентрацией носителей и переменным сечением. Причём концентрация и площадь сечения согласованы таким образом, что их произведение обратно пропорционально расстоянию. Если мы сделаем точные расчёты для куба со стороной $2r_0$, то получим в точности результат (2.21). Если для шара, то получим то же самое с коэффициентом $3/4$. Насколько важны эти различия? Оказывается, что в существующей общепринятой физической парадигме важно, а в нашей – не слишком. Почему? Да потому, что если бы заряд был сосредоточен *внутри* частицы, то было бы важно, какова конкретная геометрическая форма частицы. Но поскольку, как мы установили, заряд скорее *снаружи*, чем *внутри*, то неважно. Поясним. Заряд – это поле частицы. А электрическое поле *любого* проводника сложной формы при удалении от него очень быстро выравнивается и становится похожим на поле *сферического* заряда уже на расстояниях порядка размера проводника. Следовательно, какой бы формы ни была *внутренность* нашего заряда, ток, представляемый движущимся зарядом, будет *примерно* одним и тем же. Подробный экскурс в теорию токов см. приложение П1.

Ещё раз обратим внимание читателя: по современным представлениям заряд есть *внутренность* элементарных частиц, а по нашим – это *наружность*, бесконечно простирающееся поле. Маловажно то, что *внутри*. Важнее то, что *снаружи*.

До сих пор мы задавались вопросом, как связаны токи и движения зарядов, полагая такое движение равномерным и прямолинейным. Мы разобрали случаи устранимого и неустранимого равномерного прямолинейного движения. Но следует рассмотреть ещё и *неравномерные* движения, например ускоренные. Иначе наш анализ будет страдать вопиющей неполнотой. Нетрудно сообразить, что коль скоро *постоянный* ток – это *равномерное* движение зарядов, то *неравномерное* движение будет являть собой *переменный* ток. Переменный ток характеризуется скоростью изменения. Чтобы определить эту величину, просто продифференцируем обе части выражения (2.21):

$$(2.22) \frac{dI}{dt} = \frac{d}{dt} \frac{qv}{2r_0} = \frac{qa}{2r_0},$$

где a – ускорение заряда. Как видим, скорость изменения тока прямо пропорциональна *ускорению* заряда и обратно пропорциональна его размерам. Коль скоро ускоренное движение заряда есть переменный конвекционный ток, а конвекционные токи во всём подобны токам проводимости, то ускоренное движение заряда должно порождать все те же явления, что и переменный ток в проводнике. В предыдущей главе мы указали на возможный механизм излучения «электромагнитных волн» переменными токами. Следовательно, ускоренно движущиеся частицы должны излучать, причём по такому же механизму. Излучение ускоренно движущихся заряженных частиц – это экспериментальный факт. Но поскольку токи в проводниках – это совокупность большого

числа микроскопических токов каждого носителя, то скорее следует сказать, провод с переменным током излучает по тому же механизму, по которому излучает ускоренно движущийся заряд.

Переменные токи способны протекать не только в проводниках, но и в диэлектриках и даже в вакууме. Следовательно, ускоренное движение частиц должно приводить к протеканию переменных *токов* в вакууме, причём везде, где простирается поле частицы. Такие токи именуется токами смещения, их суть и физическое содержание мы рассмотрим в следующем параграфе.

§ 2.4. Диэлектрики и их основные свойства. Лучший в мире диэлектрик

В рамках электростатики принято делить вещества на проводники и диэлектрики. Поскольку проводники способны беспрепятственно проводить заряды, то диэлектрики, соответственно, должны полностью блокировать передвижение зарядов через них. Понятно, что это идеализация и на практике проводники обладают конечной проводимостью, а диэлектрики конечным сопротивлением. На сегодняшнем уровне знаний установлено, что всякое вещество состоит из большого числа элементарных зарядов – как проводники, так и диэлектрики. Но в проводниках возможно перемещение избыточного заряда с места на место на далёкие расстояния, а в диэлектриках оно невозможно. Или крайне затруднено. На микроуровне принято заменять реальные заряды в атомах и молекулах на модельные «диполи». Если такие диполи имеют конечную длину, то молекулы таких диэлектриков именуют полярными. Если же диполи оказываются «бесконечно короткими» в отсутствии внешних полей, то молекулы именуются неполярными. Под действием внешних полей отрицательные заряды таких диполей смещаются относительно положительных, и диполь приобретает конечную длину. Модельная неполярная молекула приобретает дипольный момент. В полярных же молекулах происходит поворот диполей по вектору напряжённости внешнего электрического поля и сложение микрополей. Если же вещество имеет строение в виде двух ионных решёток, вложенных одна в другую, то происходит относительное смещение решёток, и также появляется дипольный момент.

Поляризацией диэлектрика называется процесс ориентации диполей или появления под воздействием внешнего электрического поля ориентированных по полю диполей.

Соответственно трём вышеописанным группам диэлектриков различают электронную (деформационную), дипольную (ориентационную) и ионную поляризацию. Поляризация приводит к тому, что напряжённость электрического поля внутри диэлектрика не равна напряжённости поля снаружи. Приобретение дипольного момента \vec{P} во внешнем поле количественно выражают поляризованностью и относят к единице объёма диэлектрика:

$$(2.23) \quad \vec{P} = \frac{\vec{p}_V}{V} = \frac{\sum_i \vec{p}_i}{V}.$$

Опытным фактом является, что в сравнительно слабых макроскопических полях почти для всех видов диэлектриков (кроме сегнетоэлектриков) поляризованность \vec{P} линейно зависит от напряжённости поля \vec{E} :

$$(2.24) \quad \vec{P} = \chi \varepsilon_0 \vec{E},$$

где χ – безразмерная диэлектрическая восприимчивость вещества. Причём она всегда *больше единицы* для всех без исключения веществ. Позже мы увидим, что эта же величина является дискриминатором, отделяющим привычную нам вещную материю от *плenums*, мировой среды. Напомним, что в сильных полях диэлектрическая восприимчивость падает вплоть до единицы. Падает она и с ростом частоты внешнего поля и вообще всегда, когда появляется некий фактор, препятствующий росту среднего дипольного момента.

Диэлектрик, будучи изначально электрически нейтральным телом, во внешнем поле E_0 так и остаётся нейтральным, ибо никакие заряды на него не попали. Да и проводить он их не может. Откуда же взялось поле внутри, отличное от наружного? Оказывается, ориентация диполей по внешнему полю, например, в пластине, привела к тому, что на одной стороне пластины оказались положительные концы диполей, а на другой – отрицательные. Это эквивалентно тому, *как если бы мы поместили равные и противоположные по знаку заряды на стороны пластины*. Такие заряды называются *связанными*, поскольку они не могут быть разнесены, да и вообще не существуют в отрыве от своей среды, диэлектрика (рис. 2.1).

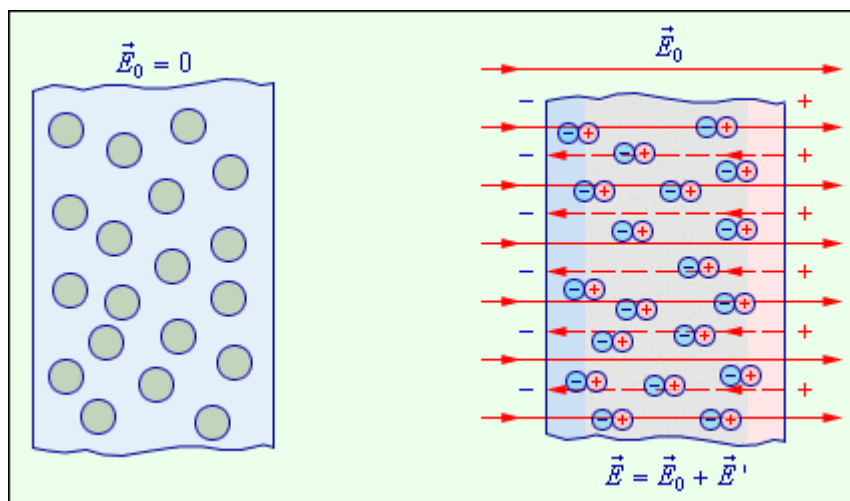


Рис. 2.1. Образование связанных зарядов в диэлектрике и результирующая напряжённость

Результирующая напряжённость поля \vec{E} внутри диэлектрика примет величину:

$$(2.25) \quad \vec{E} = \frac{\vec{E}_0}{1 + \chi} = \frac{\vec{E}_0}{\varepsilon},$$

где безразмерная величина ε называется диэлектрической проницаемостью среды и показывает, во сколько раз поле в диэлектрической среде ослабляется и характеризует свойство диэлектрика поляризоваться во внешнем поле.

Заметим, что связанные заряды диэлектрика отличаются от свободных зарядов только тем, что их нельзя далеко разнести один от другого. Но их можно приводить в движение, например механическим образом. Движение связанных зарядов вызовет появление токов, в т.ч. и переменных. Токи вызовут магнитные и индукционные явления и т.д. и т.п. Поэтому связанные заряды следует считать вполне равноправными со свободными, за малыми ограничениями на свободу *некоторых* видов движения. И только!

В этой связи рассмотрим токи смещения, протекающие в диэлектрике под воздействием изменяющегося внешнего поля. Пусть мы имеем дело с неполярным

диэлектриком. И пусть изначально поле близко к нулю. Диполи внутри вещества короткие. Эта ситуация изображена на рис. 2.2а. Затем поле усилилось, и диполи вытянулись (рис. 2.2б). Это означает, что отрицательные заряды сдвинулись в одну сторону, а положительные – в другую. Но поскольку направление тока связано не только с направлением движения, но и со знаком заряда (2.21), то токи положительных и отрицательных зарядов оказались сонаправленными и образовали общий ток, именуемый током смещения.

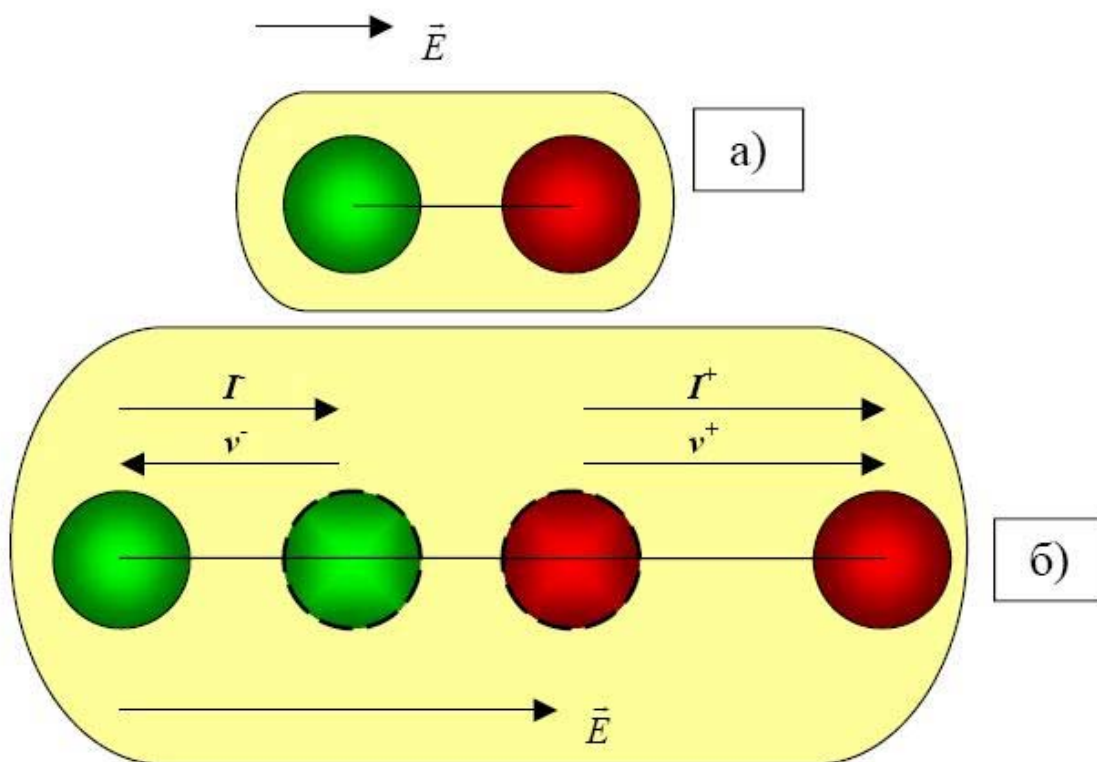


Рис. 2.2. Протекание токов смещения связанных зарядов.

Понятно, что внешнее поле, вызвавшее поляризацию диэлектрика, совершает определённую работу, например, по ориентации или «растягиванию» диполей. Поэтому если мы внесём диэлектрик в поле или вынесем его, то будет затрачена или выделена энергия. Диэлектрик всегда ослабляет поле, в которое его внесли, и, соответственно, внесение диэлектрика энергетически выгодно. Этот факт легко демонстрируется опытом по втягиванию жидкого диэлектрика (например, масла) в зазор заряженного плоского конденсатора (рис. 2.3). Установлено опытным путём, что в неоднородном электрическом поле на диэлектрик действует специфическая пондеромоторная сила, действующая в направлении по нарастанию градиента поля. То есть **в неоднородных полях даже на электронейтральные тела действуют электрические силы**. Отметим этот факт.

Величина этой силы, установленная многочисленными опытами:

$$(2.26) \quad \vec{F} = (\vec{P}\nabla)\vec{E}V,$$

где \vec{P} – поляризация диэлектрика, \vec{E} – напряжённость электрического поля, V – объём диэлектрика. Есть и обратное явление: *даже в однородном поле при наличии градиента диэлектрической проницаемости внутри диэлектрика действуют силы*.

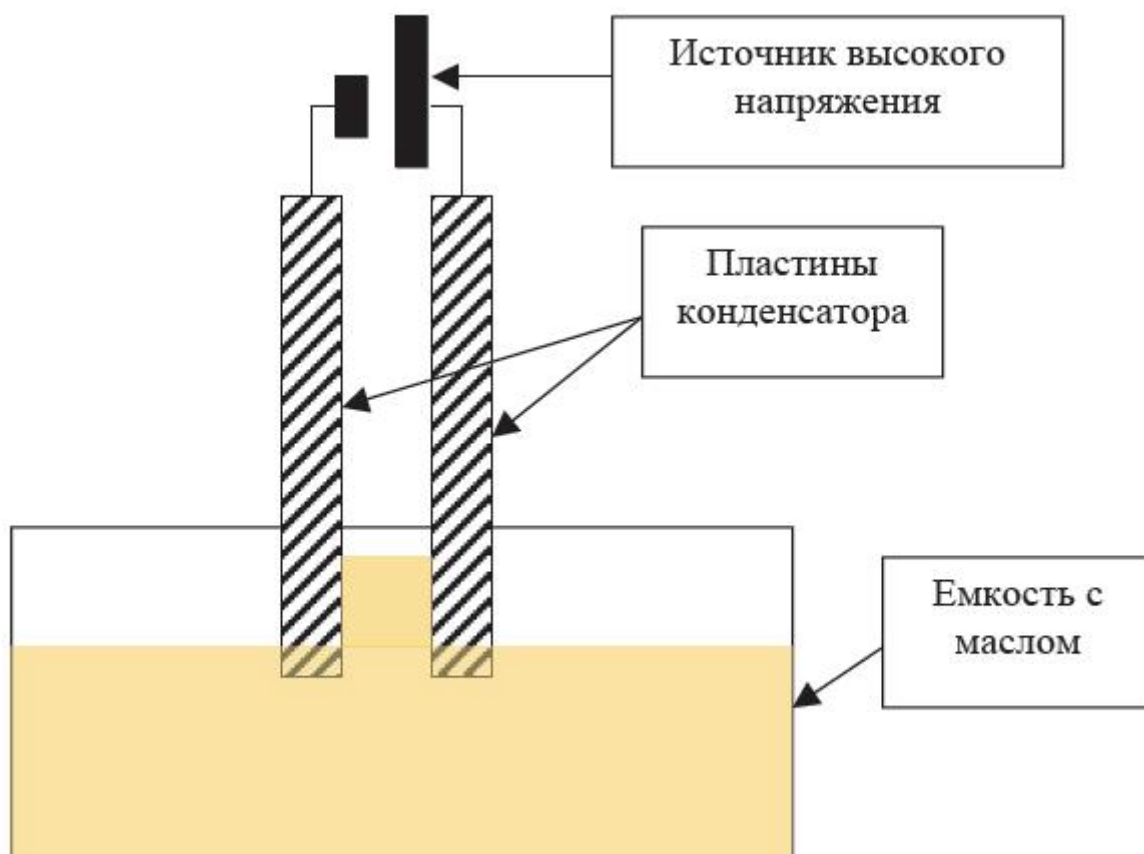


Рис. 2.3. Втягивание диэлектрика в неоднородном электрическом поле по направлению градиента поля

Идеальных диэлектриков в природе, конечно же, нет. Любое вещество обладает некоторой, хотя, быть может, и весьма слабой проводимостью. Любое вещество при поляризации нагревается, деформируется и другим образом тратит энергию поля, в которое его внесли. Параметры любого диэлектрика зависят от температуры, влажности, давления и многих других факторов. Но есть один диэлектрик, который используют тогда, когда крайне важна стабильность параметров и идеальность характеристик. Этот диэлектрик – вакуум. Именно так вакуум используется технически в вакуумных конденсаторах как постоянной, так и переменной ёмкости. В техническом смысле вакуум оказывается самым лучшим в мире диэлектриком. Самым идеальным. К сожалению, он экономически дорог. Удерживать вакуум недёшево. «Пустота» оказывается дорогим материалом для человека. Но это в земных условиях. А вот на Луне, к примеру, вакуум – товар весьма дешёвый. Именно поэтому разработчики фар Лунохода не стали экспортировать дорогой вакуум с Земли, чтобы «наполнить» им баллоны осветительных ламп. От баллонов вообще отказались. То есть они просто взяли дешёвый вакуум прямо на Луне. Вот уж поистине идеальный материал для Творца: он практически везде есть, его неограниченное «количество», и он ничего не стоит.

Мы хотим сказать, что вся сумма опыта нашего в отношении веществ и вакуума говорит нам о том, что *вакуум это диэлектрик*. Так может быть и считать его впредь диэлектриком? Тогда появляется возможность ставить вопросы. Например, какова его поляризуемость? Быть может, ничтожно мала, но всё-таки есть? А какова частотная дисперсия диэлектрической проницаемости?! Быть может, ничтожна, но не равна математическому нулю?! И прочая, и прочая, и прочая. Стоит свойствам вакуума (он же эфир, *пленум* и мировая среда) оказаться лишь на йоту иными, чем представляется в современной физике, как ввиду огромности пространств во Вселенной заполненных этой

средой, могут получить объяснения множества явлений, которые на сегодня объясняются смутно, противоречиво и разнородно.

§ 2.5. Проводники и их свойства. Самый маленький проводник

Проводники – тела, в которых электрический заряд может перемещаться по всему его объёму. Проводники делят на две группы: 1) проводники *первого* рода (металлы и некоторые искусственные вещества) – перенос в них зарядов (свободных электронов) не сопровождается химическими превращениями; 2) проводники *второго* рода (электролиты и некоторые твёрдые вещества) – перенос в них зарядов осуществляется положительными и отрицательными ионами и ведёт к химическим реакциям. Такое определение даётся в большинстве современных физических источников и в настоящее время оспаривается рядом авторов, в частности, в [4]. Эти авторы утверждают, что *и* в проводниках первого рода на самом деле при прохождении тока протекает *электрохимическая реакция*, просто реакция эта не того рода, чтобы необратимо изменять химический (молекулярный) состав проводника. Такое утверждение, на наш взгляд, вполне перспективно, так как, во-первых, ведёт к объяснению различных парадоксов, существующих в электронной теории проводимости, а во-вторых, единообразно для проводников первого и второго рода. Например, химическими реакциями легко объясняется нагрев проводников при ничтожных дрейфовых скоростях электронов (доли миллиметра в секунду) на фоне огромных тепловых скоростей (километры в секунду). Если кому-то совершенно понятно, каким образом изменение скорости в шестом знаке после запятой вдруг вызывает стремительный нагрев проводника до тысяч градусов в рамках классической теории проводимости, пусть поделится сокровенным знанием с благодарным человечеством. В то же время при протекании химических реакций *всегда* нарушается тепловой баланс в ту или иную сторону, и если допустить течение химических реакций в проводнике с током, то недоумение рассеивается. Если же вспомнить электротермические эффекты в проводниках, например, эффект Пельтье, то ведь химические реакции сотни лет уже как делят на *экзотермические* и *эндотермические*.

Но, впрочем, для наших задач в ближайшее время не особенно важно, как именно происходит распространение заряда в проводниках, важнее то, что оно происходит и происходит достаточно быстро. Мы можем лишь предложить делать некоторое различие между *перемещениями* зарядов и их *смещениями*. Поясним на примерах. Перемещением мы именуем физический перенос конкретного элементарного заряда (электрона, иона) от одного конца проводника к другому его концу, т.е. на *макроскопическое* расстояние. Возможно, что такое перемещение есть просто цепочка химических реакций, при которых противоположного конца проводника достигает вовсе *не тот* носитель, который вошёл. Такое перемещение может занимать значительное время, иногда целые минуты или даже часы. Напротив, под смещением мы понимаем малое, *микроскопическое* перемещение длинной цепочки зарядов, расположенных между одним и другим концами проводника. Такое перемещение происходит фактически со скоростью движения электрического поля в данной среде и является, во всяком случае, весьма быстрым. Один ли заряд проходит, скажем, метр или мириады зарядов смещаются на ангстрем – возникает электрический ток. Если ток постоянный, то мы вряд ли усмотрим разницу между вышеописанными случаями. Иное дело, если ток меняется быстро и часто – в этом случае медленный ток «химических реакций» не поспевает за изменениями внешнего поля и основную роль начинает играть «ток смещения». Ещё Н. Тесла установил, что огромные напряжения и довольно сильные токи безопасны для человека, если они имеют высокую частоту изменения. Они не вызывают ни тепловых, ни химических явлений в человеческом теле, не поражают нервную систему и сердце и даже более того, являются в определённой мере благотворными.

Итак, в рамках электростатики проводникам, независимо от их рода, уделяется особое место. Способность проводников к быстрому перемещению зарядов приводит к тому, что при возникновении внешнего поля свободные заряды проводника перераспределяются таким образом, что полностью компенсируют это самое внешнее поле. Как только они его компенсировали, дальнейшее движение зарядов прекращается и устанавливается стационарная картина. Внутри проводника напряженность электростатического поля оказывается равной нулю, в непосредственной близости от поверхности вектора \vec{a} напряжённости поля перпендикулярны поверхности и, по мере удаления внешнее поле возвращается к тому значению напряжённости, которую оно имело бы при отсутствии проводника (рис. 2.4).

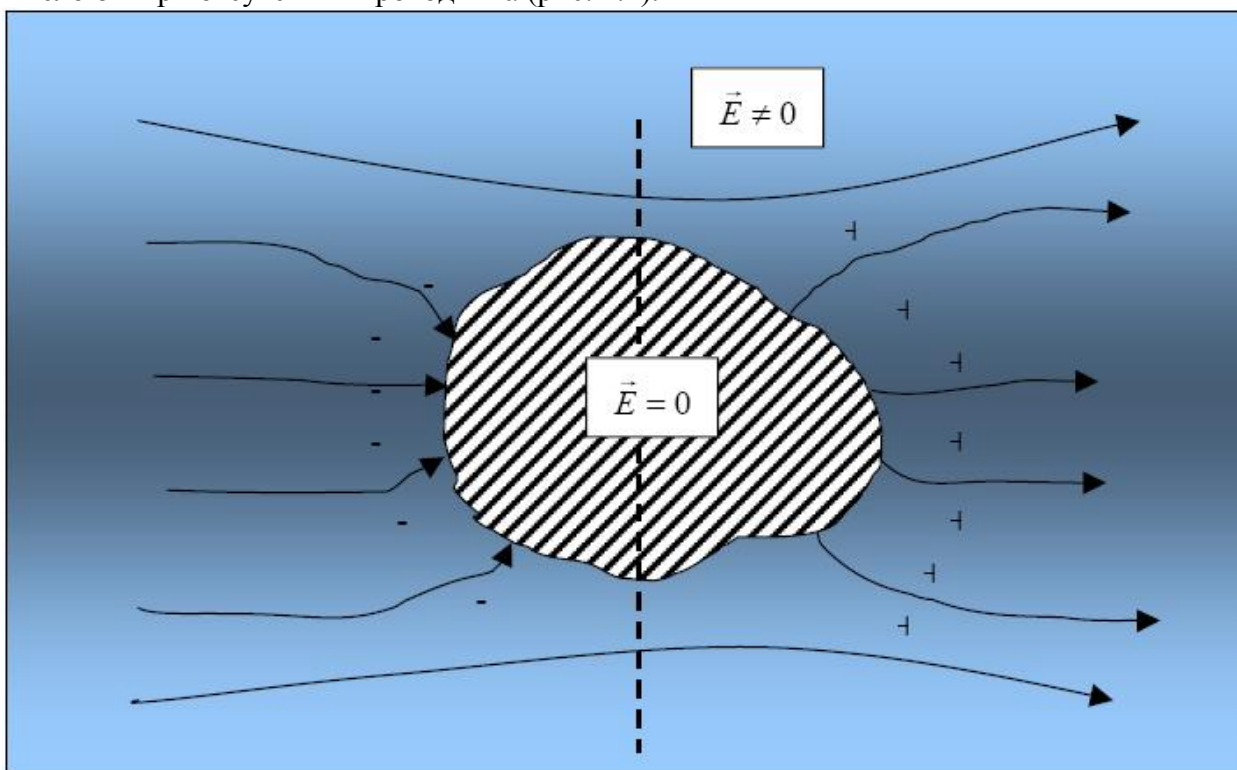


Рис. 2.4. Распределение зарядов в проводнике при наличии внешнего электрического поля

Как видим, на одном конце проводника скапливаются отрицательные заряды, на другом – положительные. Такое поведение зарядов проводника в ответ на внешнее электрическое поле именуется *электростатической индукцией*. Поля этих зарядов суммируются с внешним полем по принципу суперпозиции и притом таким образом, что результирующая напряжённость в проводнике равна нулю. Если мы вырежем внутри проводника на рис. 2.4 полость, то в этой полости напряжённость электрического поля будет нулевая. Конечно, это, как мы установили ранее, ни в коем случае не означает, что внутри проводника нет никаких полей. Отнюдь. Там благополучно *существуют* как внешнее поле, так и поля противоположных зарядов, скопившихся на противоположных концах проводника. Это легко проверить, сделав наш проводник разъемным (по пунктирной линии на рис. 2.4). Приведём во вращательное движение в противоположных направлениях половинки проводника и увидим, что внутри полости появилось *магнитное* поле. Причём это магнитное поле оказывается связано с внешним электрическим. Уберите внешнее поле (сохраняя вращение половинок проводника) и магнитное поле внутри исчезнет. В этом опыте наглядно видно, что *совместное* действие механического движения и электростатического поля порождает магнитные явления.

У проводников, со всех сторон окружённых диэлектриком, проявляется важное и весьма интересное свойство. Если на этот проводник с заряженного тела перенести некий заряд Q , то этот заряд останется на проводнике, порождая вокруг проводника

электростатическое поле с напряжённостью E . Попытка добавить новую порцию заряда приведёт к сопротивлению со стороны уже обладающего избыточным зарядом проводника. Это и понятно, ведь, чтобы добавить новых зарядов того же знака, надо *совершить работу* по преодолению сил отталкивания. Оказывается, у различных проводников эта работа разная и зависит не только от заряда, сообщённого проводнику, но и от **формы** самого проводника. Мы помним, что энергия по удалению (приближению) пробного заряда к проводнику есть потенциал. Отношение заряда Q к потенциалу φ именуют ёмкостью уединённого проводника C и выражают, как:

$$(2.27) C = \frac{Q}{\varphi}.$$

Ёмкость выражается в фарадах $\Phi = Кл/В$. Фарада – очень большая величина, на практике проводники бытовых размеров имеют ёмкости в единицы, десятки, иногда сотни пикофард. Ёмкость зависит только от геометрии проводника и свойств окружающей проводник диэлектрической среды. Ни от заряда, ни от агрегатного состояния, ни от материала проводника она не зависит. Это твёрдо установленный факт, обусловленный тем, что свободные заряды проводника перераспределяются *по поверхности*. Ёмкость уединённого шара выражается через его радиус R как:

$$(2.28) C = 4\pi\epsilon\epsilon_0 R.$$

Этот результат легко получить из (2.27) подстановкой формулы для потенциала заряженного шара (совпадает с потенциалом точечного заряда) (2.11). Здесь влияние среды сказывается через ϵ – относительную диэлектрическую проницаемость среды. Запомним, что ёмкость проводника зависит не только от геометрии самого проводника, но и от свойств диэлектрической среды, его окружающей. Даже если эта среда – вакуум. Таким образом, нельзя утверждать, как часто пишут в физической литературе, что ёмкость – характеристика проводника. Нет. Это некая характеристика *взаимоотношений* проводника и окружающего его диэлектрика. Ёмкость отражает также способность проводника вместе с окружающим его диэлектриком накапливать энергию. В самом деле, при большой ёмкости C и заряд и энергия, приходящиеся на 1 вольт потенциала, велики. Чтобы зарядить тело от нулевого потенциала до потенциала φ , требуется совершить работу A :

$$(2.29) A = \int_0^{\varphi} C\varphi d\varphi = \frac{C\varphi^2}{2}.$$

Энергия заряженного проводника в диэлектрической среде равна этой работе, и равна по модулю той работе, которую можно получить, разряжая заряженный проводник:

$$(2.30) W = \frac{C\varphi^2}{2} = \frac{Q\varphi}{2} = \frac{Q^2}{2C}.$$

Технически используют, как правило, не ёмкость уединённых проводников, а *взаимную ёмкость*. Для этого берут два проводника, разделённых диэлектриком, и переносят заряды с одного на другой. Наиболее простой случай – плоского конденсатора. Это случай, когда проводники имеют вид пластин и их разделяет тонкий слой диэлектрика. В этом случае ёмкость выражается как:

$$(2.31) \quad C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d},$$

где S – площадь пластин, а d – расстояние между ними. В таком конденсаторе поле практически *однородно* и удобно считать плотность энергии поля. Энергия поля соответствует формуле (2.30), объём между пластинами $V = Sd$, соответственно, объёмная плотность энергии электростатического поля:

$$(2.32) \quad w = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2}.$$

Считается, что эта связь энергии и напряжённости поля сохраняется всегда и везде, не только в плоском конденсаторе. Даже в неоднородных полях она сохраняется. Разумеется, до тех пор, пока сама среда не начнёт менять своих электрических свойств под воздействием поля. Даже беглый взгляд на (2.32) показывает, что здесь совершенно не учитывается возможность движения поля (зарядов) и неясно, как такое движение повлияет на энергию поля. Интуитивно понятно, что движущийся конденсатор содержит больше энергии, чем неподвижный. Ну хотя бы потому, что движущиеся избыточные заряды пластин конденсатора – это токи, а токи обладают энергией, и энергия эта кинетическая. Такие вопросы принято относить уже к *электродинамике*.

Теперь, глядя на (2.32), нам становится понятно, почему потенциал сферических зарядов убывает пропорционально первой степени расстояния. И что такое вообще потенциал. Поскольку плотность энергии электрического поля пропорциональна квадрату напряжённости, то она обратно пропорциональна четвёртой степени расстояния. Объём же пропорционален кубу расстояния (радиуса). Следовательно, энергия поля заряда, оставшаяся *вне* сферы радиуса R (во всей остальной Вселенной), убывает как произведение объёма на плотность энергии, то есть куб расстояния, делённый на четвёртую степень расстояния. Значит, потенциал на расстоянии R от сферического заряда это просто та часть энергии заряда, которая осталась вне сферы радиуса R .

Обратимся теперь к несколько иному вопросу: а что, если мы возьмём такой проводник, в котором помещается всего *один* свободный заряд? Например, электрон. Будет ли такой проводник иметь ёмкость? Вне всякого сомнения, да, если его размер отличен от нуля в соответствии с (2.28). Следовательно, даже отдельно взятый электрон (протон, позитрон и т.п.) будет иметь ёмкость. А заряд он и так имеет – это твёрдо установленный факт. Следовательно, зная заряд и ёмкость, мы можем немедленно получить электростатическую энергию, содержащуюся в элементарном заряде q с характерным радиусом r_0 :

$$(2.33) \quad W = \frac{q^2}{2C} = \frac{q^2}{8\pi\varepsilon_0 r_0}.$$

Почему исчезла относительная диэлектрическая проницаемость среды и осталась только абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума? Да потому, что нам известно *строение* вещества: ничтожно малые по размерам элементарные частицы отстоят друг от друга на астрономические расстояния (по сравнению с их размерами). Следовательно, абсолютно подавляющая часть энергии поля заряда находится в относительной близости от заряда и ничего «не знает» ни о какой иной среде, кроме вездесущего вакуума (*плenums*, эфира). Понятно, что если мы будем *двигать* элементарный заряд, то у него появится ещё и кинетическая энергия, представляемая его током (2.21). Какое явление обязательно сопровождает ток? Нам оно хорошо известно – магнитное поле.

Следовательно, энергия, связанная с движением заряда, есть кинетическая энергия, и она «содержится» в магнитном поле элемента с током, т.е. движущемся заряде. Вне всякого сомнения, если бы элементарный заряд не имел электростатической энергии (т.е. заряда и размера), то движение его не вызвало бы никакого «магнитного поля» и не представляло бы кинетическую энергию. А это означает, что электрическое поле первично, а магнитное вторично. Т.е. «магнитное поле» является *следствием* двух вещей: существования элементарных зарядов (т.е. элементарных электрических *полей*) и факта их движения.

А теперь зададимся ещё одним странным вопросом: чем станет вакуум (самый лучший диэлектрик, как мы установили ранее), если в него внести большое количество, например, электронов и приложить внешнее поле? Электроны начнут двигаться в поле в соответствии с (2.3а) и законами Ньютона. Следовательно, потечёт электрический ток. Окажет ли вакуум хоть какое-то сопротивление этому току? Нет, в рамках точности наших знаний – не окажет. Следовательно, такую *систему* (вакуум плюс свободные электроны) можно считать *идеальным проводником*, даже в каком-то смысле сверхпроводником. Вот почему в дальнейшем мы, рассматривая *единственный* электрон в вакууме, будем часто считать его «идеальным» проводником, хотя сам вакуум мы определили как «идеальный» диэлектрик.

Остаётся нерассмотренным ещё один практически важный для дальнейшего изложения вопрос: поведение проводников в *неоднородном* поле. Обсуждая свойства диэлектриков, мы пришли к выводу, что любой диэлектрик испытывает в неоднородном поле втягивание по градиенту поля. А что же с проводниками? По аналогии с диэлектриками мы можем сказать, что проводники в электростатическом смысле ведут себя как диэлектрики с бесконечно большой диэлектрической проницаемостью. С одной стороны, они должны были бы испытывать бесконечную силу втягивания по градиенту неоднородного поля. Но, с другой стороны, поверхность проводника эквипотенциальна, значит, градиент на поверхности равен нулю, и никакого втягивания не должно быть вообще. Что же имеет место на самом деле? А на самом деле всё довольно просто: если наш проводник не настолько велик, чтобы замкнуть собой источники поля (заряженные тела), то можно сказать, что пространство вокруг источников поля представляет собой смесь проводника (проводников) и диэлектрика (или вакуума, как одного из диэлектриков). В таком случае мы имеем диэлектрик с *большой* проницаемостью, чем у «чистого». Следовательно, втягивание будет, но оно будет конечным, и определяться оно будет соотношением количеств проводящей фракции и фракции диэлектрической. Если же проводник настолько велик, чтобы охватить источники, то напряжённости поля внутри него не будет вообще, и говорить о втягивании не придётся.

§ 2.6. Простые и удивительные опыты с электричеством

Взаимное *притяжение одноимённых* зарядов.

Чтобы убедиться в зримых «нарушениях» закона Кулона уже в весьма простых случаях, потребуется немного: два листка тонкой (можно пищевой) фольги, два хороших фарфоровых или стеклянных изолятора, кусок медной нелакированной проволоки, два высокоомных сопротивления (примерно по 10-100 МОм) и источник высокого постоянного напряжения. При отсутствии лабораторного источника можно использовать напряжение на аноде кинескопа или напряжение на выходе бытового ионизатора воздуха, разумеется, со всеми предосторожностями, необходимыми при работе с высокими напряжениями.

Из двух небольших прямоугольных кусочков фанеры, дерева или оргстекла соорудим Т-образный каркас для установки (рис. 2.5). Поставим каркас на нижнюю плоскую часть, укрепим посередине «ножки» перевёрнутой буквы Т изоляторы. Вырежем две полоски фольги и прикрутим каждую к своему изолятору проволокой. Соберём схему,

показанную на рис. 2.5, из двух сопротивлений и источника высокого напряжения. Один полюс источника заземлим.

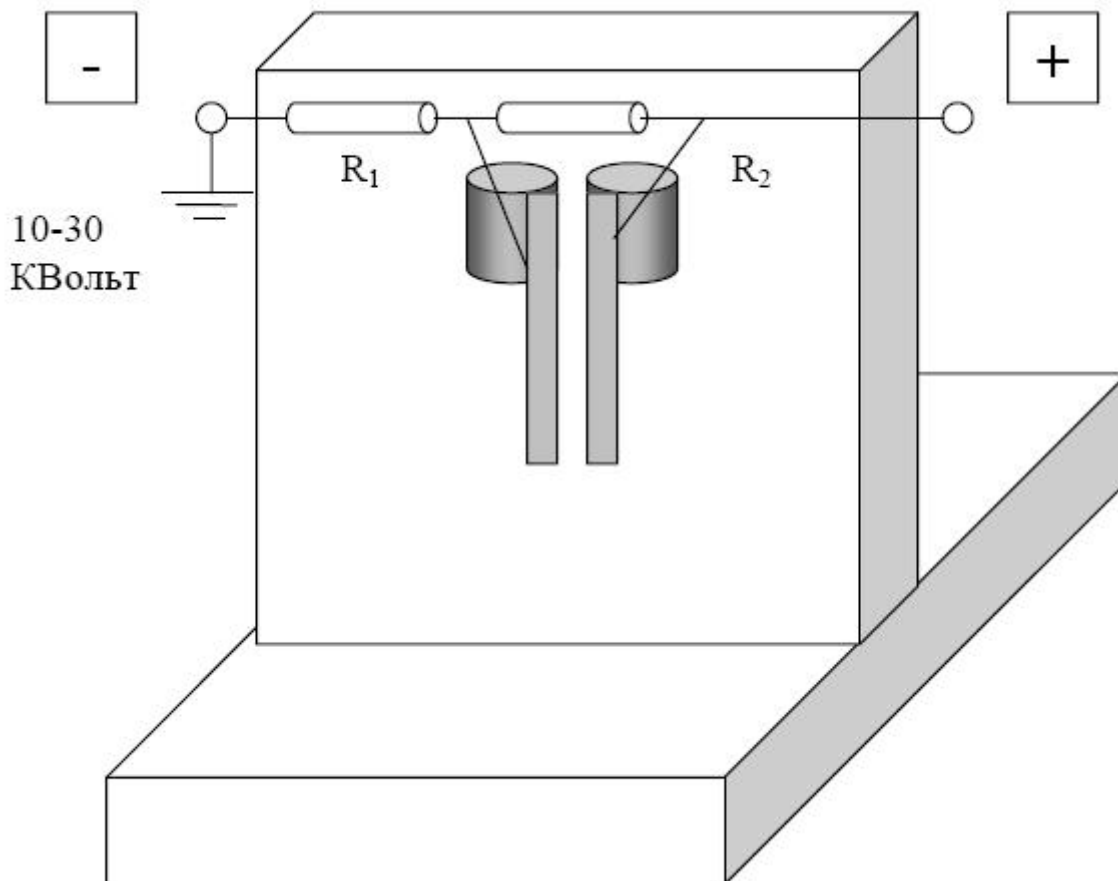


Рис. 2.5. Пример очевидного нарушения закона Кулона.

Теперь включим источник. Очевидно, что в соответствии со схемой на одном электроде (полоске фольги) будет потенциал, равный половине потенциала источника относительно земли, а на другом – полный потенциал. Поскольку и на одной полоске и на другой потенциал одного знака, то, следовательно, и заряд на каждой полоске будет одинакового знака. Однако величины этих зарядов будут отличаться примерно вдвое. Полоски представляют собой обкладки плоского конденсатора, разность потенциалов между которыми равна половине полного потенциала источника. Между обкладками заряженного конденсатора, вне всякого сомнения, будут действовать поперечные силы взаимного притяжения. И, несмотря на то, что знак заряда на полосках *одинаковый*, полоски притянутся друг к другу, возможно, вплоть до замыкания с образованием искрового разряда. Но если теперь *закоротить* сопротивление R_2 (или *удалить* сопротивление R_1) на рис. 2.5, то полоски начнут *отталкиваться*, так как они теперь не только одноименно заряжены, но и находятся под одним потенциалом, и, по сути, в такой схеме представляют собой классический *электроскоп*. Скажите теперь, не зная ни реальной формы, ни реальных расстояний между, например, частицами в ядрах атомов, можем ли мы утверждать, что непременно требуется какое-то особое внутриядерное поле для удержания, например, двух протонов и двух нейтронов вместе?! Разве не может оказаться, что вполне достаточно обыкновенных электростатических взаимодействий, подобных тем, что в вышеописанном опыте заставляли притягиваться одноименно заряженные тела?

Видоизменим опыт. Установим теперь между полосками фольги медный экран. Теперь наши полоски *всегда* будут притягиваться, не только вне зависимости от знаков зарядов на них, но даже и при совершенно одинаковом потенциале. Не таково ли

электрическое действие нейтронов в ядрах? Не подобны ли они медному экрану в этом опыте?! Ведь не существует в природе ядер, состоящих *только* из протонов, кроме ядра атома водорода, в котором единственный протон, и ему просто не от кого отталкиваться.

В школьных (да и вузовских) курсах физики обязательно демонстрируются опыты с электроскопом, вольно или невольно убеждающие учащихся в том, что одноимённые заряды всегда и везде отталкиваются. Но, насколько нам известно, ни в одной программе не демонстрируются опыты, в которых одноимённые заряды притягивались бы, и не разъясняются возможные нарушения закона Кулона, сформулированного для несуществующих в природе идеализированных *точечных* зарядов. Таким образом, у будущих учёных формируется ригидный миф о том, что одноимённые заряды обязаны отталкиваться во что бы то ни стало. К чему этот миф (и ряд других) привёл во всех иных отношениях умных и талантливых физиков начала-середины XX века мы уже знаем: к бесконтрольному размножению постулатов и сущностей с последующей вакханалией подгонки коэффициентов наспех придуманных уравнений.

Литература

1. Т.И.Трофимова. Курс физики. 9-е издание. – М.: Издательский центр «Академия», 2004 г.
2. Б. М. Яворский, Ю. А. Селезнев. Справочное руководство по физике. Для поступающих в вузы и для самообразования. М.: "Наука", 1989 г.
3. А. П. Мартыненко. «Вакуум в современной квантовой теории» Соросовский образовательный журнал, т.7, N 5., 2001 г.
4. В. Н. Ганкин, Ю. В. Ганкин. Как образуется химическая связь и как протекают химические реакции. ИТХ. Институт теоретической химии. Бостон. 1998 г.

Глава 3. Магнитное поле и магнетизм

§ 3.1. Магнитное поле как результат движения электрического поля. Характеристики магнитного поля.

Выше мы неоднократно высказывали мысль о том, что магнитного поля как самостоятельной сущности не существует. А те манифестации, которые мы привыкли ассоциировать с магнитным полем, в каждом случае вызваны *движениями* электрических полей. Поскольку выше мы установили, что электрическое поле и элементарные заряды - это синонимы, следовательно, магнитные явления всегда вызваны движениями зарядов. А вот этот вывод уже, кажется, ни у кого не должен вызвать особой аллергии. Более того, магнитные поля в современной физике прочно ассоциируются с токами, а токи – это всегда движение зарядов. Всё, чем отличается наша парадигма от общепринятой, это то, что мы пытаемся *напрямую* связать движения электрических полей с магнитными явлениями. Токи в нашем представлении, конечно же, сопровождают движения электрических полей, в том числе и в вакууме, но они являются тоже всего лишь следствием движущихся полей и наличия вездесущей среды (как вещественных сред, так и эфира, *плenums*). Поскольку движения полей могут быть весьма разнообразны, в том числе могут быть *уничтожимыми* (выбором системы отсчёта) и *неуничтожимыми*, то и манифестации такого движения весьма разнообразны. Система этих манифестаций действительно производит такое впечатление, словно за ней стоит некая единая сущность. Эту-то сущность поспешно назвали магнитным полем и стали изучать, как самостоятельное явление. Х. Эрстед, А. Ампер, М. Фарадей, Н. Тесла – практически все великие физики XIX века в той или иной мере отдали немало сил и времени изучению магнитных явлений и развитию понятия «магнитное поле». Труды этих замечательных людей в современные пособия, справочники и учебники вошло примерно нижеследующее понимание магнитного поля: *считается, что электрическое поле действует как на неподвижные, так и на движущиеся в нём заряды, магнитное же поле действует только на движущиеся в нём электрические заряды* [1]. Отметим, что в такой парадигме полностью проигнорирован принцип относительности. То есть следовало бы говорить, что если в магнитном поле могут двигаться заряды, то и магнитное поле может двигаться относительно зарядов. Вообще, мышление человека не может представить себе ситуацию, когда объект **А** движется относительно объекта **Б**, а вот объект **Б** не движется относительно **А**. Попробуйте придумать такой пример. Не получится. А в таком случае, когда движется не заряд, а «магнитное поле», всё будет выглядеть так, что заряд *неподвижен* в выбранной системе отсчёта, а магнитное поле *движется* и имеет место *взаимодействие* между зарядом и магнитным полем при *неподвижном* заряде.

Ранее мы обнаружили факт имманентно присущего электрическому полю непрерывного движения. Значит, нет в природе взаимодействия неподвижного заряда с неподвижным полем. Потому что нет в природе неподвижных электрических полей. Ровно то же самое происходит и при взаимодействии заряда с «магнитным полем»: либо заряд подвижен, либо магнитное поле подвижно, либо они оба обладают движением в выбранной системе отсчёта. Тогда различие, казавшееся ранее очевидным и существенным, оказывается химерой, обманом зрения, поспешным выводом.

Но ведь с чем-то «магнитное поле» связано? Конечно. Оно связано с движением электрических полей, то есть с движениями возмущений в зарядовых континуумах эфира (вакуума, *плenums*, мировой среды). Мы обнаруживаем магнитное поле по силовому воздействию на движущиеся заряды, т.е. *токи*. Мы обнаруживаем также *движущееся* магнитное поле по силовому воздействию на *неподвижные* заряды. Магнитное поле

всегда порождается токами, то есть всё теми же движущимися зарядами. Таким образом, выход из этого лабиринта взаимосвязей ровно один: так называемое «магнитное поле» - это просто *взаимодействие между взаимно движущимися зарядами*.

«Магнитное поле» в ряде случаев *удобно* считать существующим. Удобно в тех случаях, когда описание движений зарядов через «магнитное поле» существенно *проще*, чем описание самих движений. Мы и сами так часто поступаем. Но, поступая так, мы ни на секунду не забываем, что никакого «магнитного поля» на самом деле нет, как нет теплорода и флогистона.

Чтобы охарактеризовать магнитное поле, принято рассматривать его силовое действие на определённый ток. Поскольку ток - это вектор по определению, то силовое поле, действующее на вектор, поневоле отличается от поля, действующего на скаляр (заряд). Было придумано и пробное тело для магнитных полей – замкнутый плоский контур с током, линейные размеры которого малы по сравнению с расстоянием до токов, создающих исследуемое магнитное поле. Важную роль играет направление *нормали* к рамке с током. Принято определять его *правилом правого винта*: за положительное направление нормали принимается направление поступательного движения винта, головка которого вращается в направлении тока, текущего в рамке.

Опыт показывает, что магнитное поле ориентирует в пространстве свободную рамку с током определённым образом. За направление магнитного поля в данной точке принимают направление, вдоль которого располагается положительная нормаль к рамке. Аналогичное ориентирующее действие магнитное поле оказывает и на магнитную стрелку компаса, разворачивая её так, чтобы ось стрелки, соединяющая южный полюс с северным, совпадала с направлением поля. Та же рамка может служить и для *количественного* описания магнитного поля. Поскольку разворачивает рамку пара сил, то возникает вращающий *момент*.

$$(3.1) \vec{M} = [\vec{p}_m \vec{B}],$$

где \vec{p}_m - *вектор магнитного момента* рамки с током, \vec{B} - *вектор магнитной индукции* (количественная характеристика магнитного поля). Для плоского контура с током I магнитный момент определяется как:

$$(3.2) \vec{p}_m = IS\vec{n},$$

где S - площадь поверхности контура (рамки); \vec{n} - единичный вектор нормали к поверхности рамки. Магнитную индукцию поля можно определить через максимальный механический вращающий момент и магнитный момент рамки с током:

$$(3.3) B = \frac{M_{\text{макс}}}{p_m}.$$

Индукция поля измеряется в Тесла [Тл]. На сегодняшний день установлено, что вектор \vec{B} может быть определён также из закона Ампера и из выражения для силы Лоренца. Поскольку сила Ампера, как установлено на сегодняшний день, есть совокупность сил Лоренца действующих на носители заряда в проводнике, и она же разворачивает рамку в магнитном поле, то получается, что есть всего *одна* силовая характеристика магнитного поля: сила Лоренца. Сила Лоренца есть сила, действующая со стороны магнитного поля \vec{B} (т.е. токов, его порождающих) на движущийся со скоростью \vec{v} *относительно* поля элементарный заряд q_0 .

$$(3.4) \vec{F} = q_0[\vec{v}\vec{B}].$$

Относительно силы Лоренца бытует устойчивый миф о том, что она не может производить работы. Такой миф возник из-за конкретного школьного *примера* действия силы Лоренца. Имеется в виду *свободное* движение заряженной частицы в однородном магнитном поле. В этом случае частица движется по кругу, сила Лоренца, поворачивающая заряд, перпендикулярна скорости и, значит, по определению, не совершает работы. Однако если заряд не может свободно двигаться по кругу, задаваемому полем, то он будет пытаться двигать всё то, что ему мешает (кристаллическую решётку провода, например) и благополучно *совершит* работу. Другое дело, за счёт чего именно будет совершена эта работа. За счёт кинетической энергии частицы, за счёт энергии электрического поля, движущего частицу, за счёт энергии токов, порождающих магнитное поле. Но не за счёт энергии самого магнитного поля. Магнитного поля нет, значит, нет и энергии магнитного поля. Энергия есть у движущихся зарядов, т.е. токов. Вот настоящая причина, почему магнитное поле как таковое не совершает работы. Однако в общепринятой парадигме считается, что это не так. Рассмотрим всё тот же пример с круговым движением заряда в магнитном поле. Если бы кто-то увидел электрон, вращающийся по кругу вокруг *пустого* места, он бы весьма удивился. Ведь круговое движение должно создавать центробежную силу, ибо электрон обладает массой. Значит, без противостоящей силы он бы удалялся от центра вращения. Следовательно, его удерживает на круговой орбите сила, эквивалентная некоей потенциальной силе (вроде Кулоновской). А раз так, то у электрона, вращающегося по кругу, есть *дополнительная* энергия, энергия связи. Он уже не свободный заряд. Он связанный с чем-то. Откуда взялась эта энергия? Совершенно понятно: вращающийся по кругу электрон есть ток, и он создаёт магнитное поле, которое накладывается на внешнее поле и уменьшает его вблизи электрона. Эта разница и пошла на создание энергии связи электрона с полем. Так что Лоренцева сила всё-таки и в этом случае благополучно совершила работу. Другой разговор, что, будучи единожды совершённой, эта работа более не совершается при вращении электрона. То есть, сколько бы электрон не крутился по круговой орбите в магнитном поле, его суммарная энергия не изменится. Вопрос об излучении ускоренного электрона и лучевом трении мы рассмотрим позже, после того как изучим явления и механизм электромагнитной индукции.

Как же *количественно* характеризуется магнитное поле? Если расположить два *длинных* проводника (в вакууме) параллельно на расстоянии R с током и пропускать по ним токи I_1 и I_2 , то между токами будет действовать сила, именуемая силой Ампера. Природа этой силы Лоренцева, как мы уже говорили. Эта сила действует на *каждый* элемент длины проводов как:

$$(3.5) d\vec{F} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I_1I_2}{R} dl,$$

где μ_0 - коэффициент пропорциональности, называемый магнитной проницаемостью вакуума. Считается, что эта величина – мировая физическая константа. Позже мы выясним подлинный смысл этой константы.

Если токи сонаправлены, то проводники притягиваются. Если противонаправлены – отталкиваются. Как мы уже указывали, движение электронов в проводнике является принципиально неуничтожимым, и эта неуничтожимость в значительной мере и создаёт иллюзию объективного существования магнитного поля. Опытные формулы (3.4) и (3.5) позволяют вывести величину магнитного поля прямого провода с током I :

$$(3.6) \quad B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I}{R}.$$

Если ток представлен всего *одним* движущимся элементарным зарядом q_0 , то его магнитное поле выражается как:

$$(3.7) \quad \vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q_0 [\vec{v}, \vec{r}]}{r^3}; B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q_0 v}{r^2} \sin \alpha.$$

где α - угол между векторами \vec{v} и \vec{r} . Мы уже получали этот результат ранее, рассматривая движение не точечных, а реальных зарядов, с ограниченным размером. Поле движущихся зарядов обнаружено американским физиком Г. Роуландом и проверено русским физиком А. А. Эйхенвальдом. Точно магнитное поле свободно движущихся зарядов было измерено академиком А. Ф. Иоффе.

Магнитное поле постоянных токов изучалось Ж. Био и Ф. Саваром в XIX веке. Обобщив их труды, французский математик и физик П. Лаплас вывел выражение для магнитного поля *элемента с током* (короткого отрезка длины dl). Тогда ещё не знали об электронах, не знали об эквивалентности токов смещения, проводимости и конвекции. Не могли измерить поля движущегося электрона. Вывод был получен «на кончике пера». Итак, магнитное поле элемента с током $I dl$ определяется как:

$$(3.8) \quad d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I [d\vec{l}, \vec{r}]}{r^3}; dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I dl}{r^2} \sin \alpha.$$

Установлено, что для магнитного поля справедлив принцип суперпозиции. Например, поле провода с током есть суперпозиция полей элементов с током, составляющих провод. Теперь мы понимаем, почему «магнитное поле» подчиняется принципу суперпозиции. Всё потому, что этому принципу подчиняются как электрическое поле, порождающее своим движением магнитное, так и силы вообще.

Пользуясь (3.8), можно вычислить магнитное поле практически любого тока: соленоидального, тороидального, прямого, кругового и сколь угодно сложного.

§ 3.2. Поток вектора магнитной индукции и теорема Гаусса

В начале учения о магнетизме М. Фарадей ввёл представление о силовых магнитных линиях. Силовые линии определяются почти так же, как в случае с электрическим полем. Это линии, касательные к которым в каждой точке равны векторам индукции магнитного поля. Сам М. Фарадей склонен был думать, что эти линии существуют объективно. То есть это что-то вроде нитей, исходящих из одного полюса магнита и входящих в другой. Тогда можно посчитать «число» таких нитей, проходящих через выделенную площадку или поверхность.

Потоком вектора магнитной индукции (магнитным потоком) через площадку dS называется скалярная величина, равная:

$$(3.9) \quad d\Phi_B = \vec{B} d\vec{S} = B_n dS,$$

где $B_n = \vec{B} d\vec{S} \cos \alpha$ - проекция вектора \vec{B} на направление нормали к площадке dS , $d\vec{S} = dS \vec{n}$. Поток измеряется в веберах [Вб]. Один вебер – магнитный поток, проходящий

сквозь плоскую поверхность площадью 1 м^2 , расположенную перпендикулярно магнитному полю с индукцией 1 Тл . Каков физический смысл потока магнитной индукции? Изначально это было именно *количество силовых линий*, пересекающих площадку. В настоящее время в физической литературе этот вопрос стараются просто обойти молчанием. Ну есть поток и есть. Он как-то выражается, через него что-то можно посчитать. И ладненько. Важнее, что поток фигурирует в теореме Гаусса: ***поток вектора магнитной индукции сквозь любую замкнутую поверхность равен нулю***. Считается, что эта теорема отражает факт отсутствия магнитных зарядов, вследствие чего силовые линии не имеют ни начала, ни конца и являются замкнутыми. Математически теорема Гаусса записывается как:

$$(3.10) \int_S \vec{B} d\vec{S} = \int_S B_n dS = 0.$$

В этом принято усматривать разницу между магнитным и электрическим полем и на основании этой разницы утверждать, что магнитное поле является самостоятельной сущностью. Между тем мало кто думает что если объявить силу Кориолиса, например, силой порождаемой особым полем, то мы получим практически всю теорию, разработанную для магнитного поля, и вполне можем уверовать в существование «поля Кориолиса». Но ведь на сегодняшний день хорошо понятно, что сила Кориолиса возникает от двух причин: суточного вращения Земли и инерции прямолинейно движущегося пробного тела. Так и «магнитное поле» есть порождение двух сущностей: наличия электрического поля у зарядов и факта взаимного движения зарядов.

Когда контур охватывает площадку несколько раз (многовитковая катушка), то поток магнитного поля через него считается умноженным в соответствующее число раз и называется почему-то уже не потоком, а потокосцеплением:

$$(3.11) \Psi = \Phi N.$$

Видимо, такое положение дел установилось в результате попыток объяснения электромагнитной индукции, изучавшейся на примере соленоидов, т.е. многовитковых контуров.

§ 3.3. Магнитные свойства вещества. Самое немагнитное вещество

До сих пор мы рассматривали магнитное поле в вакууме (мировой среде, пленуме). И установили, что взаимное движение «магнитного поля» и зарядов приводит к силовому взаимодействию. Нам известно, что любое вещество являет собой систему «элементарных» зарядов. И заряды эти находятся в непрерывном внутреннем движении. Следовательно, вещество так или иначе должно реагировать на магнитное поле. И это действительно так. Опытный факт состоит в том, что если поместить во внешнее однородное магнитное поле образец из *любого* природного вещества, то напряжённость поля внутри этого образца будет *отличаться* от напряжённости внешнего поля. Это происходит потому, что внешнее магнитное поле наводит (индуцирует) в веществе собственное поле вещества, и мы имеем дело с *суммой* полей. Принято говорить, что все вещества, помещённые в магнитное поле, *намагничиваются*. Этот факт принято отражать особой характеристикой вещества – *относительной магнитной проницаемостью* μ . Она показывает, во сколько раз меньше или больше суммарное поле в данном веществе стало

относительно внешнего поля. Магнитные свойства веществ определяются в основном магнитными свойствами электронов в атомах и отчасти магнитными свойствами ядер.

Мы особо хотим отметить тот факт, что в природе *нет веществ с единичной магнитной проницаемостью*. Если магнитная проницаемость меньше единицы, принято называть такое вещество *диамагнетиком* (поле в нём всегда *меньше* внешнего). Если она больше единицы, то такое вещество называют *парамагнетиком* (поле в нём *больше* внешнего). Бывают вещества (как правило, сложного состава), у которых огромные магнитные проницаемости. Такие вещества являются ферромагнетиками, ферримагнетиками, антиферромагнетиками и т.д. Мы намеренно не собираемся вдаваться в природу этих веществ и механизмы образования намагниченности, поскольку эти вещи неплохо описаны в существующей физической литературе и не являются существенными для целей данной книги.

Сообразительный читатель, мы полагаем, уже додумался до идеи смешать в некоторой определённой пропорции диамагнитное и парамагнитное вещество с тем чтобы получить вещество с *единичной* относительной магнитной проницаемостью. Без сомнения, это возможно теоретически. Но на практике в силу технических ограничений всегда будет иметься какое-то остаточное отличие μ от единицы. К тому же окажется что для разных температур, давлений и влажностей эта остаточная величина разная. И только одно известное нам вещество имеет относительную проницаемость, *в точности* равную единице, – это вакуум (мировая среда, *плenums*). Кроме того, ещё М. Фарадей выяснил, что в магнитном поле плоскость поляризации света, проходящего через среду, претерпевает вращение. В диамагнетиках в одну сторону, в парамагнетиках в противоположную. И только в вакууме при любых магнитных полях не наблюдается эффекта Фарадея, т.е. плоскость поляризации света неподвижна. Какой же фундаментальный вывод мы можем сделать из вышеприведенных фактов? Без сомнения, напрашивается один главный вывод: вакуум *амагнитен*. То есть он *индифферентен* к магнитному полю. То есть не имеет *никаких* магнитных свойств.

Говоря о взаимоотношениях вакуума (эфира, плenums) с электрическим полем, мы отмечали, что он такой же диэлектрик, как любые другие диэлектрики, с той разницей, что он намного лучше их, идеальнее. В отношении магнитного поля мы так сказать не можем, а вынуждены констатировать, что вакуум абсолютно *немагнитен*. Почему всегда магнитны вещества? Потому что веществу по самой его природе неотъемлемо присуще внутреннее движение. Почему совершенно немагнитен вакуум? Видимо, следует признать, что внутреннее движение не является его собственным неотъемлемым свойством! То есть он может двигаться, а может и не двигаться.

А вот теперь, сделав этот существенный вывод об *амагнитной* природе вакуума, мы снова вынуждены усомниться в том, что то, что принято называть «электромагнитной волной», действительно волна. Все волны, изученные людьми до эпохи электромагнетизма, были устроены одинаково: кинетическая энергия движущейся материи переходит в потенциальную (как правило, связанную с взаимным расположением частей системы) и обратно. Так происходит распространение волновых возмущений. Казалось бы, нечто подобное усматривается и в распространении «электромагнитных волн»: энергия магнитного поля (а мы уже знаем, что это энергия движения зарядов, т.е. кинетическая) переходит в энергию электрического поля (энергия электрического поля связана с взаимным положением зарядов и, соответственно, потенциальна) и наоборот. Позже мы укажем на ряд обстоятельств, которые препятствуют восприятию «электромагнитной волны» как волны. А сейчас существенно вот что: коль скоро мы установили *амагнитность* вакуума, то, следовательно, нет никакой специфической внутренней энергии вакуума, связанной с «магнитным полем». В веществе – она есть, поскольку поле внутри вещества изменяется по отношению к внешнему полю. То есть в веществе более-менее понятно: есть внешнее магнитное поле, значит, появляется и внутреннее, отличное от внешнего. Нет внешнего – нет и внутреннего. В веществе, таким

образом, есть лазейка, через которую можно «создать» в нём «магнитную энергию». В вакууме такой лазейки нет, поэтому затруднительно производить преобразования потенциальной энергии электрического поля в кинетическую энергию магнитного и обратно. А если вспомнить ещё более фундаментальный вывод, что магнитного поля и вовсе нет как самостоятельной сущности, то совсем уж становится непонятно, как может существовать такая сомнительная «волна». Разумеется, любой образованный человек возразит нам, что *распространение* такого явления, как «электромагнитная волна», весьма похоже на распространение настоящих волн, например, звуковых. Но разве похожесть законов распространения обязательно требует одинаковой природы явлений? Пули распространяются практически по законам геометрической оптики. Никаких сомнений. Так почему же в оптике по сей день не принята баллистическая гипотеза Ритца? А потому, что при современной организации науки приживается не самая яркая идея, и не самая простая, и даже не самая многообещающая. А приживается та, которая в нужное время оказалась в нужном месте.

§ 3.4. Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле. Энергия магнитного поля

На проводник с током в магнитном поле действует сила, определяемая законом Ампера (3.5). Если предположить, что магнитное поле, в котором находится проводник с током создано другим проводником с током (ведь неважно, чем именно создано это поле, поскольку принято учитывать лишь одну силовую характеристику B), то несложно установить, что сила, действующая на проводник с током I , в поле B будет равна:

$$(3.12) F = IBl,$$

где l - длина проводника. Разумеется, магнитное поле полагаем перпендикулярным плоскости, в которой находится проводник. Если ничто не мешает проводнику двигаться, то под действием силы (3.12) он придёт в движение. Тогда работа, совершаемая над проводником, будет равна, по определению работы:

$$(3.13) dA = Fdx = IBldx = IBdS = Id\Phi.$$

Здесь dx - величина малого перемещения проводника в пространстве. То есть работа по перемещению проводника в магнитном поле равна произведению силы тока на магнитный поток, *пересеченный движущимся проводником*.

Зададимся вопросом, кто именно совершил эту работу? Магнитное поле? Сам проводник? Ток? Источник тока? Проводник как таковой не имел энергии на совершение работы. Значит не он. Магнитное поле не изменилось. Видимо, не оно. Ток тоже не изменился, по условиям задачи. Значит и не он. Методом исключения остаётся источник тока. Как именно осуществилось совершение работы, по какому механизму, мы сможем выяснить только тогда, когда разберём явления электромагнитной индукции. Оказывается, источник тока совершает работу против сил электромагнитной индукции. Забегая вперёд, укажем, что в теории электромагнитной индукции получено выражение для энергии W контура с индуктивностью (коэффициентом самоиндукции) L :

$$(3.14) W = \frac{LI^2}{2}.$$

Зная, что в длинном соленоиде длины l , например, магнитное поле зависит от тока как:

$$(3.15) \quad B = \frac{\mu\mu_0 NI}{l},$$

а индуктивность соленоида с площадью сечения S равна:

$$(3.16) \quad L = \frac{\mu\mu_0 N^2 S}{l},$$

то полная энергия магнитного поля в соленоиде объёма V :

$$(3.17) \quad W = \frac{B^2}{2\mu\mu_0} V = \frac{BH}{2} V,$$

где $H = \frac{B}{\mu\mu_0}$ напряжённость магнитного поля [А/м]. Что это за энергия?! Вне всякого сомнения, это *кинетическая* энергия движущихся по определённым траекториям *электронов* в обмотке соленоида. Если электроны остановить (прекратить ток), то энергия может быть выделена и использована. Несложно вычислить для этого простого случая объёмную плотность энергии магнитного поля в *соленоиде*:

$$(3.18) \quad w = \frac{B^2}{2\mu\mu_0} = \frac{BH}{2}.$$

Считается, что эта формула верна для магнитного поля вообще. Любого. Всюду. Хотя конкретно в соленоиде эта энергия принадлежала не полю как таковому, а движущимся материальным частицам, электронам. Оторвав (3.18) от источника поля, физика уклонилась от здравого смысла. И объявила энергию магнитного поля объективно существующей, вне связи со своими материальными носителями – движущимися зарядами (движущимися электрическими полями).

Мы уже отмечали, что «энергия магнитного поля» проявляется только тогда, когда возникают явления электромагнитной индукции, т.е. *изменения поля*. Вне индукции – нельзя говорить об энергии поля. Разве что как о потенции, возможности. В то же время магнитное поле связано с движением зарядов, кинетической энергией. Это противоречие легко объяснить, отказавшись от реальности магнитного поля и сведя его к движению зарядов (электрических полей). Заряды – это материя. Если есть движущиеся заряды, то значит, движется материя. Следовательно, есть кинетическая энергия. Если попытаться *изменить* движение, то возникнут силы инерции и со временем совершат работу (глава 1). Вот и всё. Никаких загадок, никаких парадоксов.

§ 3.5. Парадоксы магнитного поля

Кроме уже упоминавшегося нами парадокса с самофокусировкой пучка заряженных частиц в собственном магнитном поле, современное понимание магнитного поля приводит и к другим парадоксам. Например, к невозможности существования бесконечно тонкого провода с током. Суть парадокса проясняется из рис. 3.1. Представим себе проводящую трубку с током I . Пусть сначала полный ток образуется двумя параллельными диаметрально расположенными одинаковыми токами I_1 и I_2 . Согласно

современным представлениям оба тока образуют одинаковые магнитные поля B_1 и B_2 . Нетрудно видеть (рис. 3.1), что на оси трубки индукция магнитного поля должна быть тождественно равна нулю. Если мысленно разбить цилиндрический ток на множество диаметрально расположенных микротоков j , то для каждой пары сумма их магнитных полей на оси будет равна нулю. Следовательно, магнитное поле цилиндрического тока на оси цилиндра (трубки) тождественно равно нулю. При любом диаметре трубки на её оси поле будет нулевым, т.е. отсутствующим. В бесконечно тонкой трубке при $R \rightarrow 0$, следовательно, одновременно *и должно* существовать бесконечно большое поле согласно выражению (3.6) *и не должно* существовать никакого поля согласно вышесказанному.

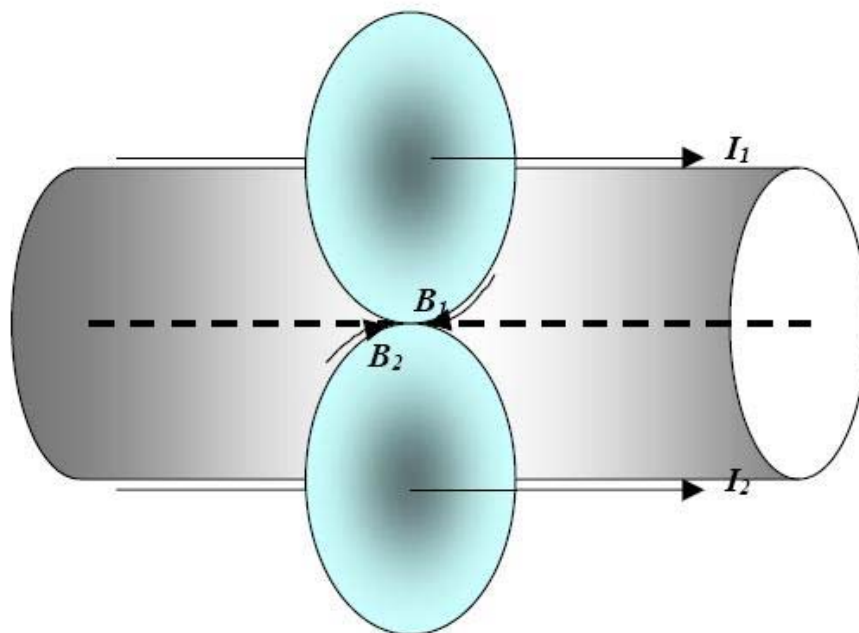


Рис. 3.1 К пояснению парадокса бесконечно тонкого провода с током

Эти утверждения логически несовместны, следовательно, бесконечно тонкие токи невозможны, хотя ими пользуются как инструментом при решении задач. Мы здесь не указываем на тривиальное обращение энергии поля бесконечно тонкого провода в бесконечность, поскольку наше отношение к «энергии магнитного поля» не позволяет нам апеллировать к этому понятию вообще.

Литература

1. Т.И.Трофимова. Курс физики. 9-е издание. – М.: Издательский центр «Академия», 2004 г.
2. Б. М. Яворский, Ю. А. Селезнев. Справочное руководство по физике. Для поступающих в вузы и для самообразования. М.: «Наука», 1989 г.
3. А.Н.Матвеев. Электричество и магнетизм. М.: Высшая школа. 1983.
4. Владимир Петрович Карцев. «Магнит за три тысячелетия». 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1988..

Глава 4. Электромагнитная индукция и самоиндукция

§ 4.1. Закон электромагнитной индукции Фарадея и его мистичность

Как было известно ещё в XVIII веке, токи создают вокруг себя магнитное поле. Это установил и А. Ампер и А. Вольта и Дж. Гальвани [5-7]. Были предприняты многочисленные попытки обнаружить и обратную связь – способность магнитных полей вызывать электрические токи. Много времени и сил потратил на это, к примеру, А. Ампер, но безрезультатно. Он вставлял внутрь больших катушек, подключенных к гальванометру, довольно сильные постоянные магниты. Поскольку он был «хорошо обученным экспериментатором», то он располагал измерительную часть установки в другой комнате и хорошо её экранировал, как сказали бы мы сейчас. Вдвинув магнит в катушку, он шёл посмотреть на показания гальванометра. Увы, стрелка была неподвижна. И только в 1831 году М. Фарадей, самоучка, простолудин, обнаружил явление **электромагнитной индукции**. Он осуществлял поначалу тот же опыт, что и А. Ампер, но гальванометр располагал *рядом* с установкой. И, конечно же, вдвигая магнит внутрь катушки, он увидел, как дёрнулась стрелка гальванометра. Причём, когда он вытаскивал магнит, она тоже дёргалась, но уже в другую сторону. Он заменял магнит на катушку с током и видел всё тот же результат. Более того, он, вставив катушку с током в катушку, подключенную к гальванометру, просто *менял ток* в первой катушке. И этого оказалось достаточно, чтобы в цепи второй катушки появлялись токи, именуемые **индукционными**, и стрелка гальванометра задвигалась! Сила, создающая ток во вторичной цепи с гальванометром, была названа **электродвижущей силой электромагнитной индукции**. Обобщив результаты огромного числа опытов, М. Фарадей сформулировал закон электромагнитной индукции:

$$(4.1) U_i = - \frac{d\Phi}{dt},$$

где U_i - ЭДС индукции, действующая в *контуре*, Φ - поток вектора магнитной индукции через *поверхность*, ограниченную контуром. В словесной формулировке он звучит так: **ЭДС электромагнитной индукции в контуре численно равна и противоположна по знаку скорости изменения магнитного потока сквозь поверхность, ограниченную этим контуром**. Поскольку размерность магнитного потока выражается в Веберах [Вб], то размерность этой ЭДС выражается в вольтах, как и любой другой ЭДС. Обратите внимание на поразительную **мистичность** закона: магнитное поле через некую *площадку* (площадь) определяет ЭДС, действующую в *линии* (контуре)! То есть если я изменю магнитное поле *только* в *центре* витка, а сами атомы провода данного витка останутся в *том же* магнитном поле, что и были, то *всё равно* возникнет ЭДС. Улавливаете? Изменение *там* определяет явления *здесь*! Возникает ощущение мистической (и, кстати, мгновенной!) связи без какого-либо посредника между ЭДС в линии и магнитным потоком через контур. Позднее российский учёный Э. Х. Ленц установил правило Ленца: **индукционный ток в контуре имеет всегда такое направление, что создаваемое им магнитное поле препятствует изменению магнитного потока, вызывающему этот индукционный ток**. Всё выглядит так, как если бы магнитное поле обладало **инерцией**. Т.е. стремилось бы сохранить своё значение. Не правда ли? Мы знаем, что ток всегда вызывается силой, действующей на заряды. Мы знаем теперь, что магнитное поле есть результат движения зарядов, то есть протекания токов. Эти токи тоже вызваны силами,

действующими на заряды. Мы, следовательно, понимаем теперь, что инерционность магнитного поля, обнаружившаяся в явлениях электромагнитной индукции, есть просто проявление инерционности движущихся носителей заряда (т.е. токов). Соответственно, правило Ленца нами несколько обобщено и «ньютонизировано» – **сила, возникающая в результате электромагнитной индукции изменяющегося тока, всегда действует так, чтобы компенсировать силу, вызвавшую изменение тока.**

Какова же природа ЭДС электромагнитной индукции? Этот вопрос не давал покоя исследователям весь XIX век, был «заметён под коврик» в веке XX, и вновь не даёт нам покоя теперь, в веке XXI. Уже в XIX веке после открытия электрона стало понятно, что на электроны проводника, *движущегося* в магнитном поле, действует сила Лоренца. Именно она приводит к тому, что электроны устремляются к одному концу и «убегают» от другого конца проводника, создавая разность потенциалов между концами, т.е. порождая ЭДС. Так объяснилась индукция в движущихся проводниках. Но в опытах Фарадея проводники *неподвижны!* А сила Лоренца на неподвижные заряды не действует, как известно. Значит, решили исследователи, эта сила имеет другую природу. Вдумайтесь: когда мы вращаем рамку в магнитном поле Земли, то действует сила Лоренца. И справедлив закон Фарадея. А когда мы меняем ток в катушке – то закон Фарадея по-прежнему справедлив, а сила Лоренца *не* действует. Что, это образец логики и здравого смысла?! Дж. Максвелл нашёл «соломоново решение»: он предположил, что всякое переменное магнитное поле возбуждает в окружающем пространстве (пространство - это что, физическая субстанция?! Или абстрактное понятие?) электрическое поле, которое и является причиной движения зарядов в проводнике. Стоп-стоп-стоп! Ну ладно, ну чёрт с ним, ну возбудило магнитное поле (физический, якобы, объект) в пространстве (объект либо математический, либо философский) электрическое поле (физический объект). Но помилуйте, каким это таинственным образом сие электрическое поле проникло *внутрь проводника* и двинуло там электроны? Ведь обычное электрическое поле такой фокус совершить не может: внутри проводника электрического поля нет. Явление экранировки. Значит, в результате изменения магнитного поля возникает мало того что электрическое поле, да ещё и **какое-то не такое** электрическое поле! Не кулоновское. И записал Максвелл это утверждение так:

$$(4.2) U_i = \oint_L \vec{E}_B dl = -\frac{d\Phi}{dt}.$$

Ну хорошо, зададимся другим вопросом: а если проводник не имеет вид контура, а является сплошным, то что, токи не потекут? Или потекут как-то не так? Оказывается, потекут. Опыт показывает, что даже интенсивнее, чем в тонких проводниках. Это и понятно – массивные проводники обладают малым электрическим сопротивлением, и, если причиной явления оказывается именно электродвижущая **сила**, то чем больше электронов попало под действие этой силы, тем больше результирующий **индукционный ток**. Такие токи в массивных проводниках широко используются в технике и именуются **токами Фуко**. Значит, никакого *экранирующего* действия на эту силу толща проводника действительно не оказывает. По крайней мере, это так при низких скоростях изменения магнитного поля. Мы уже встречались с магнитным полем **токов смещения**, когда рассматривали токи вообще. И видели, что переменное электрическое поле (вполне себе Кулоновское поле!) вызывает в диэлектриках «протекание» токов смещения. А токи смещения, как и всякие токи, породят, конечно же, магнитные поля. Но поскольку токи смещения принципиально могут возникать только в *переменном* электрическом поле, то и их магнитные поля всегда будут *переменными*. Кому-то пришло в голову, что такие магнитные поля чем-то принципиально отличаются от полей, к примеру, постоянных магнитов? (Здесь мы делали вид, что магнитные поля реально существуют, как то принято считать в современной физике).

Решение этого путаного клубка вопросов, конечно же, есть, и решение это простое, как яйцо: сила Лоренца возникает при *любом взаимном движении заряда и поля* (лишь бы не вдоль силовых линий!). Магнитное поле изменяющихся во времени токов приходит в *движение*. Следовательно, всё *та же сила Лоренца* вызывает появление «ЭДС индукции». И не надо привлекать некое загадочное «электрическое, но не кулоновское поле». Поскольку Максвелл не пошёл по этому пути, а, имея приличное математическое образование, предпочёл просто понаписать систем уравнений, то привело это к следующему: поскольку, по сути, у Максвелла *два* электрических и *два* магнитных поля и каждое вектор со всеми своими компонентами, то система уравнений Максвелла вообще *не определена!* Переменных больше, чем уравнений. Произвольно приравнивая одни поля к другим (а это деяние мало кто осознаёт) и подгоняя численные коэффициенты, можно получить практически всё, что угодно. А затем восторгаться, как прекрасно работают эти уравнения. Это всё равно, что восторгаться великой мудростью белого листа: на нём можно изобразить всё что угодно. И нет ничего такого, чего нельзя было бы на нём изобразить. Конечно. Лист для того и создан. Но разве лист объяснит нам законы Мироздания?! Так и уравнения Максвелла – позволяют нарисовать всё что угодно, *ничего не объясняя*.

Не случайно, что почти сразу же после формулировки закона электромагнитной индукции сам же М. Фарадей (вот поистине образец научной честности!) обнаружил такие случаи индукции, которые не укладываются в рамки закона и им не описываются. Речь идёт, прежде всего, о явлении униполярной индукции (рис. 4.1) и об индукции в прямолинейном отрезке провода. Первое явление заключается в том, что между осью и краем проводящего цилиндрического магнита, вращающегося вокруг своей оси, возникает постоянная ЭДС, пропорциональная намагниченности магнита B , радиусу R и скорости вращения оно $\vec{\nu}$. Поток не меняется во времени. Магнит постоянен, намагничен вдоль оси симметрии, вращение происходит вокруг этой же оси. Никаких изменений потока магнитной индукции нет, а ЭДС – есть. Устройство обратимо – при пропускании тока между осью и краями магнита последний приходит во вращательное движение. Но как раз это-то явление легко объясняется действием сил Лоренца на движущиеся в магните электроны. Их сносит по кругу, и они, цепляясь за атомы решётки, двигают весь магнит. Здравомыслящий человек попытается предположить, что и в случае униполярной индукции работают всё те же силы Лоренца. Тогда ему придётся заявить, что магнитное поле постоянного магнита вращается вместе с магнитом. А что, это кого-то удивляет?! Ведь никто, ни одна душа живая, не сомневается, что когда мы *переносим* магнит из комнаты в комнату, то с ним вместе *перемещается* и его магнитное поле. Так какого чёрта при вращении должно быть не так?! И как вообще поле будет различать одни виды механических движений от других, чтобы решить каким ему следует подчиниться, а каким нет?! Тогда всё встаёт на свои места: крутится и сам магнит и его магнитное поле, в наружных проводниках (не в самом магните) создаются силы Лоренца. Полная сумма сил по контуру, включая участок с самим магнитом, была бы равна нулю, если бы электроны в магните *стояли* бы в лабораторной системе. Но они движутся вместе с магнитом и его полем, следовательно, не движутся *относительно* поля, и никакой ЭДС *внутри* магнита нет, и, следовательно, полная сумма сил по контуру *не равна нулю!* (рис. 4.1).

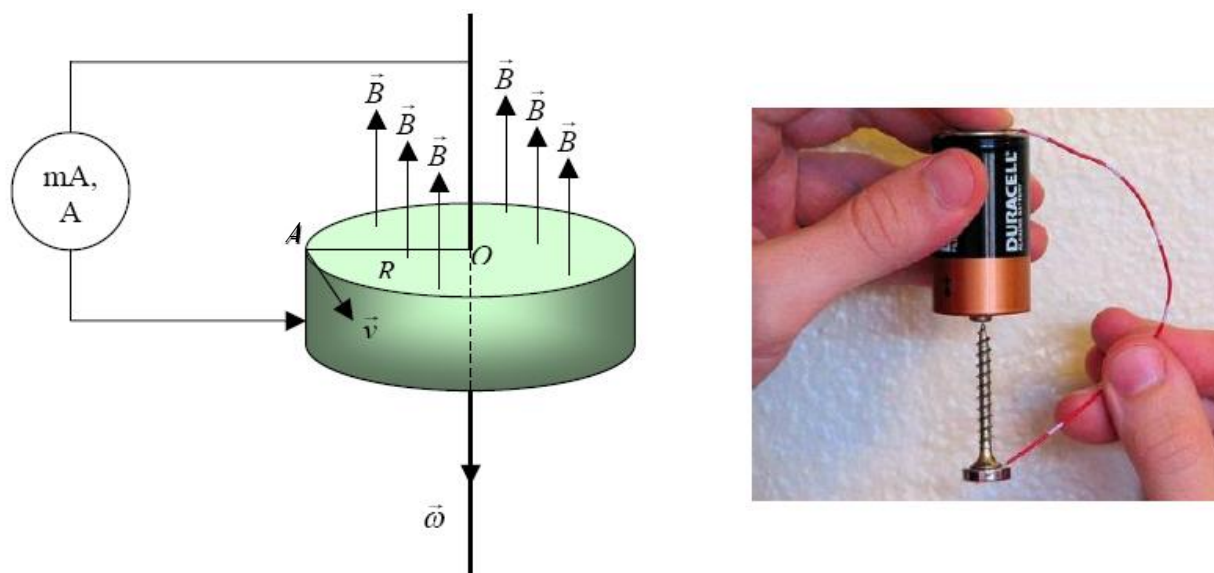


Рис. 4.1 Униполярная индукция и униполярный мотор

Всё *выглядит* так, как если бы ЭДС униполярной индукции наводилась бы именно в этом отрезке (OA) проводящего магнита (рис. 4.1). Длина этого промежутка равна радиусу R и выражение для ЭДС униполярной индукции U_u можно записать как:

$$(4.3) U_u = ER = -vBR = -2\pi RB\omega.$$

Нам доводилось встречать в современной физической литературе объяснения униполярной индукции, основанные на *теории относительности* [4]! Будто бы невозможно иным путём объяснить данное явление. Что же это получается? Одни явления индукции объясняются при помощи сил Лоренца. Другие требуют закона Фарадея. Третьи – требуют уравнений Максвелла, а четвёртые не объясняются никак иначе, кроме как с помощью теории относительности. А не слишком ли много бардака, уважаемые?!

Нетрудно увидеть, что случай электромагнитной индукции на прямолинейный отрезок провода также не может быть описан в рамках закона электромагнитной индукции Фарадея: нет того самого замкнутого контура, по которому можно было бы вычислить ЭДС. Нет площадки, через которую идёт поток вектора магнитной индукции. Не написать соответствующих интегралов в уравнении (4.2). Вернее, можно *напридумывать* различных контуров и площадок, как иногда и пытаются поступать, особенно непрофессионалы. Но разница между реальной цепью (прямой кусок проволоки) и придуманной (замкнутый, сколь угодно вычурный контур) очевидна и неустранима. Этот особый случай индукции вместе с различными его объяснениями и трактовками только усиливает тот индукционный бардак, который мы отметили абзацем выше.

С сожалением вынуждены констатировать, что закон электромагнитной индукции Фарадея, безусловно, полезный на своём историческом этапе, тем не менее является феноменологическим по форме, ограниченным по сфере применения и совершенно мистическим по сути. Сегодняшнюю науку он никак не может удовлетворить, как, впрочем, и уравнения Максвелла по вышеупомянутым причинам. Следует попытаться *все* явления индукции свести к *единому механизму* и научиться количественно описывать все случаи электромагнитной индукции единым образом, и только тогда вопрос из состояния *преднаучного* перейдёт в категорию научных.

§ 4.2. Индуктивность и самоиндукция

Представим себе замкнутый контур, по которому течёт ток I . Он создаёт, согласно закону Био-Савара-Лапласа, магнитное поле, прямо пропорциональное силе тока. Сцепленный (ограниченный им) магнитный поток, следовательно, пропорционален силе тока I :

$$(4.4) \Phi = LI,$$

где коэффициент пропорциональности L носит название **индуктивность контура** и измеряется в Генри [Гн].

Если теперь мы начнём менять ток в контуре, то будет изменяться и магнитный поток, сцепленный с контуром, и, следовательно, по (4.1) возникнет ЭДС, препятствующая изменению тока. Такое явление (сопротивление изменению тока) называют **самоиндукцией контура**. Применяя к явлению самоиндукции закон Фарадея, получим:

$$(4.5) U_i = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt}(LI) = -(L\frac{dI}{dt} + I\frac{dL}{dt}).$$

Если контур не деформируется и магнитные свойства среды не меняются (это не всегда так!), то $\frac{dL}{dt} \equiv 0$ и:

$$(4.6) U_i = -L\frac{dI}{dt}.$$

Таким образом, интенсивность явления самоиндукции описывается **индуктивностью** контура. Чем больше индуктивность, тем труднее изменить ток. Отметим, что и здесь видна полная аналогия с механической инерцией: чем больше масса движущегося тела, тем труднее изменить его движение.

Если в непосредственной близости друг от друга расположить *два* контура, то магнитный поток, создаваемый первым контуром, будет частично пронизывать второй контур и наоборот. Повторив все те же рассуждения, что и для самоиндукции, мы получим, что должно иметь место явление **взаимной индукции**, при котором изменение тока в первом контуре вызовет электродвижущую силу во втором и наоборот:

$$(4.7) U_{12} = -L_{21}\frac{d\Phi_{21}}{dt},$$

$$(4.8) U_{21} = -L_{12}\frac{d\Phi_{12}}{dt}.$$

Опыт показывает, что коэффициенты взаимной индукции L_{12} первого контура на второй и L_{21} второго контура на первый равны между собой. Эта величина называется **взаимной индуктивностью** контуров, обозначается M и показывает, насколько сильно индуктивно связаны контуры. Явление взаимной индукции используется везде, где используются трансформаторы – от силовой энергетики целых континентов до сверхчувствительных приёмников в радиоастрономии. И, тем не менее, полной ясности в описании работы трансформаторов доселе нет, чтобы в этом убедиться достаточно почитать [9] и [10]. Между тем в предлагаемом нами подходе всё достаточно прозрачно: изменяющийся ток в первом контуре приводит к движению магнитного поля этого контура во все стороны от

каждого элемента с током. В своём движении элементы магнитного поля («силовые линии», как сказали бы раньше) пересекают электроны второго проводника и воздействуют на них, создавая силы Лоренца F_{Li} . Силы Лоренца от различных элементов с током складываются, образуя результирующую силу F_L . Эта сила и порождает движение электронов второго контура, как если бы их привела в движение некая сторонняя сила.

Не всегда предлагаемые нами механизмы физических явлений и их теории приводят к каким-то *иным* результатам, нежели традиционные. А если и приводят, то не всегда допускают простую экспериментальную проверку. Но в данном случае мы чуть позже укажем такие результаты.

§ 4.3. Явления индукции и самоиндукции прямолинейного отрезка провода

Из полученных в главе 1 п.3 результатов истекает весьма важное следствие: они точно описывают явление индукции переменного магнитного поля бесконечного провода с током I на *ограниченный* прямолинейный отрезок проводника длины l . В самом деле, если вместо точечного пробного заряда рассмотреть отрезок, заполненный плотно такими же зарядами, то увидим, что выражение (1.19) определяет ЭДС, которую можно обнаружить на концах этого проводника в случае переменного магнитного поля. Очевидно, что напряжение связано с длиной и напряжённостью электрического поля:

$$(4.9) \quad U = E_B \cdot l = -l \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{dI}{dt} \quad [\text{Гн} \cdot \text{А/с}],$$

и далее, пользуясь законом индукции Фарадея в форме (4.6), запишем:

$$(4.10) \quad U = -L \cdot \frac{dI}{dt} = -l \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{dI}{dt} \quad [\text{Гн} \cdot \text{А/с}],$$

где:

$$(4.11) \quad L = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot l \quad [\text{Гн}].$$

И называется **индуктивностью отрезка** проводника.

Мы получили выражение для **индуктивности уединенного отрезка провода**. По аналогии с ёмкостью эту величину можно было бы назвать уединённой индуктивностью. До сих пор законы индукции были применимы лишь к *замкнутым* контурам, и возникает закономерный вопрос – в каком физически реализуемом случае могла бы быть полезна такая величина, как «**уединенная индуктивность**»? Ответ достаточно прост – в том случае, когда мы имеем дело с *незамкнутыми* отрезками токов. Например – с движениями протяжённых заряженных тел, т.е. с *конвекционными* токами. Напомним, что именно такими токами являются микроскопические движения элементарных заряженных частиц. Таким образом, мы выяснили характеристику электрона, которая ранее не использовалась: **собственную индуктивность электрона**. Действительно, коль скоро поступательное движение заряженной частицы есть *ток*, а сама она при движении эквивалентна *элементу с током*, то индуктивность элемента с током (4.11) и есть **собственная индуктивность** электрона, если вместо l подставить *размер* электрона. В дальнейшем мы покажем, как

понятие «уединенной индуктивности» способно привести нас к пониманию *электромагнитной природы массы*. Пока же только отметим, что, согласно полученным выше закономерностям, всякое движение протяженного заряженного тела с неизбежностью должно приводить к индуктивным явлениям, родственным явлению самоиндукции проводников. Действительно, предположим, что мы двинули линейный заряженный зарядом Q проводник длины l вдоль себя самого. Это, с одной стороны, эквивалентно протеканию линейного тока *в месте нахождения проводника*, а с другой – должно вызывать индукцию магнитного поля этого тока на сам же проводник. Так как нами установлено, что индукция никоим образом не зависит от расстояния между изучаемым проводником и бесконечным линейным током, то оно имеет право быть, в том числе, и нулевым. Если же рассуждать менее формально, то при нулевом расстоянии интегрирование по углам α даст точно такой же результат, как (1.21), даже в случае тока I конечной длины. При этом на заряженный проводник будет действовать сила, пропорциональная *скорости изменения тока*. А скорость изменения конвекционного тока, разумеется, пропорциональна *ускорению* материального тела, носителя этого тока. Следовательно, *всякое ускоренное движение протяженного заряженного тела с неизбежностью вызывает появление сил самоиндукции, препятствующих ускорению*.

§ 4.4. Демистификация закона индукции Фарадея

Интересно было бы рассмотреть какой-либо простой случай *замкнутого* проводника в переменном (а следовательно, *движущемся*) магнитном поле и сравнить результат, полученный исходя из введенных нами представлений и выведенных выражений, с результатом, диктуемым классическим законом индукции Фарадея (4.1). В качестве самого простого примера возьмём круговой виток с током радиуса R (рис. 4.2.), пронизываемый линиями магнитной индукции \vec{B} перпендикулярно собственной плоскости. Пусть индукция поля B изменяется во времени со скоростью $\dot{B} = \frac{dB}{dt}$.

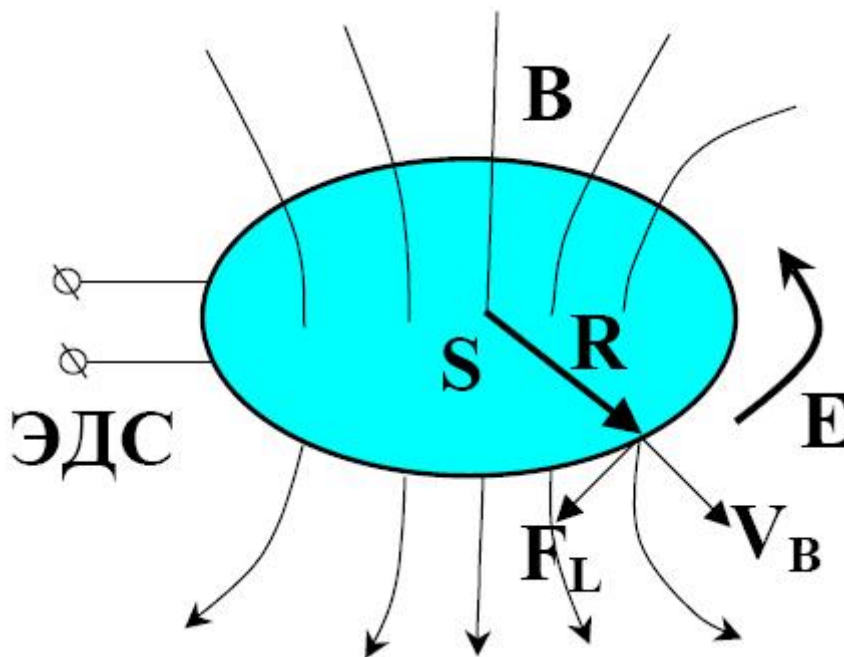


Рис. 4.2 К анализу ЭДС индукции в замкнутых контурах

В этом простом случае закон индукции Фарадея (4.1) даёт результат непосредственно в виде:

$$(4.12) U = -\frac{d\Phi}{dt} = -S \frac{dB}{dt} = -\pi \cdot R^2 \frac{dB}{dt} = -\pi \cdot R^2 \dot{B} \quad [\text{Тл} \cdot \text{м}^2/\text{с}] = [\mathbf{B}],$$

где S – площадь, охватываемая контуром. И этот результат подтверждается экспериментально. Остаётся, правда, непонятным, какое отношение *площадь*, охватываемая контуром, имеет к явлениям, происходящим в *линии* – самом контуре. Т.е. закон Фарадея, численно верный, по сути, является метафизическим, так как предполагает, что явления в одной точке (скажем, в середине контура) могут немедленно и безо всякого посредника произвести явления в другой точке (принадлежащей самому контуру).

Попытаемся теперь применить выведенное нами выражение (1.21) $\vec{E}_B = [\vec{v}_B \otimes \vec{B}] = \frac{1}{2} [\vec{r} \otimes \dot{\vec{B}}]$ для напряжённости поля в *каждой точке витка*. Расстояние у нас здесь только одно – R . Тогда из (1.21) непосредственно следует:

$$(4.13) E = \frac{1}{2} R \dot{B} \quad [\text{Тл} \cdot \text{м}/\text{с}] = [\mathbf{B}/\text{м}]$$

и очевидно, что, обходя контур по периметру и складывая элементарные ЭДС, мы получим:

$$(4.14) U = E \cdot l = E \cdot 2\pi \cdot R = -\frac{1}{2} R \dot{B} 2\pi \cdot R = -\pi \cdot R^2 \dot{B} \quad [\text{Тл} \cdot \text{м}^2/\text{с}] = [\mathbf{B}]$$

что в точности совпадает с решением (4.12), полученным из закона индукции Фарадея. С той разницей, что мы последовательно объяснили явления в каждой точке контура взаимодействием носителей заряда именно этой точки со всеми разнообразно движущимися сквозь именно эту точку микроскопическими элементами поля. Проинтегрировав явления в каждой точке, мы получили суммарное явление в контуре – возникновение ЭДС.

Читатель может рассмотреть самостоятельно случай, скажем, квадратного контура и убедиться, что и в этом случае результаты, полученные с помощью выражения (1.21), полностью совпадут с результатом, полученным из закона Фарадея.

Таким образом, мы вывели закон электромагнитной индукции **более общий и менее метафизический**, чем классический закон индукции Фарадея. Этот закон может быть сформулирован в следующей форме: *электродвижущая сила электромагнитной индукции в любом участке любого проводника складывается из всех элементарных сил Лоренца, возникающих при взаимном движении свободных зарядов проводника и всех фрагментов магнитного поля \vec{B} со скоростью \vec{v}_B* . Численно он может быть выражен как:

$$(4.15) U = \oint_L \vec{E} dl = \oint_L [\vec{v}_B \otimes \vec{B}] dl = \oint_L \frac{1}{2} [\vec{r} \otimes \dot{\vec{B}}] dl.$$

Мы научились применять этот закон для расчета индуктивностей не только замкнутых контуров, но и **уединенных отрезков** проводника. Кроме того, мы научились применять его и для расчета ЭДС индукции. Применяя (4.15), следует вначале проанализировать задачу и определить, движется ли поле \vec{B} стационарно, относительно проводника, или же нет. Для стационарного движения (поле движется как целое)

целесообразно применять определение ЭДС индукции через скорость и индукцию поля. В случае нестационарного движения следует определить, с какой именно скоростью, через какой элемент проводника движутся какие именно фрагменты поля, исчислить соответствующие им силы Лоренца, действующие на свободные заряды в элементе проводника, и проинтегрировать их. Если известно, что источником поля является провод с током, то целесообразно использовать выражение через расстояние и производную индукции поля, поскольку для элементов с током эта работа уже проделана, а механизм интегрирования дан Био, Саваром и Лапласом.

§ 4.5. Частный случай взаимоиндукции бесконечного прямого провода и рамки

Мы выше обещали дать пример, в котором ясно видно было бы, что закон электромагнитной индукции Фарадея (4.1) и предложенный нами закон электромагнитной индукции (4.15) приводят не только к одинаковым результатам, но и дают различные решения, хотя бы в некоторых случаях. Иначе можно было бы подозревать, что единственное наше достижение - это переформулировка другими словами закона Фарадея. На наш взгляд, показательным примером может являться случай взаимной индукции бесконечного прямого провода с током и рамки, расположенной в одной плоскости с этим током. Дело в том, что классический подход Фарадея даёт безграничное увеличение ЭДС индукции в рамке по мере приближения её к проводу, что, во-первых, подозрительно из общих соображений, а во-вторых – просто не соответствует опыту. Но даже не это является наиболее интересным. Главным расхождением явились не числа, а сам механизм явления. Оказалось, что, последовательно применяя наши представления об индукции, мы с неизбежностью получаем, что возникновение ЭДС в рамке является не *амплитудным*, как до сих пор думали физики, а *фазоразностным* явлением. То есть ЭДС, наводимая в сторонах рамки, параллельных бесконечному проводу с током *одинакова*. Об этом можно было бы догадаться уже в п.3 главы 1, поскольку там показано, что суммарная сила Лоренца, действующая на электрон со стороны изменяющегося поля бесконечного провода с током, *не зависит от расстояния* до этого провода. ЭДС же, наводимая в перпендикулярных к бесконечному току сторонах рамки, равна нулю (см. рис. 4.2). Так как же тогда возникает ненулевая суммарная ЭДС в контуре? Ведь сумма ЭДС сторон по контуру равна нулю! Оказывается, поля *вблизи* провода (близость определяется по отношению к длине волны с наивысшей частотой в спектре тока) движутся сравнительно *медленно*. Далеко не со скоростью света. И время пробега поля между одной стороной рамки и противоположной оказывается вполне ощутимым. То есть *средняя-то* ЭДС в этих сторонах рамки действительно одинакова, как и показывает теория, но *мгновенные* значения ЭДС не равны, ибо существует фазовый сдвиг между ними. До сих пор о возможности такого механизма образования ЭДС, похоже, никто даже не задумывался по той простой причине, что всегда измерялась (и вычислялась!) только суммарная ЭДС по контуру рамки. Итак, рассмотрим (рис. 4.3).

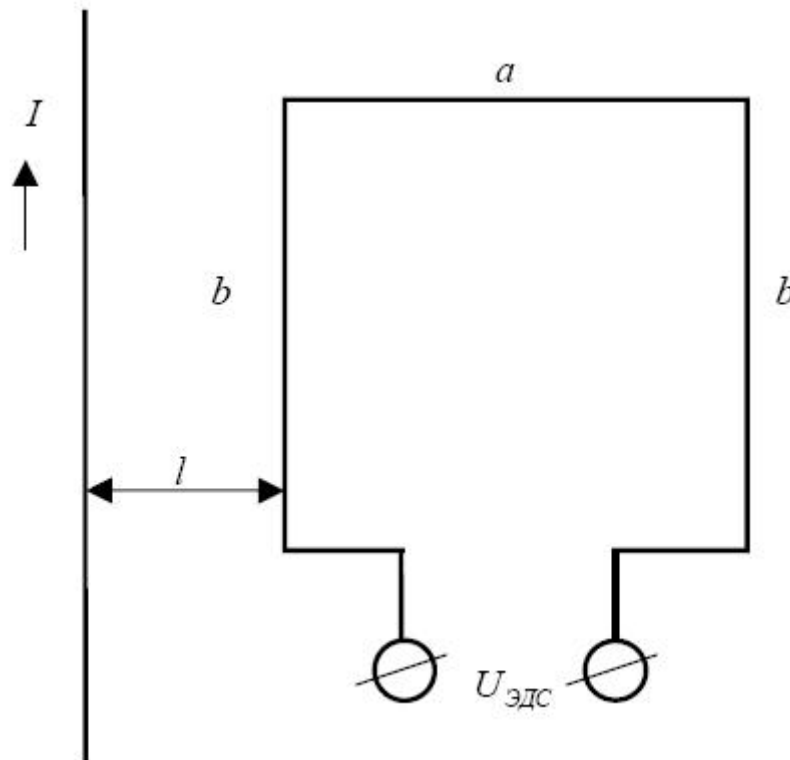


Рис. 4.3. Взаимоиндукция бесконечного провода с током и квадратной рамки

По бесконечно длинному проводу в левой части рисунка протекает ток I . В правой части расположена рамка со сторонами a и b . Сторона b ближайшая к проводу расположена от него на расстоянии l . Если ток в проводе меняется со скоростью $\frac{dI}{dt}$, какая ЭДС U будет наведена в рамке?

Классическое решение. В духе закона Фарадея задача решается так [3]: в соответствии с (4.6) ЭДС равна произведению взаимной индуктивности провода и рамки L умноженной на скорость изменения тока в проводе $\frac{dI}{dt}$ взятая с обратным знаком. Таким образом, задача сводится к нахождению взаимной индукции L . Взаимная индуктивность может быть найдена а) как отношение магнитного потока через рамку Φ_{loop} , создаваемого прямым током I_{wire} , к этому току $\frac{\Phi_{loop}}{I_{wire}}$ или б) как отношение магнитного потока через контур-провод Φ_{wire} , создаваемого током рамки I_{loop} , к этому току $\frac{\Phi_{wire}}{I_{loop}}$. Для последнего варианта необходимо мысленно замкнуть провод на себя через бесконечность, поэтому и введен термин «контур-провод». Ясно, что способ а) явно проще, так как поле провода находится более просто, чем поле рамки. Оно равно:

$$(4.16) \quad B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi r},$$

где r обозначает некоторое произвольное расстояние от оси провода. Поток, пронизывающий рамку и созданный только этим полем провода B , легко находится как

$$(4.17) \left| \Phi_{loop} = b \cdot \int_l^{l+a} \frac{\mu\mu_0 I_{wire}}{2\pi r} dr = b \frac{\mu\mu_0 I_{wire}}{2\pi} \ln\left(1 + \frac{a}{l}\right). \right.$$

Взаимная индуктивность, следовательно, составляет:

$$(4.18) \left| L = \frac{\Phi_{loop}}{I_{wire}} = \frac{\mu\mu_0 b}{2\pi} \ln\left(1 + \frac{a}{l}\right). \right.$$

Соответственно, ЭДС наводимая в рамке:

$$(4.19) U = -L \frac{dI_{wire}}{dt} = -\frac{\mu\mu_0 b}{2\pi} \ln\left(1 + \frac{a}{l}\right) \cdot \frac{dI_{wire}}{dt}.$$

Анализируя полученное решение, видим, что при неограниченном приближении рамки к проводу с током ЭДС в рамке будет неограниченно (хотя и логарифмически) расти. Этот результат, хотя и противоречит и здравому смыслу и инженерной интуиции, согласуется с представлениями современной физики о том, что при «утонышении» тока магнитное поле вблизи такого тока неограниченно растёт. Но результат решительно расходится с представлениями только что изложенной нами *теории движения полей*, согласно которой ЭДС в сторонах рамки, параллельных проводу одинаковы по амплитуде и отличаются лишь по фазе, а в сторонах перпендикулярных проводу равны нулю. Следовательно, даже если фазы ЭДС противоположны, то суммарная ЭДС будет равна всего лишь удвоенной ЭДС в одной боковой стороне. Как бы мы ни приближали рамку к проводу. А вот это уже такая разница, которая может быть проверена экспериментально!

Решение с применением теории движения полей. Вначале давайте определим максимальную величину ЭДС. Поскольку для каждой стороны с ненулевой ЭДС её величина, согласно (4.9):

$$(4.20) U = -b \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{dI_{wire}}{dt},$$

то максимальная возможная сумма ЭДС в двух сторонах будет равна:

$$(4.21) U_{max} = -2b \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{dI_{wire}}{dt} = -\frac{\mu_0 \mu b}{2\pi} \cdot \frac{dI_{wire}}{dt}.$$

Отличается от (4.19) только логарифмическим множителем. Когда же реализуется (4.21)? По-видимому, тогда, когда ближняя сторона рамки совпадает (или почти совпадает) с проводом, а вторая сторона достаточно удалена. Поскольку поле по мере удаления от провода с током движется всё быстрее и быстрее, то разность фаз между сторонами рамки всё меньше и меньше. Значит, полное решение должно убывать с расстоянием. Чтобы получить полное решение, нам придётся сделать один решительный шаг: признать, что информация об изменении поля распространяется именно со скоростью движения поля, а не с какой-либо другой. То есть временной сдвиг между ЭДС в одной стороне рамки по отношению к другой это именно то время, которое потребуется полю, чтобы преодолеть в своём движении расстояние между двумя сторонами рамки. Мы уже выводили среднюю скорость движения поля возле бесконечного провода с током на расстоянии r от провода:

$$(4.22) v_B = \frac{1}{2} r \frac{\dot{B}}{B},$$

где B и \dot{B} напряжённость магнитного поля провода с током и её производная соответственно. Зададимся, для простоты вычислений, конкретным видом закона изменения тока во времени. Пусть ток (а значит и напряжённость магнитного поля) меняется по экспоненциальному закону $I = I_0 \cdot e^{\alpha t}$. Тогда отношение производной напряжённости к величине напряжённости будет просто $\frac{\dot{B}}{B} = \frac{\alpha B_0 e^{\alpha t}}{B_0 e^{\alpha t}} = \alpha$. Тогда скорость движения поля будет:

$$(4.23) \quad v_B = \frac{1}{2} r \frac{\dot{B}}{B} = \frac{1}{2} r \alpha.$$

Отметим, что использование «средней скорости» в данном случае это тоже некоторое упрощение и приближение. Для более точного решения пришлось бы снова складывать поля всех элементов провода с током, что привело бы к громоздким вычислениям. Поскольку движение поля ускоренное (скорость растёт с ростом расстояния до провода), то время, за которое поле пройдёт расстояние от l до $l + a$, следует исчислять, разбив этот интервал на множество мелких интервалов dr . Затем, полагая движение на малом интервале равномерным и просуммировав все малые времена (приблизённо равные $dt = \frac{dr}{v_B(r)}$), получим:

$$(4.24) \quad \Delta t = \int_l^{l+a} dt = \int_l^{l+a} \frac{2}{r\alpha} dr = \frac{2}{\alpha} \int_l^{l+a} \frac{dr}{r} = \frac{2}{\alpha} \ln\left(1 + \frac{a}{l}\right).$$

Теперь попытаемся выяснить, какому набегу фазы φ соответствует найденный нами интервал времени Δt . Понятно, что чем выше «частота» α изменения тока и поля (а это и в самом деле частота, если выбранная нами экспонента изменения тока не простая, а комплексная), тем больше набег фазы. Чем больше время, тем больше набег фазы. То есть:

$$(4.25) \quad \varphi = \Delta t \cdot \alpha = \alpha \cdot \frac{2}{\alpha} \cdot \ln\left(1 + \frac{a}{l}\right) = 2 \ln\left(1 + \frac{a}{l}\right).$$

Как видим, «частота» α благополучно сократилась, следовательно, уже и не важно, какова она была. Пусть она была комплексным числом, тогда мы имеем дело с гармонически изменяющимся током и гармонически изменяющимся магнитным полем соответственно. Тогда ЭДС наводимая в каждой параллельной проводу стороне рамки, будет меняться от времени по одинаковому гармоническому закону, но с взаимным сдвигом фаз на φ . Амплитуда полной ЭДС в рамке при *малых* значениях φ будет пропорциональна φ и равна с учётом (4.25):

$$(4.26) \quad U_{\text{эдс}} = \varphi \cdot \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{dI_{\text{wire}}}{dt} = -\frac{\mu_0 \mu b}{4\pi} \cdot 2 \ln\left(1 + \frac{a}{l}\right) \cdot \frac{dI_{\text{wire}}}{dt} = -\frac{\mu_0 \mu b}{2\pi} \cdot \ln\left(1 + \frac{a}{l}\right) \cdot \frac{dI_{\text{wire}}}{dt},$$

что полностью совпадает с выражением (4.19), полученным из классического закона Фарадея. Если же набег фазы не мал, то придётся воспользоваться известной

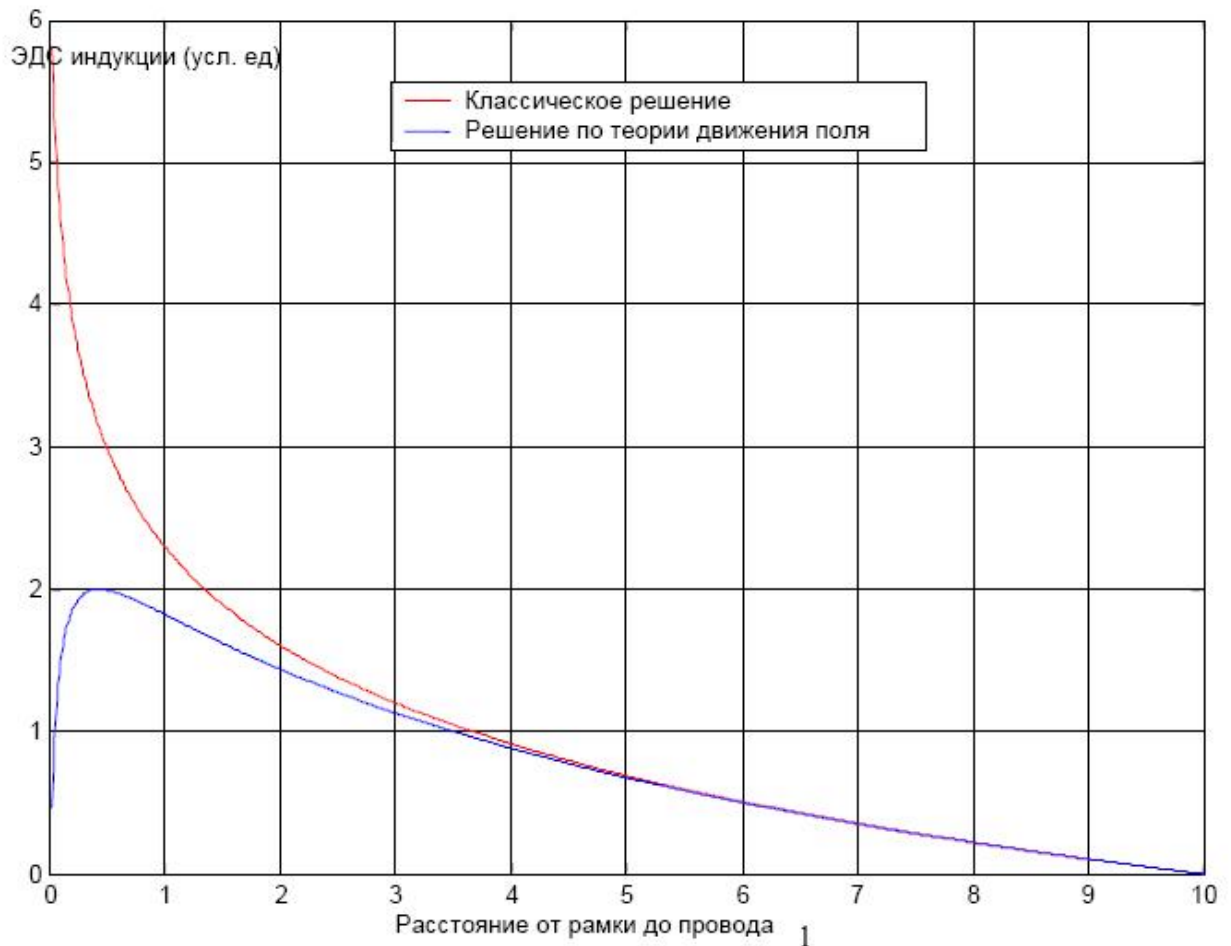


Рис. 4.4. Сравнение классического решения по Фарадею с решением по теории движения поля

тригонометрической формулой $2 \sin A \cos B = \sin(A + B) + \sin(A - B)$ [8]. В данном случае за B мы примем полунабег фазы $\varphi/2$. Переменная A у нас здесь это ωt . Поскольку мы интересуемся только *амплитудой*, то полное выражение для ЭДС в рамке примет вид:

$$(4.27) U_{\text{ЭДС}} = -\frac{\mu_0 \mu b}{4\pi} \cdot 2 \sin(2 \ln(1 + \frac{a}{l})/2) \cdot \frac{dI_{\text{wire}}}{dt} = -\frac{\mu_0 \mu b}{2\pi} \cdot \sin(\ln(1 + \frac{a}{l})) \cdot \frac{dI_{\text{wire}}}{dt}.$$

Это решение, хотя и имеющее структуру, очень похожую на классическую, тем не менее, отличается содержательно: оно ограничено при сколь угодно близком расположении провода и рамки. Разница между классическим решением (4.19) и нашим полным решением (4.27) проявляется только при расстояниях l логарифмически малых, по сравнению с a . При этом l оказывается соизмеримой с толщиной провода, если специально не избегать этого при планировании эксперимента. Вот почему до сих пор всех устраивало решение (4.19). Отклонения результатов от формулы приписывались влиянию конечной толщины провода, а сам подход не подвергался сомнению. Теперь, зная механизм возникновения ЭДС в рамке, можно попытаться спланировать и осуществить эксперимент, в котором влияние конечной толщины провода было бы небольшим и при этом можно было бы сравнить экспериментальные результаты с (4.19) и (4.27). На рис. 4.4 приведены результаты расчёта для (4.19) и (4.27) в зависимости от l при $a = 10$ (величина a зафиксирована). Когда l становится много больше a (правый нижний угол графика), ЭДС в рамке, разумеется, исчезает (по классической теории площадь рамки, а значит и поток вектора магнитной индукции стремятся к нулю, а по теории

движения поля фазовый сдвиг между ЭДС в противоположных сторонах рамки близок к нулю и суммарная мгновенная ЭДС не возникает). Различие в результатах становится заметным, когда расстояние l от провода до рамки в 10-20 раз меньше, чем длина стороны a рамки.

§ 4.6. Простые и удивительные опыты с индукцией

Мы предлагаем вам проделать самостоятельно несложный опыт с электромагнитной индукцией, с тем чтобы вы убедились, что само по себе равенство нулю магнитного поля в какой-либо области пространства никак не влияет на явления индукции. С точки зрения традиционных физических воззрений это представляется, по меньшей мере, странным, поскольку отсутствие магнитного поля означает отсутствие потока. А отсутствие потока означает отсутствие явлений электромагнитной индукции согласно (4.1). Рассмотрим рис. 4.5, на котором вместо одной рамки используются две идентичные и последовательно включённые в источник переменного напряжения, а вместо бесконечного проводника с током – рамка конечных размеров, расположенная в плоскости, *перпендикулярной* плоскости первых двух (индуцирующих) рамок и проходящая ровно посередине между ними. Эта плоскость именуется *плоскостью Кулона*. В ней поле индуцирующих рамок всегда тождественно равно нулю просто из геометрии задачи. Таким образом, наша третья рамка расположена так, что каждый участок её провода находится в месте, где магнитного поля первых двух рамок нет. Скажите до начала опыта, будет ли в третьей (приёмной) рамке наводиться какая-либо ЭДС, если мы подключим первые две рамки к источнику переменного напряжения (или тока)?

Оказывается, будет. Более того, в ней будет наведена ЭДС удвоенная, по сравнению с ЭДС от одной рамки, при условии, что величина тока будет одинаковой в обоих случаях. Как же так, ведь приёмная рамка располагалась в плоскости Кулона, где нет магнитного поля индуцирующих рамок!?

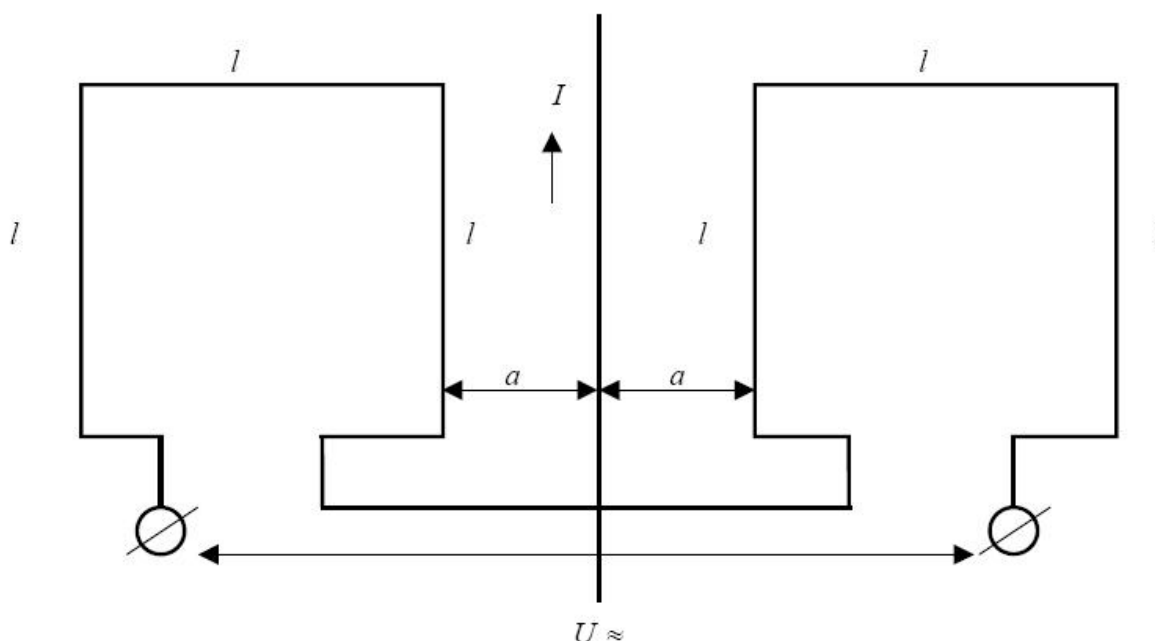


Рис. 4.5. Опыт с индукцией в плоскости Кулона.

С точки зрения сторонников классического закона индукции Фарадея придётся признать, что индукция создана не локальным полем, в котором расположены проводники приёмной рамки (оно нулевое!), а всем полем, в том числе и *вне* плоскости Кулона. Здравый ответ, вот только не может закон Фарадея объяснить, *каким же именно образом*

поле *там* повлияло на ток *здесь*, причём через *ничто*, через область отсутствия всякого поля. Остаётся развести руками и сослаться на волю Божию. По нашим же представлениям, равенство нулю вектора индукции магнитного поля вовсе *ничего не означает*, поскольку и самого магнитного поля, вообще говоря, нет. Реально существуют лишь движущиеся заряды, т.е. токи в индуцирующих рамках. А они-то как раз никуда и не девались в данной задаче. Если мы рассмотрим взаимоиндукцию между приёмной рамкой и *каждым* из проводов индуцирующих рамок, то мы увидим, что хотя «магнитное поле» двух этих рамок и «исчезает» в плоскости Кулона, но силовое действие движущихся электрических полей элементарных зарядов, составляющих ток, *складывается*. Это происходит потому, что хотя токи в ближних сторонах рамки (вносящих главный вклад в индукцию) *противонаправлены*, но и расположены они *по разные стороны* от приёмной рамки. Движущееся «магнитное поле» от каждой ближней стороны индуцирующих рамок пересекает проводник приёмной рамки и создаёт силу Лоренца, действующую на электроны. Если внимательно посмотреть на направление магнитных полей и на векторы скоростей, то увидим, что силы Лоренца, создаваемые каждой из индуцирующих рамок, одинаковы по величине и *направлению*. Они складываются, и суммарная «кажущаяся ЭДС» оказывается удвоенной, по сравнению со случаем одной индуцирующей рамки. Значит, в реальности никто никуда не исчезал, в полном соответствии с принципом неуничтожимости материи.

Второй опыт также весьма прост: возьмите примерно 10-20 метров сдвоенного коаксиального провода (кабеля). Такой кабель часто используется в электроакустическом оборудовании. Зачистите концы кабеля так, чтобы освободить от изоляции как центральные жилы, так и оплётки. Затем соедините на одном конце кабеля центральные жилы, а на другом обе оплётки. Подсоедините к неспаянным оплёткам электронный трансформатор для галогенных ламп (продаётся в любом магазине электротоваров). На противоположном конце кабеля (где спаяны оплётки каждого из двух коаксиальных проводов) к двум несоединённым между собой центральным жилам подключите нагрузку (например, лампочку на 1, 1.5 или 2 вольта). Затем включите электронный трансформатор в осветительную сеть. Низковольтная лампочка на другом конце сдвоенного кабеля загорится со средней яркостью. Теперь можете поэкспериментировать: намотать кабель в виде катушки. Свечение лампы не изменится. Намотайте кабель на стальной, пермалоевый или ферритовый сердечник. Ничего не изменится. Растяните кабель на всю длину. Ничего не изменится. Убедитесь теоретически или измерьте практически (если есть возможность), что на оси трубчатого проводника с равномерно протекающим по нему током создаваемое этим током магнитное поле всегда равно нулю. В вышеописанном «*безындуктивном трансформаторе*» первичной обмоткой служит оплётка кабеля, а вторичной – вложенная в оплётку центральная жила. Магнитное поле оплётки в месте прохождения центральной жилы равно нулю. И, тем не менее, вы воочию видите, что это никоим образом не мешает индукции работать, создавая ЭДС и ток во вторичной оплётке и зажигая лампочку, Вы можете даже сделать следующее: сложите кабель пополам посередине. Зажав пальцами место сгиба, намотайте таким «счетверённым кабелем» катушку. Намотать можно на деревянный, пластмассовый, металлический сердечник. На что угодно. Такой способ намотки называется «*бифилярным*». При таком способе индуктивность обмотки практически отсутствует. И всё равно, как заговорённая, лампочка будет продолжать светиться с той же силой, что и раньше.

Литература

1. Т.И.Трофимова. Курс физики. 9-е издание. М.: Издательский центр «Академия», 2004 г.
2. Б. М. Яворский, Ю. А. Селезнев. Справочное руководство по физике. Для поступающих в вузы и для самообразования. М.: «Наука», 1989 г.

3. Научно-образовательный Центр ФТИ им.А.Ф.Иоффе
<http://link.edu.ioffe.ru/physica5/14>
4. Униполярная индукция. Википедия.
http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%BD%D0%B8%D0%BF%D0%BE%D0%B%D1%8F%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B8%D0%BD%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F
5. Розенбергер Ф. История физики. - М.; Л.: ОНТИ, 1937.
6. Гальвани А., Вольта А. Избранные работы о животном электричестве. - М.; Л.: ОГИЗ, 1937.
7. Белькинд Л. Д. Андре-Мари Ампер. М.: Наука, 1968.
8. Двайт Г.Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы. М.: Наука, 1978.
9. Золотухин В.А. О природе электромагнетизма.
<http://www.ntpo.com/physics/opening/25.shtml>
10. Николаев Г.В. Современная электродинамика и причины ее парадоксальности. Экспериментальные парадоксы электродинамики.
<http://bourabai.narod.ru/nikolaev/electro05.htm>

Глава 5. Инерция как проявление электромагнитной индукции. Масса тел

Нужно признать, что, несмотря на совместные усилия физиков и философов, математиков и логиков не достигнуто никакого окончательного прояснения понятия массы.

Макс Джемер. Понятие массы в классической и современной физике. М.: Прогресс. 1967 г.

...Самоиндукция влияет на ток в катушке аналогично тому, как влияет инерция на движение тел в механике: она замедляет установление постоянного тока в цепи при его включении и препятствует его мгновенному прекращению при выключении.

Энциклопедия «Кругосвет»

<http://www.krugosvet.ru/articles/22/1002289/1002289a6.htm>

§ 5.1. Основные понятия и категории

Затрагивая столь принципиальный, можно сказать, почти мировоззренческий вопрос, как сущность массы, следует вначале договориться о значении терминов, во избежание недопонимания. «Масса тела - физическая величина, являющаяся одной из основных характеристик материи, определяющая её **инерционные** (инертная масса) и **гравитационные** (гравитационная масса) свойства». [1, с.15]. Впервые идея массы как научной категории изложена, по-видимому, сэром И. Ньютоном в «Математических началах натурфилософии» (1687). В этой работе Ньютон вводит три своих знаменитых закона, давших начало всей механике. Это грандиозный шаг вперёд, однако, все три закона Ньютона являются, по сути, лишь декларациями. Напомним, что первый закон Ньютона гласит: *всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока воздействие со стороны других тел не заставит его изменить это состояние*. Как принято теперь считать в механике, законы Ньютона выполнимы только в **инерциальных** системах отсчёта и то при скоростях, много меньших скорости света. Отметим, что **масса** проявляется именно при попытке **ускорить** тело, то есть нарушить инерциальность движения. Стремление материальных тел сохранять состояние покоя или равномерного прямолинейного движения именуется **инертностью**, а первый закон Ньютона называют **законом инерции**. Видим, что в современной физике, как и во времена Ньютона, масса тел является, с одной стороны, крайне важной характеристикой материи, а с другой - совершенно загадочной, поскольку до сих пор не описан никакой внятный **физический механизм** возникновения той сущности, которая препятствует ускорению тел. Чтобы описывать воздействия одних тел на другие, упоминаемые в первом законе Ньютона, вводят понятие **силы**. Под действием сил тела либо изменяют скорость (т.е. приобретают ускорение), либо направление движения, либо деформируются. Обращаясь вновь к определениям [1, с.15]: «В каждый момент времени **сила** характеризуется числовым значением, направлением в пространстве и точкой приложения. Итак, **сила** - это векторная величина, являющаяся мерой механического воздействия на тело со стороны других тел *или полей (курсив наш)*, в результате которого тело приобретает ускорение или изменяет свою форму и размеры». Здесь снова видим, что сила - не менее загадочная сущность, чем масса, и вводится посредством описания. Сила, как физическая категория, многократно была подвергается критике, (в частности, уже И. Кантом в работе «Опыт введения в философию понятия отрицательных величин», 1763г. см. [2]) и, тем не менее, прочно занимает своё место в науке. Необходимым приложением к первому закону Ньютона следует признать и **способ (метод) измерения силы**. Таких способов наука знает на сегодняшний день немало, но все

они, в конечном счете, сводятся либо к изменению движения *пробных* тел, либо к их *деформации*.

Второй закон Ньютона - *основной закон динамики поступательного движения* - отвечает на вопрос, как именно изменяется механическое движение тела под действием приложенных к нему сил. Ускорение, приобретаемое телом (материальной точкой), **прямо пропорционально** вызвавшей его силе и обратно пропорционально массе тела. В частности, в системе единиц СИ:

$$(5.1) \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \text{ [м/с}^2\text{]},$$

где F [Н] - сила, m [кг] - масса тела, a [м/с²] - ускорение. В настоящее время ко второму закону Ньютона принято относить и так называемый «**принцип независимости действия сил**», который гласит, что если на тело (материальную точку) действует одновременно несколько сил, то каждая из этих сил сообщает телу ускорение, согласно второму закону Ньютона, как если бы других сил не было. Этот принцип также является в механике декларативным, хотя и не противоречащим опыту.

И, наконец, третий закон Ньютона говорит нам о **взаимности** воздействия тел друг на друга, и, тем самым, о **взаимности сил**: всякое действие тел (материальных точек) друг на друга носит характер взаимодействия; ибо силы, с которыми тела действуют друг на друга, всегда равны по модулю, противоположны по направлению и действуют вдоль прямой, соединяющей эти тела (материальные точки). Сегодня принято добавлять, что эти силы приложены к *разным* телам, всегда действуют *парами* и являются силами *одной природы* [1, с.16]. Такое добавление делается не случайно. Дело в том, что если мы прикладываем к телу силу, ускоряя его, то тело сопротивляется ускорению ровно с той силой, которую мы к нему приложили - именно так гласят второй и третий закон Ньютона. Тела в механике представляются точечными. Следовательно, они могут соприкасаться лишь в *одной* точке. Либо в одном точечном теле, либо в другом. И именно от этой точки придётся откладывать вектора сил, если следовать логике. В результате полная сумма сил в точке соприкосновения взаимодействующих тел - равна нулю. Причём при *любом* законе движения этих тел. А говоря, что силы приложены к *разным* телам, механика просто уворачивается от вопроса: какое отношение имеют силы к движению, коль скоро их полная сумма всегда равна нулю?

Итак, инерционная масса введена как необъяснимая в рамках механики (т.е. несводимая к другим явлениям) характеристика тел, описывающая их способность сопротивляться ускорению. Такой феноменологический подход был неизбежен во времена Ньютона, да и во времена Канта, поскольку учёным было неизвестно строение материи и неизвестны законы электродинамики. В настоящее время мы отчётливо понимаем, что вся известная нам зримая материя состоит из элементарных частиц. Подавляющий процент материи состоит из протонов и электронов (водород). Весьма небольшая часть материи видимой Вселенной содержит ещё и нейтроны (гелий), которые на сегодняшний день признаны сложными частицами, состоящими из разноимённых зарядов [3]. Вся остальная материя составляет столь ничтожный процент, что о ней имеет смысл говорить лишь после того, как мы разберёмся хотя бы с водородом. Встаёт вопрос, а возможно ли объяснение такого явления, как инерция, в рамках современных представлений о строении вещества и на основе знаний об электрических явлениях? Мы считаем, что да, это возможно, и, более того - крайне необходимо. Попытки объяснить механическую (инерционную) массу элементарных частиц электрическими явлениями уже предпринимались как в конце XIX века Г. А. Лоренцем (который связывал заряд элементарной частицы и массу), в начале XX века Дж. Дж. Томсоном и У. Томсоном (лордом Кельвином), так и в середине XX века Р. Фейнманом, который пытался применить новейший для того времени аппарат релятивистской электродинамики и даже

теорию запаздывающих потенциалов. Можно упомянуть работы немецкого физика Макса Абрагама (1875-1922) и теорию Альфреда Генриха Бухерера (1863-1927), которые пытались решить вопрос с зависимостью массы электрона от скорости. Почему ни одна из попыток, предпринятых столь известными учёными, не была удовлетворительной? Может быть, всё настолько сложно, что не стоит и пытаться? Сегодня мы можем уверенно ответить - всё просто. В каком-то смысле даже очень просто. настолько просто, что ответ мог быть найден уже в XIX веке. Помешала *инерция мышления*. Веками масса была абсолютной загадкой, и убедить себя в том, что она сводится к простейшим электрическим механизмам, по-видимому, было трудно. Великие физики с энтузиазмом бросались на штурм этой высоты, но на полдороги сами же себя останавливали и запутывали.

Мы попробуем пойти иным путём и дойти до конца. Для начала давайте сразу же откажемся рассуждать о «точечных» зарядах и массах. То есть о зарядах и телах нулевого размера. Таких тел в природе никто никогда не видел, и, в полном соответствии с принципом Оккама, мы и не будем вводить их в рассмотрение. Вместо точечных зарядов мы выберем модель элементарного заряда конечных размеров. Поскольку немало копий было сломано в физике вокруг конкретной формы элементарных зарядов, мы должны отметить следующее: кубический заряд, сферический заряд, цилиндрический заряд, тороидальный заряд и многие другие формы, будучи *назначены* в качестве модели, дадут почти одинаковые результаты. Особенно если выразить этот результат через некий «средний размер» r_0 . Поэтому исключительно для простоты и удобства *изложения*, мы выберем, по-видимому, наиболее простую *сферическую* форму. Кроме того, мы прекратим всякие рассуждения насчёт существования различных масс, или масс различной природы. Природа у явления инерции ровно одна, всё из того же принципа Оккама. Следовательно, и природа массы - ровно одна.

§ 5.2. Модель элементарного заряда

Представим себе элементарный заряд в виде крайне упрощённой модели - равномерно заряженной по поверхности уединенной *сферы*. Пусть данная сфера (рис.5.1) изначально покоится в вакууме. Характеристиками такого "физического" заряда являются величина заряда $q_0 = -1.6021 \cdot 10^{-19}$ [Кл] и радиус сферы r_0 [м]. Характеристиками среды (вакуума) являются диэлектрическая проницаемость $\epsilon_0 = 8.8542 \cdot 10^{-12}$ [Ф/м] и магнитная проницаемость $\mu_0 = 1.2566 \cdot 10^{-6}$ [Гн/м].

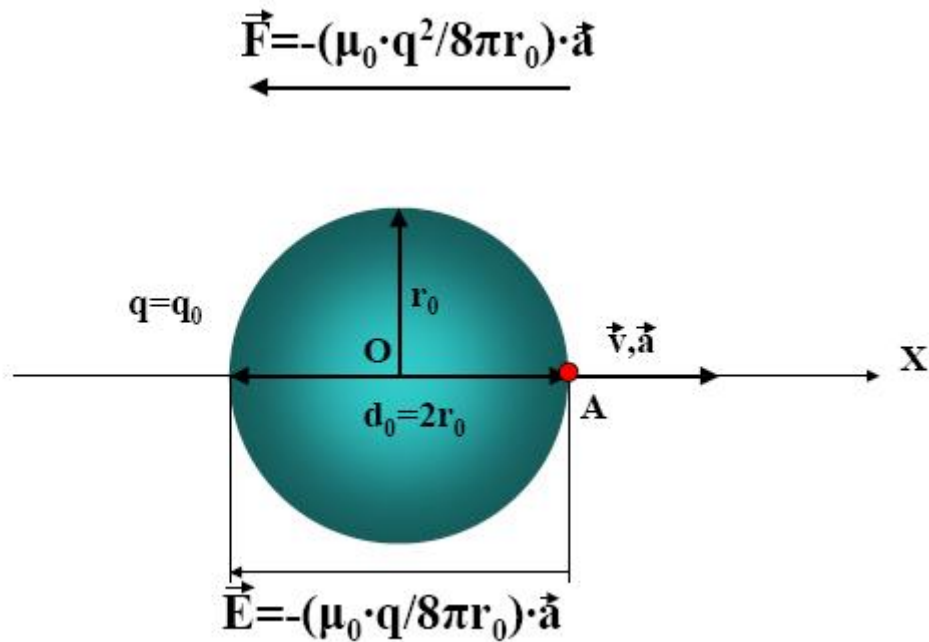


Рис. 5.1. Модель и основные параметры сферического элементарного заряда

Разместим координатную систему таким образом, чтобы её начало O совпадало с центром сферы, а ось OX была бы направлена так, как показано на рисунке. Впредь будем рассматривать движение вдоль этой оси, но в силу симметрии принятой модели заряда полученные выводы будут справедливы для движения в любом направлении в трехмерном пространстве. Кроме того, на основании того факта, что элементарный электрический заряд способен проводить ток (т.е. переносить заряд с одного тела на другое!), будем считать эту заряженную сферу *проводящей*. Откуда возникла такая идея? Из наблюдений и опыта нам известно, что электрон в электростатическом смысле ведёт себя в точности так же, как заряженная проводящая сфера. Кроме того, в каком-то смысле, единственный свободно движущийся электрон - это предельный случай проводника первого рода. Отношение к электрону как к проводящему телу, оказывается, создаёт ряд удобств для размышления. Является ли это соглашением столь уж физически необходимым, мы выясним в дальнейшем.

§ 5.3. Индуктивность и ёмкость модельного элементарного заряда

Мы вывели и многократно экспериментально проверили в предыдущих главах, никак не связанных с элементарными частицами и массой, выражение для *индуктивности* (коэффициента самоиндукции) прямолинейного *отрезка проводника* длины l :

$$(5.2) \quad L = \frac{\mu_0 l}{4\pi} \text{ [Гн]},$$

где l - длина проводника. Чтобы не выходить далеко за рамки темы инерции, укажем, что выражение (5.2) может быть получено предельным переходом $r \rightarrow D$ из известного выражения (5.2а) для *взаимной погонной индуктивности* двух прямолинейных проводников кругового сечения диаметром D на взаимном расстоянии r [10, ф. 3-28 с.139].

$$(5.2a) \quad L = \frac{\mu_0 l}{\pi} \left(\ln \frac{D}{r} + \frac{1}{4} \right).$$

При сближении проводников до касания расстояние станет, очевидно, равно удвоенному радиусу. Что значит расстояние равно *одному* радиусу?! Это значит, что проводники не только коснулись, но продолжили сближение и *слились в один*, таким образом, что перекрылись друг с другом *наполовину*. Они стали одним проводом. Именно этот случай (взаимоиндукции провода с самим собой) нам и интересен. Понятно, что выражение (5.2a) в скобках содержит два члена, один из которых зависит от расстояния r и диаметра проводов D , а второй - не зависит ни от чего. Первый член имеет смысл лишь до тех пор, пока провода не соприкоснулись. Второй - должен иметь смысл всегда. Рассуждения, разумеется, весьма нестрогие, но в данном случае мы хотели лишь проиллюстрировать, что формула (5.2) не является чем-то уж слишком экзотическим.

У *сферического* проводника (которым мы в наших рассуждениях считаем электрон) есть только одна мыслимая «длина» - это диаметр. Поэтому для индуктивности нашего модельного элементарного заряда мы можем записать:

$$(5.3) \quad L_0 = \frac{\mu_0 d_0}{4\pi} = \frac{\mu_0 2r_0}{4\pi} = \frac{\mu_0 r_0}{2\pi} \quad [\text{Гн/м}\cdot\text{м}] = [\text{Гн}].$$

Такую величину мы можем назвать "*собственной индуктивностью*" элементарного заряда. Такая величина подлежит *экспериментальной проверке*, и эти проверки были нами проведены для случая проводящей сферы и случая отрезка провода макроскопических размеров. Проверки полностью подтвердили справедливость формулы (5.2).

В то же время известно выражение для электрической ёмкости уединенной проводящей сферы радиуса r :

$$(5.4) \quad C = 4\pi\epsilon_0 r \quad [\text{Ф/м}\cdot\text{м}] = [\text{Ф}].$$

Откуда, считая $r = r_0$, имеем:

$$(5.5) \quad C_0 = 4\pi\epsilon_0 r_0 \quad [\text{Ф/м}\cdot\text{м}] = [\text{Ф}].$$

Эту величину мы можем именовать «*собственной емкостью*» элементарного заряда. Эта величина многократно проверена для макроскопических проводящих сфер начиная с конца XVIII века.

Само по себе наличие *реактивностей* электрона в виде индуктивности и ёмкости одно уже способно повернуть мысль исследователей в совершенно новых и неожиданных направлениях. Нас же в данной работе будет интересовать связь этих реактивных характеристик с проблемой инерционной массы.

§ 5.4. Вывод выражения для массы электрона из энергетических соображений

Для удобства изложения выведем сейчас массу электрона, а затем и собственную индуктивность электрона из простых *энергетических* соображений, не связанных ни с физическим *механизмом*, ни с его конкретной геометрической *формой*. Энергетические

рассуждения всегда в конечном итоге опираются на закон сохранения энергии, подобно тому, как рассуждения об импульсе всегда опираются на закон сохранения импульса. Такой подход способен привести исследователя к верным результатам, однако весьма часто скрывает *физический механизм* явления. Мы воспользуемся энергетическим подходом осознано, понимая, что он не даст нам механизма явления, но может дать намёк, почву для догадки. С этой целью определим, *какова величина тока, порождаемого движущимся в вакууме электроном*. Для этого поместим мысленно наблюдателя в точку А (рис. 5.1), и отметим, *какой заряд и за какое время* пройдёт мимо наблюдателя при движении электрона в направлении **ОА**. Весь заряд электрона q пройдёт мимо нашего наблюдателя за время, равное отношению его диаметра $2r_0$ к скорости движения v . При этом конкретная сложность его формы не важна, лишь бы весь заряд электрона прошёл бы мимо наблюдателя. Таким образом, наблюдатель фиксирует локальный **ток**, определяемый выражением:

$$(5.6) \quad I = \frac{qv}{l} = \frac{qv}{d_0} = \frac{qv}{2r_0} \quad [\text{Кл}\cdot\text{м/с/м}] = [\text{Кл/с}] = [\text{А}].$$

Как известно из теории электромагнитной индукции [1, с.231], полная энергия проводника с током:

$$(5.7) \quad W = \frac{LI^2}{2} \quad [\text{Дж}],$$

где L [Гн] - индуктивность проводника, I [А] - величина тока. Что это за энергия? Это *кинетическая* энергия, приобретённая носителями тока в проводнике (контуре). Тот факт, что в нашем случае носитель ровно один - ничего не меняет. Конвекционные токи, (то есть *токи механически перемещающихся заряженных тел*), как было экспериментально и теоретически доказано в начале XX века, ничем не отличаются от токов проводимости или токов смещения. По-прежнему выражение (5.7) описывает его кинетическую энергию. Однако, кинетическая энергия электрона легко определяется и в классической механике. И выражается она через массу электрона m_0 :

$$(5.8) \quad T = \frac{m_0 v^2}{2} \quad [\text{Дж}],$$

где m_0 [кг] - масса электрона, v [м/с] - скорость его движения.

Сделаем несколько принципиальных замечаний относительно кинетической энергии и энергии вообще. Во-первых, отметим, что кинетическая *энергия* T в точности равна **работе** A , которую нужно затратить, чтобы разогнать тело массой m_0 до скорости v , и в точности равна работе, которую можно получить, остановив тело с той же самой массой, разогнанное до той же скорости. Причём, во-вторых: совершенно не важно, как медленно вы будете останавливать или разгонять это тело - работа будет совершена та же самая. В самом деле, работа пропорциональна силе, умноженной на перемещение $A = F \cdot S$. Сила пропорциональна ускорению, умноженному на массу $F = m_0 a$.

Перемещение тела - квадрату скорости, делённому на ускорение $S = \frac{v^2}{2a}$. Их произведение

равно работе $A = FS = m_0 a \cdot \frac{v^2}{2a} = \frac{m_0 v^2}{2}$. Всё то же самое можно сказать и об энергии тока

в электрической цепи. Работа, совершаемая током не зависит от того быстро или медленно вы разгоняете или останавливаете электроны в проводнике. Разумеется, эти рассуждения верны только в том случае, если нет диссипативных сил, вроде сил трения. Таким образом, становится очевидно, что энергия тока в цепи (т.е. направленного движения электронов) - это кинетическая энергия, связанная с поступательным движением электронов. Здесь следует остановиться, поскольку со стороны физически образованных людей может поступить возражение. Нам скажут, что из одного и того же провода можно создать *различные* цепи с разной индуктивностью и, следовательно, различной энергией W при одинаковом токе I . А ведь количество электронов в проводнике постоянно и их скорость одинакова, коль скоро ток имеет ту же величину. Значит, кинетическая энергия электронов при данном токе постоянна. Противоречие? Нет, это снова - инерция мышления. Рассуждая о токе в проводниках, физики обычно забывают о наличии *неподвижных положительных ионов* решётки. Кто сказал, что их можно выкинуть из рассмотрения? Ведь между движущимися электронами и неподвижными ионами возникает, кроме кулоновского, ещё и *магнитное* взаимодействие. Этого взаимодействия не будет, если убрать ионы. Значит, с наличием ионов связана *дополнительная* энергия. Следовательно, полная энергия электрона, одиноко движущегося в вакууме, и электрона, несущегося сквозь решётку ионов - *различна*. Кроме того, при сложной конфигурации проводника одни электроны *движутся относительно других* электронов, что также порождает дополнительные *взаимодействия* и связанную с ними *энергию*. Если же мы отбросим все дополнительные взаимодействия и рассмотрим *единственный* электрон, движущийся прямолинейно, то его энергия, как энергия конвекционного тока и его механическая кинетическая энергия окажутся *равны*. Если бы мы не понимали механизма возникновения явления инерции, а пытались бы исходить *только* из законов сохранения, то, скорее всего, мы бы здесь безнадежно запутались.

Поскольку мы только что уравнили кинетическую энергию движущегося заряда и энергию тока, представляемого этим зарядом, то возникает принципиальный вопрос: а правомерно ли такое «вольное» обращение с энергиями? Чтобы осмыслить этот непростой вопрос, давайте разберём задачу о внутренней (термодинамической или *тепловой*) энергии тел. Представим себе моль газа, например воздуха. Масса этого тела - около 29 грамм. Наиболее вероятная тепловая скорость молекул при комнатной температуре (по данным различных источников, см.[9]) - 500 м/с. Следовательно, внутренняя энергия, связанная с тепловым движением должна составлять величину порядка $K = \frac{mv^2}{2} = \frac{0.029 \cdot 500^2}{2} = 3625 [Дж]$. В термодинамике внутренняя энергия одного

моля идеального газа определяется как $K = \frac{3}{2} N_A kT = \frac{3}{2} RT = 1.5 \cdot 8.31 \cdot 293 = 3650 [Дж]$.

Как видим, величины весьма близкие, и, учитывая условность понятия «вероятная скорость» и неидеальность реального воздуха, можно считать их совпадающими. Видите, тепловая энергия благополучно *сводится* к сумме кинетических энергий молекул!

Подытоживая, можно сказать, что *кинетическая* энергия есть *работа*, совершаемая при *разгоне* тела. Для элементарного заряда в вакууме она же - есть *энергия конвекционного тока*, представляемого движущимся электроном. То есть - работа по созданию тока. Она же есть то, из чего состоит внутренняя (*тепловая*) энергия системы тел (зарядов). *Потенциальная* энергия (например, энергия электрического поля) - это есть та *кинетическая* энергия, которую *приобретёт* тело (заряд), *если* позволить ему свободно *двигаться*. Как видим, *любая* энергия может быть *определена* через *кинетическую* энергию. То есть понятие энергии неразрывно связано с *движением материальных тел* и является *способом* описания движения материи. Важно понимать, что такие величины, как скорости и ускорения, связаны с кинематикой, т.е. с движением как таковым, а не с конкретным движением каких-либо определённых материальных тел. Энергия же всегда

связана с движением (реальным или потенциальным, направленным или хаотическим) конкретных материальных тел.

Итак, понимая, что энергия электрона W , как тока, и его кинетическая энергия, как энергия весомого тела T - это одна и та же энергия механического движения элементарного заряда, просто выраженная языком разных разделов физики, приравняем (5.7) и (5.8) с учётом (5.6) и (5.3):

$$(5.9) W = \frac{1}{2} \frac{\mu_0 r_0}{2\pi} \left(\frac{qv}{2r_0} \right)^2 = \frac{1}{2} \frac{\mu_0 q^2}{8\pi_0} v^2 = \frac{1}{2} m_0 v^2 = T \text{ [Дж]}.$$

Отсюда, выражая массу m_0 , получим:

$$(5.10) m_0 = \frac{\mu_0 q^2}{8\pi_0} \text{ [кг]}.$$

Как видим, масса оказалась пропорциональна квадрату заряда, а следовательно, не зависящей от его знака, и обратно пропорциональна некоему «характерному радиусу». То есть геометрическому размеру. Если же теперь подставить массу в выражение (5.8) и приравнять снова к (5.7) с учётом (5.6), то получим выражение для собственной индуктивности электрона L_0 (5.3) через массу m_0 :

$$(5.11) L_0 = \frac{m_0 v^2}{I^2} = m_0 v^2 \frac{4r_0^2}{q^2 v^2} = \frac{4m_0 r_0^2}{q^2} \text{ [Гн]}.$$

То есть видим, что **индуктивность** электрона **прямо пропорциональна массе** электрона. Здесь уже трудно не сообразить, что масса, т.е. *способность сопротивляться изменению скорости*, определяется индуктивностью, то есть *способностью сопротивляться изменению тока*. Не просто **напоминает** индуктивность, не просто **аналогична** индуктивности - а именно **полностью определяется индуктивностью**. Всё, мы догадались о конкретном физическом механизме, ответственном за инерцию, то есть за способность тел сопротивляться изменению скорости движения. Этот механизм давно и хорошо известен в теории электрических явлений и называется **самоиндукцией**.

§ 5.5. ЭДС самоиндукции переменного конвекционного тока и инерционная масса

Теперь последовательно опишем **механизм** возникновения инерции элементарного заряда. Придадим нашему модельному заряду движение во введенной выше системе координат. Пусть заряд движется вправо вдоль оси (OX) со скоростью v . Такой движущийся заряд, как мы уже говорили, являет собой элементарный конвекционный ток. Величина этого тока определена выше в формуле (5.6). Индуктивность электрона нам известна из (5.3). Определим теперь **ЭДС самоиндукции**, наводимой таким током на проводник длины $l = d_0 = 2r_0$ в том же месте, где протекает ток. Зная индуктивность проводника L , мы немедленно можем записать по Фарадею:

$$(5.12) U = -L \frac{dI}{dt} \text{ [Гн} \cdot \text{А/с]} = \text{[В]},$$

в нашем же случае, подставляя (5.6) и (5.3) в (5.12), получим:

$$(5.13) \quad U = -L_0 \frac{dI}{dt} = -\frac{\mu_0 r_0}{2\pi} \cdot \frac{d\left(\frac{qv}{2r_0}\right)}{dt} = -\frac{\mu_0 q}{4\pi} \cdot \frac{dv}{dt} \quad [\text{Гн/м} \cdot \text{Кл} \cdot \text{м/с}^2] = [\text{В}].$$

Пусть производная dv/dt скорости по времени, фигурировавшая в этом выражении, будет обозначена как a . Эта величина является просто ускорением. Значит, мы только что обнаружили, что *ускоренное движение заряда приводит к появлению **вблизи** этого заряда электродвижущей силы самоиндукции.*

ЭДС самоиндукции, выраженная через ускорение a , будет иметь вид:

$$(5.14) \quad U = -\frac{\mu_0 q}{4\pi} \cdot a \quad [\text{В}].$$

Напомним, что знак ЭДС определяется *правилом Ленца*, в соответствии с которым самоиндукция всегда направлена *против* причины, вызвавшей изменение тока. Эта ЭДС означает наличие электрического поля, действующего на сферу в направлении XO «от полюса до полюса» (рис. 5.1). Следовательно, можно записать для напряженности E этого поля:

$$(5.15) \quad E = \frac{U}{d_0} = -\frac{\mu_0 q}{4\pi} \cdot \frac{a}{2r_0} = -\frac{\mu_0 q}{8\pi \cdot r_0} \cdot a \quad [\text{В/м}].$$

Теперь вспомним, что наша сфера заряжена зарядом q , и, следовательно, электрическое поле с напряженностью E вызовет действие на заряд q силы F :

$$(5.16) \quad F = qE = q \cdot -\frac{\mu_0 q}{8\pi \cdot r_0} \cdot a = -\frac{\mu_0 q^2}{8\pi \cdot r_0} \cdot a \quad [\text{В/м} \cdot \text{Кл}] = [\text{Н}].$$

В то же время из 2-го и 3-го законов Ньютона для силы инерции нам известно:

$$(5.17) \quad F = -ma \quad [\text{Н}].$$

где F - сила инерции, *противодействующая* ускоряющей силе, m - коэффициент пропорциональности, именуемый в механике «инерционной массой».

Сопоставляя выражения (5.16) и (5.17), можем записать:

$$(5.18) \quad m_0 = \frac{\mu_0 q^2}{8\pi \cdot r_0} \quad [\text{кг}].$$

что полностью совпадает с (5.10).

Таким образом, взяв модельный заряд в виде заряженной сферы конечных размеров и попытавшись придать ему ускоренное движение, мы обнаружили *силу противодействия ускорению*. Эта сила обязана своим происхождением явлению *электромагнитной самоиндукции уединенного переменного конвекционного* тока. Коэффициент пропорциональности между указанной силой и величиной ускорения заряда

имеет размерность массы [кг] в СИ и численно выражается формулой (5.18). Поскольку заряд входит в выражение для массы во второй степени, то для положительных зарядов наблюдается ровно то же явление противодействия самоиндукции их ускоренному движению, что и для отрицательных. Более того, поскольку явления индукции элементарного тока проявляются только на расстояниях, сопоставимых с длиной самого элементарного тока, то система из совершенно различных жёстко связанных неким образом зарядов, расположенных на достаточно далёких, по сравнению с их собственными характерными размерами, расстояниях, будет при ускорении создавать силу противодействия, пропорциональную *простой сумме* их «индукционных» масс. Так образуется **инерционная масса макроскопических тел** - как **простая сумма** масс элементарных зарядов этого тела. Если же расстояние между разноименными зарядами уменьшать, то общая масса системы начнёт *отличаться* от простой суммы масс и продемонстрирует нам эффект «**дефекта массы**». Это произойдёт в силу того, что проявится **взаимоиндукция** зарядов. В самом деле, если на *отрицательно* заряженную частицу ЭДС её самоиндукции при ускоренном движении воздействует так, что препятствует ускорению, то на расположенную **рядом положительную** частицу то же самое поле произведёт *обратное* действие. Следовательно, мы можем утверждать, что масса атома водорода должна быть несколько меньше, чем простая сумма масс протона и электрона. Т.е. самоиндукция частиц в системе частично компенсируется их взаимоиנדукцией. При дальнейшем сближении разноимённых зарядов в системе будет происходить дальнейшее «исчезновение» массы, вплоть до полной её «аннигиляции».

В связи с вышесказанным необходимо отметить, что невозможно бесконечно увеличивать *плотность* материи - при определённой степени сжатия, когда разноимённо заряженные частицы сблизятся на расстояние, сопоставимое с их размерами, масса начнёт *убывать* и рост плотности замедлится, а затем, возможно, прекратится. Дальнейшее сжатие, буде оно физически возможно, привело бы к «исчезновению» массы и превращению зримой материи обратно в вакуум (мировую среду, эфир, *плenum*).

Коль скоро мы свели понятие массы к понятиям индуктивности и заряда, а явление инерции к явлению самоиндукции, то следовало бы увязать законы механики Ньютона с электрическими законами Кулона и Фарадея. Итак, мы установили, что **первый закон Ньютона** есть следствие того, что индукция и самоиндукция возникают только при **изменении** тока (явление, открытое М. Фарадеем). **Второй закон Ньютона** есть просто прямое следствие закона электромагнитной индукции Фарадея (ЭДС самоиндукции прямо пропорциональна произведению индуктивности на скорость изменения тока). **Третий закон Ньютона** выражает **правило Ленца** для самоиндукции (ЭДС самоиндукции всегда направлена против причин, вызвавших изменение тока). Принцип же **независимости действия сил** в механике является выражением **принципа суперпозиции полей** в электродинамике и является прямым следствием закона Кулона. Таким образом, все три основных закона (и их современные дополнения) классической механики свелись к явлению самоиндукции и законам Кулона и Фарадея. Позже, в главе 9 мы покажем, что и сам закон Кулона не фундаментальный закон, а лишь следствие законов индукции.

§ 5.6. Незримый участник, или возрождение принципа Маха

Рассмотрев вышеизложенный механизм инерции, внимательный читатель может задать вопрос: так что же, ускоряемый электрон порождает поле, которое препятствует его ускорению? Да. Это так. Так что же, выходит, он сам себя останавливает?! Разумеется, **нет**. Это барон Мюнхгаузен сам себя вытаскивал из болота за волосы. Применявшийся Р. Фейнманом термин **self-induction**, в русскоязычной литературе переводится как «**самодействие**», и не имел у Фейнмана прямого отношения к явлению электромагнитной индукции Фарадея, а просто служил указанием на то, что ускоряемый электрон неким

загадочным образом «действует сам на себя». Дело в том, что электрон не в одиночку порождает противодействующее его ускорению поле. Не случайно в формулы массы (5.10) и (5.18) входит магнитная проницаемость *вакуума*. Это говорит о том, что в создании электрического поля самоиндукции участвует не только электрон, но и окружающий вакуум (эфир, *плenum*). В самом деле, если мы попробуем ускорить любое другое тело, то оно будет сопротивляться в точности так же, как наш электрон. Если же мы ускорим *сам* вакуум, то *все* заряды во Вселенной будут испытывать силу (5.16). Следовательно, можно заключить, что наш ускоряемый электрон, посредством вакуума, «цепляется» за все материальные тела во Вселенной. Так это же и есть знаменитый принцип Маха, в который так верил А. Эйнштейн! Правда ни Мах, ни Эйнштейн не могли назвать конкретный *механизм*, посредством которого этот принцип выполняется. Теперь такой механизм может быть предложен.

§ 5.7. Ещё одно сокращение сущностей

Говоря о том, что ускоряемый электрон порождает поле, учёные тем самым, утверждают, что вот, есть *электрон*, а есть *поле*. И это вещи *разные*. Но откуда же такая уверенность?! Насколько нам известно, никто и никогда не держал в руках электрона *без* его поля. Более того, похоже, никто даже не представлял себе такого электрона. Ещё более того - всякий раз, когда мы имеем дело с электроном, мы имеем дело *только* с его полем! Если бы мы мысленно проделали такой эксперимент - извлекли бы все электроны из какого-то тела, но так, чтобы их поля остались нетронутыми, - разве заметили бы мы хоть какие-то перемены?! Нет. Не заметили бы. До сих пор только наличие *инерционных* свойств электрона позволяло физикам говорить что электрон - это нечто большее, чем его поле. Но мы выяснили теперь, что инерция - это результат действия электрического поля самоиндукции на электрон. То есть инерция - это что-то, что вызывается полем. Всё. У нас исчезло единственное и последнее основание говорить раздельно слова «электрон» и «поле». Выясняется, что электрон - это и есть его поле. И больше в нём ничего нет. Помните, говоря о законах Ньютона, мы выделили курсивом в современном определении слово *поле*, чтобы подчеркнуть, что поле как минимум признано равноправным участником в механических явлениях. Мы уверены теперь, что поле - *единственный* реальный участник как механических, так и электрических явлений. Что с этой точки зрения происходит при ускорении электрона?! А вот что: поле, исходно имевшее симметричную форму, искажается (деформируется) при ускорении таким образом, что сопротивляется ускорению. Об этом догадывался ещё Р. Фейнман [6]. То есть ускоряемый электрон - *деформируется*. Это очень важный вывод, открывающий путь для рассмотрения многих явлений физики, в частности - излучения электромагнитных волн. Но этот вопрос уже выводит нас за рамки заявленной в этой главе тематики.

§ 5.8. Энергия заряженного конденсатора,

«электростатическая» масса и $E = mc^2$

Ещё в XIX веке ([4]) были предприняты попытки объяснить инерционную массу, исходя из представлений классической электродинамики. Проследим лишь один из таких возможных путей (Г. А. Лоренц, А. Зоммерфельд [8]) и попытаемся довести соответствующие рассуждения *до логического завершения*.

Для этого обратимся к выражению (5.5) для емкости нашего модельного заряда и вычислим энергию соответствующего *удиненного* сферического конденсатора:

$$(5.19) W = \frac{CU^2}{2} = \frac{QU}{2} = \frac{Q^2}{2C} \text{ [Дж]}.$$

Таким образом, зная C из (5.5), можем записать:

$$(5.20) W = \frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 r_0} \text{ [Дж]}.$$

Далее, формально воспользовавшись формулой Эйнштейна $W = mc^2$:

$$(5.21) m = \frac{W}{c^2} \text{ [Дж]}.$$

где W - полная энергия, c - скорость света в вакууме, получим:

$$(5.22) m_0 = \frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 r_0} \cdot \frac{1}{c^2} \text{ [кг]},$$

Этот результат был получен ещё Г. А. Лоренцем [7] и приведён, в частности, А. Зоммерфельдом ([8, ф. 33.14 с. 383]). Однако, как и в случае с Р. Фейнманом [6], этот результат не совпал с результатом, полученным из подсчёта *механического импульса электромагнитного поля движущегося электрона*. И на этом шатком основании Зоммерфельд заявил, что не вся масса имеет электромагнитное происхождение.

Памятуя, что $c^2 = 1/(\mu_0\epsilon_0)$, окончательно имеем:

$$(5.23) m_0 = \frac{\mu_0 q^2}{8\pi \cdot r_0} \text{ [кг]}.$$

Что **полностью** совпадает с выражениями (5.10) и (5.18) для массы элементарного заряда, полученными как из энергетических соображений, так и из детального анализа явления самоиндукции. Как видим, такой подход приводит нас к вполне *правильному* выражению для массы, однако совершенно не вскрывает **механизма** возникновения явления инерции. Масса здесь выступает как загадочное свойство, связанное с энергией. Причём в начале XX века эйнштейновский формализм (5.21) был воспринят неоправданно расширительно, и тем самым крайне запутал ситуацию с анализом электрического происхождения инерционной массы. Поскольку Эйнштейн «забыл» указать, какая именно энергия W имела в виду, то исследователи того времени ошибочно сочли, что *любая* энергия, в т.ч. кинетическая, внутренняя и все виды потенциальной могут быть подставлены в формулу Эйнштейна с целью получить осмысленный результат. Увы, это не так. Получив выражение (5.23) и зная о магнитных и механических свойствах электрона, физики стали задумываться, а какая именно часть «полной» массы электрона определяется энергией электрического поля? А какая часть - энергией магнитного поля электрона?! А как быть с присущей электрону механической энергией?! Если же добавить сюда ещё и крайне запутанный вопрос о том, обладает ли гравитационное поле электрона *собственной* массой, то задача просто переходит в категорию неразрешимых. Решением уравнений ОТО Эйнштейна, например, являются, в частности, *пустые* миры, содержащие только гравитационное поле, т.е. кривляющееся пространство. Вот так и запутывали сами себя великие умы.

На самом деле заявление, что энергия обладает массой - это пример схоластической средневековой чуши. Энергия - это, как мы рассмотрели ранее, определённого вида *расчет* (идея, интеграл), то есть нечто, существующее лишь в человеческом сознании, а масса - это *характеристика материи*, говорящая о её реакции на изменение движения. Заявить, что идея имеет материальную характеристику - это, простите, нонсенс. Другой вопрос, почему электростатическая энергия *неподвижного* электрона оказывается связанной с его кинетической энергией, обретаемой при движении и с силой инерции, возникающей при разгоне (торможении)? Этот вопрос может привести нас к размышлениям о том, что же такое *заряд*? Ведь современная физика на этот вопрос не даёт *никакого* вразумительного ответа. Возникает подозрение, что заряд сам по себе связан с неким движением чего-то. То есть за зарядом, как и за массой, стоит некая более общая сущность, скорее всего, связанная с движением. Кроме того, мы уже показали, что понятия «заряд» и «поле» - имеют одно и то же содержание. Тогда вопрос «что же такое заряд?» - сведётся к вопросу «что же такое поле?»... На самом деле, формула (5.20) говорит о той работе, которую пришлось бы затратить, чтобы притащить заряд электрона из бесконечности и разместить его на сфере конечного радиуса. А (5.21) говорит нам, что точно такую же работу, оказывается, пришлось бы затратить, чтобы разогнать *два* таких заряда до скорости света. Как нам кажется, это довольно громкий намёк на возможное внутреннее устройство электрона.

Итак, мы, вскрыв *индукционный механизм* возникновения явления механической инерции, ясно видим, что масса элементарного заряда связана *только* с его *электрическим полем*, то есть с *зарядом и его геометрическими размерами*. И более - ни с чем. Таким образом, знаменитая формула, приписываемая Эйнштейну, $E = mc^2$ справедлива *только для электрического поля*.

Обратим теперь взгляд на труды наиболее далеко продвинувшихся в этом вопросе предшественников и попробуем понять, почему они так и не смогли поставить точку в этой проблеме.

§ 5.9. Электромагнитная масса в электродинамике А. Зоммерфельда и Р. Фейнмана

Разумеется, проблема массы, как электрического явления, исследовалась многими выдающимися учёными, так что, как и И. Ньютон, мы можем заявить, что стоим «на плечах гигантов» и лишь потому, возможно, видим дальше. После Г. А. Лоренца наиболее серьёзные работы были проведены в этом направлении А. Зоммерфельдом [8] и Р. Фейнманом [6]. Оба они прекрасно владели аппаратом электродинамики и оба начинали своё рассмотрение проблемы массы с вычисления *импульса* поля электрона. Вычисляя механический импульс поля, оба полагали, что движение электрона вызывает появление магнитного поля и записывали импульс электрона как импульс электромагнитной волны через E и H компоненты. Откуда они взяли, что электрон - это *электромагнитная волна* и его импульс может быть записан именно таким образом, не вполне понятно. Фактически, это является произвольным допущением. Дело в том, что электромагнитная волна в современной физике это совершенно конкретный объект с конкретными свойствами. В частности, напряжённости электрического и магнитного поля в волне всегда *жёстко связаны*. Если известна электрическая компонента поля волны, то автоматически известна и магнитная (в вакууме, разумеется). Не может быть такого, что одной напряжённости электрического поля волны соответствуют различные напряжённости магнитного поля. Именно поэтому идея принять магнитное поле движущегося электрона как магнитную компоненту электромагнитной волны вызывает вопросы. Математический аппарат, использованный этими учёными, несколько отличался. В результате А. Зоммерфельдом было получено значение массы:

$$(5.24) m_0 = \frac{\mu_0 q^2}{6\pi \cdot r_0} \text{ [кг]} \text{ (система СИ),}$$

а Р. Фейнманом был получен результат:

$$(5.25) m_0 = \frac{2}{3} \frac{q^2}{c^2 r_0} \text{ [г]} \text{ (система СГС).}$$

После приведения (5.25) в систему СИ видим, что выражение полностью эквивалентно выражению (5.24). Оба учёных на этом не остановились и попытались получить массу электрона ещё и из других соображений. Так, А. Зоммерфельд приравнял кинетическую энергию движущегося электрона к энергии магнитного поля *элемента с током*, используя закон Био-Савара-Лапласа. Похожее действие демонстрировали и мы, когда выводили массу электрона из энергетических соображений. Однако есть огромная разница - у А. Зоммерфельда элемент с током имеет *бесконечно малый размер* (иначе нельзя было бы пользоваться выражением для магнитного поля элемента с током). Закон Био-Савара-Лапласа прекрасно работает, но на расстояниях, много больших размеров элемента с током. А магнитное поле сконцентрировано как раз на расстоянии порядка размеров элемента тока. Видимо, Зоммерфельд чувствовал, что что-то не так, и размер у него, конечно, потом появляется, как нижний из пределов интегрирования плотности энергии по пространству. То есть это эквивалентно заявлению, что внутри электрона нет магнитного поля, порождаемого движением электрона. Почему?! Что его остановило? Непонятно. Может быть, он имел в виду, что там магнитное-то поле есть, но нет электрического? Тогда не было бы импульса (выраженного через произведение $\vec{E} \otimes \vec{H}$) внутри объёма электрона. Но он же, в данном случае, не импульс считал, а *энергию*. (Заявление, что внутри электрона нет электрического поля, кстати, эквивалентно заявлению что электрон - *проводник*). То есть и здесь проявилась произвольность вычисления энергии электрона как энергии магнитного поля *бесконечно малого* элемента с током. В результате этого, на наш взгляд, не вполне корректного подхода Зоммерфельд получил выражение для массы электрона, полностью совпадающее с (5.24). Но и тут он не остановился и сделал *третий* подход к проблеме; он посчитал энергию *электростатического* поля электрона и вычислил массу делением этой энергии на квадрат скорости света. Разумеется, он получил выражение (5.23). Такое расхождение заставило его сделать вывод: «Только 3/4 этой энергии электростатического происхождения; оставшаяся 1/4 должна быть обусловлена взаимодействиями, лежащими за пределами теории Максвелла». Совершенно непонятно, причём здесь «взаимодействия, лежащие за пределами теории Максвелла», поскольку электростатика, с которой вступил в противоречие электродинамический результат - считается предельным случаем электродинамики же. То есть проблема кроется либо где-то *внутри* самих учений об электричестве, либо в *способе* их применения. Характерно, что Р. Фейнман также не удовлетворился только рассмотрением импульса поля электрона, тоже вычислил массу из энергии электростатического поля и получил выражение (5.23) (см [6] с.383). По поводу расхождения двух выражений для массы Р. Фейнман писал: «По-видимому, мы где-то допустили ошибку. Конечно, не алгебраическую ошибку в наших расчетах, а где-то проглядели что-то существенное» (курсив наш). Все эти подходы к выводу электромагнитной массы объединяет нечто общее - полнейшее *отсутствие ускорения*. Электрон у обоих учёных либо покоится, либо движется равномерно и прямолинейно. Как же тогда *проявляется* масса? Да никак. При таких подходах масса - всего лишь мыслимая, *воображаемая* характеристика (параметр, коэффициент). А с воображаемой величиной могут всякие чудеса происходить... Реальной, с чем-то связанной, она

становится только тогда, когда движение тела *изменяется*. Р. Фейнман не был бы выдающимся учёным, если бы не почувствовал этого. И далее (насколько мы можем судить, *впервые* в истории электродинамики!) делает попытку объяснить *механизм* возникновения силы сопротивления ускорению. Он заметил, что при *ускоренном* движении электрона нарушается баланс *сил*, удерживающих электрон в равновесии. Конечно, он привлекал *фиктивные* силы (т. н. натяжения Пуанкаре), якобы удерживающие электрон от разрыва силами внутреннего электростатического отталкивания. Но, тем не менее, сама *необходимость вскрыть механизм* была им высвечена. Проблема была, наконец-то, поставлена, хотя он и не довёл это направление до конкретного уравнения. По поводу старого вопроса о силах, удерживающих заряд электрона, скажем, что о таких силах есть смысл рассуждать только в том случае, если мы *знаем*, как элементарные заряды устроены. Например, знаем, что они состоят из более мелких, чем элементарный заряд, порций, и *в принципе* могут быть «расчленены». А мы разве знаем?

Итак, можем констатировать, что предыдущие исследователи не смогли ускорить электрон и посмотреть, что получится. А не содержащие механизма подходы через закон сохранения импульса и закон сохранения энергии дали им *разные* результаты, по причине произвольных допущений, принятых при вычислении импульса. Эта ситуация привела к такой путанице в умах, что и по сегодняшний день бытует мнение, будто Р. Фейнман сделал в этом направлении всё возможное и больше ничего сделать нельзя. Что ж! Судите сами.

§ 5.10. Собственная индуктивность электрона как кинетическая индуктивность

Можно подумать, что, вводя в научный обиход понятие «*индуктивности электрона*», мы сами нарушаем принцип Оккама, используя новую сущность. Это категорически не так! С индуктивными свойствами электрона физики *уже* сталкивались более 60 лет назад, изучая явления в сверхпроводящих (идеальных) проводниках. (См. [5, с.40-41]). Дело в том, что при подключении идеального (не имеющего активного сопротивления), но имеющего индуктивность L проводника к идеальному источнику ЭДС U ток I линейно нарастает со временем как:

$$(5.26) \quad I(t) = \frac{U}{L} t \text{ [А]}.$$

Следовательно, электроны в такой цепи должны двигаться *равноускоренно*. Но ведь внутри сверхпроводника (идеального проводника) электрического поля E нет и быть не может. Что же разгоняет электроны? Анализ этого противоречия привёл физиков к представлению об особой *кинетической индуктивности* L_k , связанной со свойствами носителей тока (электронов). В теории сверхпроводников Ф.Лондона эта величина выражается как:

$$(5.27) \quad L_k = \frac{m_0 2\pi \cdot a}{nq^2 S} \text{ [Гн]},$$

где n [м^{-3}] – концентрация носителей тока, q [Кл] и m_0 [кг] – заряд и масса носителей, a [м] – длина идеального проводника, а S [м^2] – площадь его сечения. Если *формально*

представить себе проводник радиуса r_0 ровно с *одним* ($n=1$) носителем тока внутри, то получим:

$$(5.28) \quad L_k = \frac{m_0 2\pi \cdot (2r_0)}{\frac{1}{r_0^3} q^2 (\pi \cdot r_0^2)} = \frac{4m_0 r_0^2}{q^2} = L_0 \text{ [Гн]},$$

что совпадает с выражением (5.3) для *собственной* индуктивности электрона. Таким образом, становится ясно, что известная в физике сверхпроводников кинетическая индуктивность L_k равна или, по крайней мере, пропорциональна введенной нами собственной индуктивности электрона в *предельном случае проводника с одним единственным носителем*. И теоретически и экспериментально известно, что роль кинетической индуктивности возрастает по мере уменьшения сечения проводника и по мере роста скорости движения носителей. Логично предположить, что в проводнике *предельно малого* сечения, равного сечению одного единственного электрона, роль этой индуктивности будет максимальна. Оказалось, что она не просто максимальна, а является *определяющей*, причём определяющей такую фундаментальную характеристику, как *масса* свободного заряда. Также оказалось, что эксперименты, выявляющие индуктивные свойства электронов, нет необходимости проводить, ибо они уже проведены во множестве при изучении свойств сверхпроводящих цепей. Нам представляется удивительным, что до сих пор индуктивные свойства элементарных частиц практически не учитываются в физике (по крайней мере, в явном виде).

§ 5.11. О массе протона и ещё раз об инерции мышления

Проследив и даже поняв тот путь решения проблемы инерционной массы, который мы изложили выше, многие, тем не менее, зададут старый, как сама проблема, вопрос: так что же, получается, что в соответствии с (5.10), (5.18) и (5.23) **протон** в 1836 раз *меньше* электрона, раз он тяжелее? Да, ответим мы, это именно так! Но помилуйте, скажут нам, ведь **всем известно**, что протон больше! А вот тут остановитесь. Откуда это известно? Мы провели исследование с целью выяснить, как именно и с какой точностью был измерен **размер атома водорода**. Каково же было наше удивление, когда мы обнаружили, что он *никак* не измерен. Не удалось обнаружить *ни одного* опыта, в котором был бы доказательно и без встроенного порочного круга измерен размер атома водорода! Что же говорить о размерах элементарных частиц?! Их размеры - всего лишь предмет веры и теоретических рассуждений. Таково состояние современной физики. Допустив, (всего лишь допустив!), что электрон в 1836 раз **больше** протона, мы вполне могли бы истолковать результаты всех опытов по рассеянию, приняв также, что электрон ещё и «мягче» протона. Кроме того, столь малый размер протона, каким он вытекает из наших рассуждений (порядка 10^{-18} м) приводит к огромным напряжёностям электрического поля вблизи протона, и к огромным *градиентам* этого поля, что следует учесть. Позже, например, в Главе 7, мы укажем и на другие явления вблизи протона. Рассеивая электроны на протонах и наоборот, невозможно выяснить, кто из них больше, а кто меньше. Можно лишь выяснить, что их размеры *отличаются* на 3 порядка. Нам просто *по инерции* кажется, что тяжёлое должно быть больше лёгкого. Таков наш усреднённый бытовой опыт.

§ 5.12. А проводник ли?

До сих пор мы все наши рассуждения вели, положив в самом начале, что электрон (и вообще элементарные заряженные частицы) - это проводник. Ёмкость и индуктивность проводника, хотя и геометрически малого, не вызывают большого недоумения и мы сравнительно легко проделали и энергетические и силовые расчёты. Однако *после* того, как мы объяснили механизм явления инерции, уяснили электрическую сущность инерционной массы и разобрались, что происходит с энергией при ускорении тел, возник вопрос: а так ли *существенно* то, что мы полагали элементарные заряды проводниками? Если бы указанная выше модельная сфера была бы *диэлектрической*, что изменилось бы? Ведь конвекционный ток, даже если его носителями являются диэлектрические крупинки (лишь бы они имели заряд!), ведёт себя так же, как ток проводимости. И магнитное поле он создаёт такое же, как контур с проводником при той же величине тока. Так, может быть, понятия индуктивности и ёмкости следует распространить не только на проводники, но и на диэлектрики и даже на *само пространство*? Однажды такая попытка уже была произведена Максвеллом, однако он полагал, что магнитная проницаемость вакуума есть погонная индуктивность пространства (эфира, мировой среды, *плenums*). А диэлектрическая проницаемость есть погонная ёмкость. Мы же пришли к выводу, что для получения погонных реактивностей «пространства» скорее диэлектрическую проницаемость надо умножать на 2π , а магнитную, соответственно, разделить на те же 2π . При этом связь этих величин со скоростью света останется той же самой, теми же останутся резонансные частоты антенн, но волновое сопротивление вакуума уменьшится в 2π раз и составит примерно 60 Ом (а не 377 Ом, как *считается* сегодня). И специалисты, и любители от радиотехники хорошо знают, что именно в диапазоне 50-75 Ом лежит волновое сопротивление большинства антенн и антенных кабелей. Как известно, излучение волн из некоего излучателя в среду лишь тогда эффективно, когда волновые сопротивления среды и самого излучателя близки. Это касается и механики, и акустики, и радиотехники. Так почему же, более ста лет повсеместно используя антенны с импедансом порядка 60 Ом, физики не пытались согласовать их с волновым сопротивлением вакуума (377 Ом), каким они его представляли со времён Максвелла?! Более того, антенны с высоким импедансом практически всегда считаются «плохими» антеннами. Так, может быть, и не надо ничего согласовывать, ибо всё уже согласовано?! Кстати, до сих пор нами не обнаружено в литературе ни одного *эксперимента* по измерению волнового сопротивления вакуума, как такового. Эта величина просто *назначается*! Подробное рассмотрение причин такого положения дел выведет нас за рамки заявленной в данной главе тематики. Но мы обязательно вернёмся к вопросу позже, когда будем рассматривать природу такого явления, как «электромагнитная волна», и в главе 12.

Таким образом, начав с *назначения* электрону свойств проводника и построив *индукционную теорию инерции*, мы пришли к выводу, что все результаты останутся в силе и для диэлектрического электрона и даже «пустого» электрона, состоящего, например, из вакуума. Что же это за электрон такой, состоящий из «пустоты», мы объясним несколько позже, когда будем рассматривать сущность элементарных частиц.

§ 5.13. Насколько важна форма?

Примерно такая же ситуация возникает и тогда, когда мы начинаем размышлять о форме электрона. А если он не «шарик», а «бублик», к примеру? А практически ничего не изменится. По-прежнему ускоренно движущийся заряженный бублик – это переменный ток. По-прежнему переменный ток вызывает ЭДС самоиндукции. По-прежнему ЭДС

самоиндукции препятствует ускорению заряда. Все формулы останутся в силе. Что же изменится?! Единственная вещь, которая может измениться, это содержание и величина понятия «эффективный радиус». Если же мы потребуем соответствия формул опытным данным, то даже и величина не изменится. Если для сферического электрона, «эффективный радиус» это просто радиус, то для кубического электрона нам пришлось бы *сказать*, что это нечто среднее между радиусами вписанной и описанной сфер. Так мы же всегда, говоря о среднем размере сложных объектов, имеем в виду что-то вроде «среднего радиуса». Это естественно. Когда-нибудь, кто-нибудь выяснит точно, какова форма электрона, точнее *внутренней части поля*, и в теорию войдёт, возможно, не один «эффективный радиус», а несколько чисел, описывающих геометрию электрона. А до тех пор будем пользоваться одним числом. Тем более что его пока вполне хватает для ответов на конкретные вопросы. Так в чём же причина, что явление инерции так мало зависит от конкретной формы заряда? На самом деле мы уже давали ответ: масса присуща только электрическому полю, а электрон это его поле. Следовательно, масса, инерция заряда, содержится *не внутри*, а распределена по *всему* его полю. Все, кто на практике познакомился с электростатикой, прекрасно знают, что поле проводника *гораздо* равномернее и симметричнее самого проводника. Можно взять клубок проволоки и зарядить его. Поверхность проводника – очень сложная. А уже в сантиметре от неё поле практически неотличимо от поля заряженной сферы. Вот почему столь маловажно, какова форма электрона «на самом деле».

§ 5.14. Взаимо- и самоиндукция частиц как основа всякой взаимно- и самоиндукции вообще

Поскольку нами установлено, что элементарные частицы обладают само- и взаимноиндукцией (что проявляется как инерция и дефект масс соответственно), то возникает вопрос: а не являются ли все вообще проявления макроскопической индукции обусловленными индукцией элементарных частиц? Мы отвечаем на этот вопрос утвердительно. Мы утверждаем, что *ускоренно движущиеся элементарные частицы взаимодействуют с другими частицами*, будь то свободные частицы или частицы, находящиеся внутри проводников, и даже внутри диэлектриков. Это взаимодействие не сводится к электростатическому, магнитному или взаимодействию посредством «электромагнитных волн». Это именно *индукционное* взаимодействие. В этом месте в современной физике, к сожалению, зияет дыра. Здесь мы предложим эксперимент, который вполне можно осуществить и который способен доказать только что сделанные утверждения. Возьмём тороидальную катушку с достаточно большим количеством витков и сердечником с высокой магнитной проницаемостью. Выполним обмотку в стиле «пояса Роговского», чтобы минимизировать побочные явления. Подключим катушку к чувствительному усилителю и поместим в электростатический экран. Теперь нам нужно какое-либо заряженное до возможно более высокого потенциала тело (например, металлический шарик) бросить в центр тороидальной катушки так, чтобы оно жёстко ударилось о некое препятствие (например, керамическую вставку) и, следовательно, приобрело в момент удара значительное ускорение. В силу самоиндукции между заряженным шариком и катушкой на выходе усилителя должен быть зарегистрирован импульс, амплитуда которого будет пропорциональна заряду шарика и величине механического ускорения. После этого опыта дальнейшее доказательство взаимноиндукции заряженных шариков элементарно: раз каждый шарик имеет самоиндукцию с катушкой, то они должны иметь взаимноиндукцию и друг с другом (транзитивность). Отсюда возникает интересное следствие: даже если частицы движутся в лабораторной системе равномерно и прямолинейно, но в разных направлениях, то, проходя близко одна мимо другой, будут испытывать кроме электростатических и магнитных взаимодействий ещё и

взаимную индукцию, поскольку расстояние между ними меняется нелинейно от времени, т.е. *ускоренно*. Можно показать, что на малых расстояниях (например, при бомбардировке ядер протонами и нейтронами) влияние взаимоиндукции достаточно велико и его надо бы учитывать, интерпретируя результаты таких опытов.

Литература

1. Трофимова Т.И. Курс физики. Учеб. Пособие для вузов. Издание 9-е, перераб. И доп.- М.: Издательский центр «Академия». 2004. - 560 с.
2. Энциклопедия «Кругосвет». Статья «КАНТ, ИММАНУИЛ».
<http://slovari.yandex.ru/dict/krugosvet/article/e/e8/1011683.htm?text=%D0%BA%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%BF%D0%BE%D0%BD%D1%8F%D1%82%D0%B8%D1%8F%20%D1%81%D0%B8%D0%BB%D1%8B&encid=krugosvet&encid=krugosvet>
3. G. A. Miller, «Charge Densities of the Neutron and Proton», Phys. Rev. Lett. 99, 112001 (2007).
4. Э. Уиттакер. История теории эфира и электричества. Москва. Ижевск. 2001. Перевод с английского.
5. С. Гордюнин. Идеальные проводники и кинетическая индуктивность. Квант 1996/N4. с.40.
6. Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. Лекции по физике. 6. Электродинамика. Глава 28. Электромагнитная масса. с.302-311. М.: Эдиториал УРСС 2004.
7. Бредов М.М., Румянцев В.В., Топтыгин И.Н. Классическая электродинамика. М.: Наука, 1985. с.101
8. А. Зоммерфельд. Электродинамика. М.: Иностранная литература. 1958. с.377-384.
9. Владимир Жданов. МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ Энциклопедия «Кругосвет» <http://slovari.yandex.ru/dict/krugosvet/article/9/92/1011706.htm>
10. Калантаров П. Л., Цейтлин Л. А. Расчет индуктивностей: Справочная книга. - Л. Энергоатомиздат, 1985.

Глава 6. Электрические свойства мировой среды

§ 6.1. Краткая история пустоты

В самом начале зарождения натурфилософии философы уже отделяли вещественные тела (предметы) от того, в чем эти тела находятся, т.е. сред. Вода и воздух были теми основными средами, в которых человек обнаруживал те или иные предметы. Идея *пустоты* как некоей *особой среды* – идея довольно поздняя, поскольку практика древних философов, по всей видимости, вполне удовлетворялась естественными средами: жидкостями, газами, плазмой (в форме пламени) или сыпучими средами, вроде песка (земли). Тем не менее уже у Аристотеля мы находим не просто понятие пустоты, но и философскую дискуссию о её реальности или нереальности. Это говорит о том, что понятие уже как минимум было для его современников не новым. В четвёртой книге «Физики» Аристотеля находим: «Что не существует пустоты как чего-то отдельного, как утверждают некоторые, об этом мы поговорим снова» [3, с. 9]. И далее Аристотель логически убеждает читателя в том, что в абсолютной пустоте невозможно никакое движение (точнее – оно необнаружимо), а следовательно, такой пустоты быть не может. И тут же мы находим рассуждения о крайне разреженных (бестелесных) средах, которые могут заполнять всё мировое пространство. Без сомнения такая среда – прообраз более позднего понятия эфира, или *пленума* (все заполняющего *греч.*). Поскольку для древних было очевидно, что самая «бестелесная среда» есть воздух, то эфир (*плenums*) мыслился как что-то подобное сильно разреженному (как на горных вершинах) воздуху. Демокрит пытался построить атомистическую модель Вселенной (и, конечно, традиционных сред или *стихий*). Он пришёл к идее существования мельчайших, неделимых частиц материи *атомов*, пребывающих в вечном движении в *пустоте*. Таким образом, у греков-атомистов пустота оказалась существенным элементом мироздания. А все среды и тела объяснялись при помощи абсолютно бестелесной пустоты и её абсолютного антагониста – атома. Следовательно, и эфир, мировая среда мыслилась как редкие атомы, носящиеся в пустоте. (Кстати говоря, это представление неплохо соответствует нашим сегодняшним знаниям о межпланетной и межзвёздной среде). Архимед, изучая поведение и вес тел, погруженных в жидкости, пришёл к выводу о том, что более плотная среда стремится занять место менее плотной. Возможно, отсюда пошло убеждение философов в том, что «природа не терпит пустоты». Вплоть до позднего средневековья представления древних ученых, в частности всё того же Аристотеля, довели в философии и практически не претерпели существенных изменений. Идея мировой среды, конечно же, была известна, но эта среда выполняла так мало функций в картине мира того времени, что интересовались ею, по-видимому, единицы. Она была почти не нужна. Н. Коперник и Г. Галилей в значительной мере пошатнули средневековые представления о строении Солнечной системы и Вселенной в целом, заставив многих мыслителей задуматься о *причинах*, порождающих движения небесных тел и о закономерностях этого движения. В частности, об идее *относительности* движения. Почти в это же время Гюйгенс исследовал свойства света и законы его распространения, чем позволил астрономические явления *научно* связать с небесными телами и их движениями. По картине, созданной световыми лучами, оказывается, можно с высокой степенью достоверности судить о том, что же именно создало эту картину. Возникло представление о *светоносном эфире* как мировой среде, передающей свет. Всё это явилось предпосылками для И. Ньютона, выведшего законы движения как небесных тел, так и земных, и заложившего основы современной физической науки. Но даже И. Ньютон мало употреблял понятие о мировой среде, ограничиваясь установлением закономерностей движения небесных тел. Больше внимания этому вопросу уделял Р. Декарт, полагавший, что тяготение тел может быть

объяснено только с привлечением мировой среды, эфира. Он выдвинул гипотезу вихревого движения эфира вблизи тяготеющих тел и предположил, что именно это движение и вызывает «захватывание», притяжение более мелких тел, попадающих в эфирный вихрь. Однако эта гениальная догадка базировалась на «древнегреческих» представлениях об эфире как о *механической* среде. И, конечно же, в такой парадигме оставалось непонятным, почему планеты не тормозятся такой средой и не падают на источник тяготения, в конце концов. Если сила эфирного вихря вблизи Солнца достаточна, чтобы повернуть планеты (весьма тяжёлые тела, как оценил уже сам И. Ньютон и окончательно определил Г. Кавендиш) и направить их по кругу, то почему мы не ощущаем этот «эфирный ветер»? Может быть, атмосфера останавливает его действие подобно тому, как стены дома останавливают действие наружного ветра на его обитателей? Но тогда сравнительно лёгкую атмосферу должно было бы сносить в сторону, и это было бы заметно по наблюдениям за атмосферами других планет (Венеры, например). Астрономические наблюдения не подтверждали таких эффектов.

Однако и само распространение света, сама природа света являла собой для того времени загадку, разрешить которую пытались также при помощи эфира. Гук считал что свет – это волновые колебания в светоносном эфире, и у него было немало аргументов в пользу этого утверждения. Ньютона же обвиняли в том, что у него свет материален, то есть является собой поток материальных частиц, корпускул. Впрочем, Ньютон не настаивал на единственно возможной трактовке. Эфир у него выполнял особую роль – его хаотические движения были причиной тепла.

С тех времён и на долгий срок представления о волновой природе света стали противопоставляться представлениям о его корпускулярной природе, пока этот спор не утомил учёных настолько, что была создана современная парадигма корпускулярно-волнового дуализма. Волновая теория света требовала наличия мировой среды, эфира. Корпускулярная теория, конечно, прекрасно обходилась без него.

К концу XVII века началось интенсивное изучение учёными электрических и магнитных явлений, и, разумеется, эфир и здесь был привлечён для объяснения наблюдаемых явлений. Ещё Гильберт (1540-1603) незадолго до Декарта систематизировал и обогатил средневековые знания о магнетизме, открыв, что Земля является собой намагниченное тело. Декарт пытался и магнитные явления объяснить при помощи эфирных вихрей, считая, что особый, магнитный вихрь выходит из одного полюса магнита и входит в другой. Как видите, у Декарта магнетизм от гравитации отличался лишь особенностями вихревого движения эфира.

Явления электрические в то время были менее изучены, и наука об электричестве ещё не была выделена в самостоятельный раздел. Именно благодаря Гильберту появились представления об *электричестве* и электрической материи. Гильберт пытался ассоциировать электричество с некоей «атмосферой», как бы окутывающей наэлектризованные тела. Не такое уж странное представление! Нелишне вспомнить, например, что свет, после смерти Ньютона, включали в перечень *химических* элементов. Только в последней четверти XVIII века благодаря работам Лавуазье был сформулирован принцип сохранения суммарной массы веществ в химических реакциях. Примечательно и то, что если бы Лавуазье смог бы ещё на пару порядков увеличить точность своих химических экспериментов, то мог бы обнаружить явление дефекта масс при химических превращениях. Но в итоге свет был исключён из списка химических элементов. Похожая история случилась и с теплом. Вначале боролись два представления: о тепле как о хаотическом движении мельчайших частиц тела и тепле как самостоятельном виде материи. Вариантом первой гипотезы было эфирное происхождение тепла как хаотического движения эфирных вихрей. К началу XIX века практически победили концепции самостоятельного «теплого вещества». Примерно такая же история произошла с «электрическими жидкостями», которых сразу же обнаружилось две – янтарная и смоляная. После изобретения в 1745 году Лейденской банки представления об

электрической жидкости, или «эфирном электричестве», получили новый толчок к развитию. Довольно быстро было установлено (Б. Франклин), что «эфирное электричество» присутствует во всех телах и может быть перемещено от тела к телу. Наблюдения быстро привели к тому, что был сформулирован закон сохранения количества электричества. Вообще, рубеж XVIII–XIX вв. богат на всевозможные «законы сохранения», что, видимо, отражает определённый этап становления научного мышления. В конце XVIII века Г. Кавендиш, опережая своё время, сформулировал понятия заряда, электрической емкости, диэлектрической проницаемости и даже потенциала. Однако не все эти открытия были им опубликованы. В это же время интенсифицировались исследования магнетизма, развивались представления о «магнитных жидкостях», например *северной* и *южной*. В конце концов, и в теории электричества победила двухжидкостная теория Ш. О. Кулона. Выяснилось, что электрические жидкости можно разделить, а магнитные – не удаётся. Эта история имеет продолжение и по сей день, когда некоторые учёные пытаются искать так называемые магнитные монополи Дирака. Пуассон придал учению об электричестве математическую форму, подобно тому, как Лагранж сделал это для теории тяготения Ньютона. Выяснилась близость уравнений, справедливых как для тяготеющих тел, так и для тел электризованных. Более того, тот же Пуассон построил математическую теорию для явлений магнетизма. Его работы продолжил Грин. Оставалось буквально несколько лет до формулировки М. Фарадеем понятия «поле». Параллельно трудами А. Вольты и Д. Гальвани было установлено, что электрические явления тесно связаны с химическими. По сути, химическое сродство есть электрическое явление! После установления законов индукции выяснилось, что магнитные и электрические явления также связаны между собой.

Таким образом, к середине XIX века сложилась следующая картина: открыты практически все основные законы электричества, магнетизма, установлена связь химических и электрических явлений, изучена электромагнитная индукция, оценена скорость распространения электрических явлений и скорость света. Предсказано существование «электромагнитных волн», и высказана гипотеза об электрической природе света. И вот тут-то эфир как светоносная среда и эфир как основа магнитных и электрических явлений, а также эфир как переносчик тяготения стали постепенно формировать в головах исследователей единую сущность – мировой эфир. Усилия учёных были направлены на то, чтобы сформировать такие представления об эфире, которые позволили бы свести воедино все разнородные «эфирные» модели, существующие в разных разделах физики. И вот тут начался период «эфиростроительства», продолжавшийся вплоть до начала XX века, да и в XX веке немало было попыток продолжить эту старинную забаву. Поскольку к этому времени наиболее развитым и формализованным разделом физики была механика, то и представления об эфире развивались на механической, а точнее, механистической основе. Пытались все разнообразнейшие явления, в которых, по мнению учёных, принимал участие вездесущий эфир, объяснить либо механическими свойствами, либо механическими движениями эфира.

Одной из сравнительно заметных моделей была модель эфира как чрезвычайно упругого *кристаллического* тела. Коши, Нейман, Грин, Мак-Кулаг отдали дань этой модели эфира. Одним из вариантов развития этой модели явился вращательно упругий эфир, развитый, например, У. Томсоном (лордом Кельвином). Существовала даже модель сжимающегося (неустойчивого) эфира. К моменту, когда Максвелл взялся создавать свою систему уравнений электродинамики, представления об упругом эфире были развиты уже до очень высокого уровня. Ф. Нейман и М. О'Брайен разрабатывали уравнения *движения* эфира. Так что представления Максвелла об эфире базировались уже на весьма обширной традиции. Настоящим достижением того времени являлась идея о том, что эфир как внутри тел так и снаружи обладает одними и теми же свойствами, участвует в движении и взаимодействует с материей (веществом). Нейман и Вебер к середине XIX века, по сути,

подготовили математические формулировки практически всех электрических и магнитных явлений. Этот период был вообще ознаменован расцветом математических теорий электричества, тяготения и эфира. Люди, совершившие это, принадлежали к довольно узкому кругу и неплохо знали друг друга, либо учились вместе в молодые годы. Стокс, Гельмгольц, Фурье, Кирхгоф, Кольрауш, Ом - имена эти хорошо известны и сегодня. Но, разумеется, имя Дж. К. Максвелла стоит особняком. Потому что именно он взялся ответить на вопрос, как именно передаются электромагнитные взаимодействия через пространство (а оно мыслилось заполненным эфиром!). Он отчасти ответил на этот вопрос, он создал систему уравнений, описывающую, как меняются параметры электромагнитного поля при передаче электромагнитных взаимодействий через пространство. Но он так и не объяснил *как именно*, в результате каких таких явлений, и каков конкретный механизм передачи электромагнитных взаимодействий! В 1855 году он сам писал о том, что он пытается создать математическое описание *электростатических* явлений (так это тогда называли), «внимательно изучая законы упругих тел и вязких жидкостей». Позднее, в 1861 году, он заявил о создании «механической концепции электромагнитного поля»! Магнитное поле было представлено вихрями, а электрическое – смещениями мировой среды, эфира. Вот так создавались уравнения Максвелла, которым ныне часто придаётся чуть ли не мистический характер абсолютной непогрешимости. Однако Максвелл, изучая работы Фарадея и создавая свою систему уравнений, *не заметил*, что электрическое поле, порождаемое зарядами, и электрическое поле, порождаемое переменными токами, ведут себя как *разные* поля. Он обозначил их одной буквой и не отличал одного от другого, в то время как уже во времена Фарадея было известно, что *электростатическое* поле можно совершенно *экранировать*, а *электродинамическое* поле, порождаемое движущимся магнитом - *невозможно полностью экранировать*. Впрочем, идеи Максвелла и без этих тонкостей были трудны для понимания современниками. Он, в частности, считал, что все токи замкнуты. Токи проводимости, например, замыкаются токами смещения. Большинство современников Максвелла полагали, что токи, текущие через конденсатор, заканчиваются на обкладках конденсатора. Это же так очевидно! Другой характеристической чертой теории Максвелла является концепция (которой, как мы видели, он обязан, главным образом, Фарадею и Томсону) о том, что магнитная энергия — это кинетическая энергия среды, занимающей все пространство, а электрическая энергия — это энергия натяжения этой же самой среды. Эта концепция привела электромагнитную теорию в такую близкую параллель с теориями эфира как упругого твердого тела, что она должна была вылиться в электромагнитную теорию света. Когда выяснилось трудами Герца и других, что электромагнитные взаимодействия распространяются со скоростью света, когда стали реальностью «электромагнитные волны», предсказанные теорией, то Максвелла принялись наконец-то всерьёз изучать. А изучая – интерпретировать. Электромагнитные явления – это волны в мировом эфире. Ну а как же иначе, раз все электрические, магнитные, гравитационные взаимодействия так или иначе связаны с эфиром? А эфир чаще всего понимался либо как газовая, либо как специфическая упругая среда. Возмущения в таких средах, конечно же, волны. А волны должны иметь характерную скорость распространения. И уравнения Максвелла идеально вписывались в эту систему представлений, а работы Герца, казалось бы, полностью подтверждают справедливость уравнений. Но теория Максвелла предсказывала наличие у электромагнитных волн *механического импульса*, а это уже лило воду на мельницу сторонников корпускулярной теории света. Значительно позднее П. Лебедев блестящими экспериментами подтвердил наличие давления света и, следовательно, наличие импульса у электромагнитных «волн». К тому времени уже было известно о давлении звуковых волн в средах и о том, что звуковая волна способна –таки переносить импульс. К тому времени, когда Максвелл выводил свои уравнения, уже всюду использовался проводной телеграф. Уже существовали наблюдения за поведением тока и напряжения в длинных линиях, и даже телеграфные уравнения были выведены в

ранней своей форме. Телеграфные уравнения оказались вполне волновыми. И неудивительно, как мы теперь понимаем, поскольку в проводниках как раз-то и распространяется настоящая волна - волна плотности электронов. Есть физическая среда (металл), физический носитель (электроны, которые тогда считали «электрической жидкостью»), потенциальная энергия (в областях скопления электронов) превращается в кинетическую энергию их движения (в областях разряжения), и всё так похоже на механику, что слёзы умиления наворачиваются на глаза. Неудивительно, что учёным *хотелось* видеть колебания и волны в самом мировом эфире, который разным научным школам казался то ли газом, то ли упругим телом, но, во всяком случае, полным подобием некоей *механической* среды.

Торжество идей Максвелла привело к тому, что весьма многие учёные обратили свою энергию на построение таких моделей эфира, которые бы согласовывались с его уравнениями и предсказывали бы существование *волн*. Поскольку волны Герца оказались как бы поперечными. Мы говорим «как бы», поскольку в отличие от механических волн, электромагнитные волны с самого начала были несколько «особыми», ибо изменения параметров среды (напряжённостей магнитного и электрического полей) были синфазны, а не сдвинуты на 90 градусов, как во всех механических волнах, изученных доселе. Сразу же всё многообразие моделей эфира разделилось на две основные группы: одна полагала магнитное поле вихревым движением (Томсон), а электрическое - линейным сдвигом, другая, наоборот, считала электрическое поле вихревым явлением, а магнитное - линейным (Гельмгольц). К концу XIX века эти модели приобрели потрясающую изошрённость, поскольку развивали их недюжинные умы и честно старались вместить в них всё многообразие известных на тот момент оптических, электрических и гравитационных явлений. А вопрос-то был не в том, какой род движений эфира представляют магнитное и электрическое поля, а в том, что телега была поставлена впереди лошади. Механические явления следовало бы объяснять электрической природой материи, а не наоборот. Но такая постановка задачи, по-видимому, была решительно невозможна для физиков того времени. Отказать в реальности существования магнитному полю они тоже не могли. Просто потому, что не было достаточных знаний о внутренней структуре вещества, трудно было не то чтобы ясно понять, а даже смутно догадаться, что сила постоянного магнита связана с бешеным движением астрономического количества мельчайших зарядов. Ведь ни заряды эти, ни их движение никак не были видны исследователям. Каких только моделей не напридумывали на тот момент! И пульсирующие вращающиеся сферы, и вихревые кольца в идеальной жидкости (кольца Гельмгольца), сохраняющие индивидуальность. И «вихревая губка» У. Томсона и «спиральный эфир» Фитцджеральда (сейчас бы сказали «торсионный эфир»).

Ни одна из моделей не удовлетворила исследователей даже того времени, не говоря уж о более поздних периодах развития науки. Ближе к концу девятнадцатого века, главным образом, под влиянием Лармора, все признали, что эфир — «среда **нематериальная**, sui generis, и не состоит из опознаваемых элементов, имеющих определенное положение в абсолютном пространстве, структуру». Лармор говорил, что *«мы не должны поддаваться соблазну объяснить простые группы отношений, которые были найдены для определения активности эфира, рассматривая их как механические следствия скрытой в этой среде структуры; нам скорее следует удовлетвориться получением их точного динамического соотношения, так же, как геометрия исследует или соотносит описательные и метрические свойства пространства, не объясняя их»*. Это была вспышка ясного осознания, которая хотя и осветила так сказать, «мировую тьму», но и таила в себе немалую опасность, являясь зародышем будущей «геометризации физики». Незнание никогда не должно возводиться в фундаментальный принцип, в том числе наше незнание эфира. Но незнание следует признавать, и понимать, где именно оно проявляется, чтобы опоры знания не проваливались бы при попытке нагрузить их теми или иными теориями. Благодаря Лармору, некоторые исследователи

сосредоточились не на *подгонке* тех или иных механистических моделей эфира к опытным результатам, а на *выяснении* свойств электромагнитного поля, которое постепенно стало обретать черты реальности в сознании учёных. Так, Пойнтинг, рассмотрев бесконечный прямой провод с непрерывным током, показал, что, в случае изменения тока, перпендикулярно проводу *должна течь энергия*. Энергия всегда течёт там, где есть её материальный носитель. Поистине, он стоял на пороге создания теории движения поля! В [4, с. 373] читаем «...*Пойнтинг, принимая представления Фарадея о физической реальности силовых линий, допустил, что эти силовые линии попадают на свои места, двигаясь наружу от провода; так что магнитное поле растёт, благодаря постоянному испусканию проводом силовых линий, которые расширяются и распространяются, подобно тому, как от брошенного в стоячую воду камня на ее поверхности расходятся круги*». Если бы он заменил слово «силовые линии», по поводу реальности которых всегда были споры, словом «поле» - возможно, всё развитие науки пошло бы иначе... Подобные же рассуждения применялись и к электрическому полю. Дж. Дж. Томсон, например, вообще мало значения придавал магнитным силовым трубкам и склонялся к тому, что электрические явления объяснимы при помощи *движений электрических силовых линий*. И здесь снова физика XIX века стояла на пороге озарения! В [4, с. 374] читаем «...Томсон решил рассматривать магнетизм как *вторичное* действие и объяснять магнитные поля не присутствием магнитных трубок, а движением электрических трубок». Более того, с этой точки зрения луч света можно рассматривать просто как *группу силовых трубок*, которые движутся со скоростью света перпендикулярно своей собственной длине. Такая концепция почти эквивалентна возвращению к корпускулярной теории; но поскольку трубки имеют определенные *направления*, перпендикулярные направлению распространения, объяснить поляризацию теперь не составит труда. Томсон считал, что энергия, сопутствующая всем электрическим и магнитным явлениям, — это, в конечном счете кинетическая энергия эфира; причем ее электрическая часть представлена вращением эфира внутри трубок и вокруг них, а магнитная часть энергией дополнительного возмущения, возникшего в эфире при движении трубок. Дальнейшие исследования пондеромоторных сил показали, что либо эфир способен к движению, либо он только передаёт механические силы (причём мгновенно и без потерь), либо он сам есть носитель механического импульса, имманентно присущего ему. Но, увы, концепция *подвижного* эфира «...не согласуется с теорией эфира, которая была, в целом, получена в конце века...» [4]. Поэтому она и не была рассмотрена всерьёз. Хотя Гельмгольц, например, придерживался именно этой концепции. Герц также очень близко подобрался к правильному пониманию природы электрических явлений, в частности, подобно Амперу, создавшему знаменитую *гипотезу Ампера* о молекулярных токах в постоянных магнитах, предложил "*...принцип «единства магнитной силы» дополнить утверждением о том, что электрическая сила, созданная переменным магнитным полем, по своей природе идентична электрической силе, созданной электростатическими зарядами*". Здесь Герц стоит в одном шаге от объяснения природы элементарных зарядов, даже не будучи уверен в существовании этих самых зарядов. После многочисленных неудач в теоретических попытках доказать правильность теории Максвелла он практическим изучением электромагнитных явлений немало подвинул научный мир к этой цели. Как заметил Лармор, «*открытия Герца не оставили места для сомнений в том, что физическая схема Максвелла представляет собой истинную формулировку единства, лежащего в основе физической динамики*». Выяснилось, что вектора \vec{H} и \vec{E} перпендикулярны направлению распространения «волны» и за поляризацию отвечает именно вектор \vec{E} . Затем последовала новая волна модификации представлений об эфире: стали различать эфир вне вещества и внутри вещества. Пытались говорить, что первый эфир неподвижен, а второй увлекается телами. Стали выяснять, полностью или частично он увлекается. Надеюсь, читатель уже чувствует некоторую занудную повторяемость событий, заключающуюся в том, что как только физики более-менее приходят к какой-то системе представлений об

эфире, следует каскад открытий, заставляющих пересмотреть все эти представления. На сей раз, после объединения электрических и магнитных (и отчасти механических, тепловых и оптических) явлений в одну систему представлений, на горизонте физики замаячила новая концепция - концепция «электромагнитного поля». Пока что оно считалось всего лишь возмущениями в механическом (и даже скорее механистическом!) эфире. Перейдя к описанию электрических явлений для случаев движущихся тел, сред и систем отсчёта, физики немедленно столкнулись с трудностями. По крайней мере, им так показалось. Различные опыты в лаборатории (например, опыты Физо) вроде бы доказывали частичное увлечение эфира движущимися средами. Сейчас мы бы сказали, что не *эфира*, а *света*. Чувствуете разницу? Но тогда разницы не чувствовали. Опыты Физо, казалось бы, противоречили астрономическим наблюдениям, в частности, абберации звёзд. Опыты Майкельсона и Морли, призванные разрешить вопрос об увлечении эфира, показали, что эфир не движется относительно Земли. И снова, мы бы сказали – «свет увлекается», а не «эфир не движется». Пришло бы Вам в голову выяснять, движется камень, лежащий на поверхности, относительно Земли или нет? Стали бы вы делать это, бросая камень по и против движения планеты? Вряд ли. Ибо ответ очевиден. Но вот со светом так поступили! Хотя уже знали (по крайней мере, подозревали), что свет переносит механический импульс, следовательно, в механическом плане не отличается принципиально от камня. В этот же период был открыт носитель электрического заряда *электрон*, и Лоренц построил свою теорию эфира, в котором вечный и неподвижный эфир являлся скорее особого рода *пространством*, чем материальной *средой*. Все электрические опыты подтверждали теорию Лоренца, но она противоречила проклятым опытам Майкельсона! И тут Лоренц выдвигает гипотезу о продольном *сокращении длин* в движущихся телах. Поскольку при движении должны сокращаться *все* длины, в т.ч. и измерительных инструментов, то сокращение Лоренца оказалось *непроверяемым*. Взгляните: неподвижный, лишённый материальности эфир обрёл ещё и непроверяемое свойство сокращать длины тел при их движении. Отсюда буквально полшага до идеи Эйнштейна о том, что никакого эфира нет вообще, а его роль выполняет *пространство* и это пространство можно изучать чисто *математически*! Уставший от многовековых попыток понять природу эфира разум отказался от борьбы, уходя в сторону чистого теоретизирования.

В начале XX века работами Лоренца, Эйнштейна, Пуанкаре и других была создана теория относительности, в которой был провозглашен отказ от эфира, а его функции были переложены на «пространство – время». В электродинамике же окончательно сформировалась концепция «электромагнитного поля», распространяющегося «само в себе», так сказать, в соответствии с уравнениями Максвелла и по законам теории относительности. Эфир, казалось бы, умер!

Увы, как мы видели уже многократно, как только «умер эфир» почти тотчас же обилие новых опытных фактов привело к созданию квантовой механики и квантовой же электродинамики в первой трети XX века, в которой эфир *de facto* вновь возрождается, то в виде «моря Дирака», то в виде «квантовых осцилляций пространства». Позднее его место занимают многообразные концепции «физического вакуума». Сегодня модны теории струн и суперструн. Теории «мира на бране» и дробномерного мира. Так что «пустота», которой, конечно же, нет, как и доказывал Аристотель, которая суть эфир, мировая среда или *пленум*, продолжает играть важнейшую роль в познании мира и в современных физических теориях.

Нам не удалось обнаружить среди теорий эфира прошлого времени чисто *электрический* эфир, не сводящийся к механическим структурам, но и не скатывающийся в чистую умозрительную геометрию, оторванную от практики. Ну что же, возможно именно на этом пути, на пути *электрического эфира*, будет-таки, после длительной стагнации, достигнут подлинный прогресс в понимании мироустройства.

§ 6.2. *Мировая среда и психологическая инерция*

Как видно из исторического обзора, данного в предыдущем параграфе, мировая среда *почти* всегда мыслилась неподвижной. Почему? Возможно, идея Бога в той или иной форме оказывалась настолько перекликающейся с идеей всезаполняющей мировой среды, что подсознательно хотелось приписать ей некие божественные атрибуты. Величественная неподвижность вездесущего эфира – в этом что-то есть. Если бы во времена Аристотеля творил Эйнштейн, он наверняка одарил бы «древних греков» идеей, что эфир неподвижен даже относительно движущихся тел. Мировая среда, кроме неподвижности, почти всегда мыслилась с весьма малой, но ненулевой плотностью. Это было так естественно, ведь всё, чего касался человек за долгие века развития науки, имело хоть какую-то плотность. То есть всё имело вес и инерцию *движения*. Ведь именно это означают слова «ненулевая плотность». Если эфир *неподвижен*, то инерция никак не проявится, и можно говорить только о его гравитационных свойствах, т.е. весомости. Скажите, разве учёные знали, что такое масса, тем более масса гравитационная, чтобы приписывать её эфиру и рассуждать о его плотности? Наука и по сей день не может дать вразумительного ответа на вопрос, что же такое масса. Значит, массовую плотность эфиру приписывали просто по инерции, по инерции мышления. Но, согласитесь, неподвижность эфира как-то плохо вяжется с представлениями о его ненулевой плотности. Ведь плотное вещество всегда имеет структуру, и ему, хотя бы внутренне, присуще движение, хотя бы микроскопическое. Чтобы согласовать интуитивные представления друг с другом, пришлось заявить, что эфир очень упругий. Лёгкий, неподвижный, но упругий. То есть немножко движущийся. Чуть-чуть. Странная среда, согласитесь, которая может двигаться в малом, но не может двигаться в более крупном масштабе. А что ей мешает? Непонятно. По мере изучения электрических и магнитных явлений выяснилось, что эфир свободно проникают магнитные и электрические «поля». То есть пустота, вакуум, эфир не препятствуют электрическим и магнитным взаимодействиям. Хотя препятствуют, например, передаче тепла и звука. Были определены диэлектрическая и магнитная проницаемости вакуума. Казалось бы – учёные наконец-то начали изучать эфир. Получили целых две характеристики! Затем от электрического и магнитного полей отказались в пользу единого электромагнитного поля, а электрические и магнитные свойства вакуума так и остались электрическими и магнитными. По логике вещей, объединив два поля в одно и установив, что характеристикой вакуума (эфира) по отношению к нему является скорость распространения возмущений (скорость света), надо было бы отказаться от двух предыдущих характеристик в пользу одной новой. Ан нет, ограничились тем, что установили связь скорости света с диэлектрической и магнитной проницаемостями. Так вот, оказывается, что! Учёные-то думали, что твёрдо установлены аж целых три электрических характеристики вакуума, а на поверку-то оказалось, что всего *одна*. Мы считаем, что всего одна – диэлектрическая проницаемость. Магнитная проницаемость не физическая величина, а всего лишь размерный коэффициент. Тогда скорость света – это просто некоторое математическое преобразование диэлектрической проницаемости. Неплохой вывод! Он требует, чтобы мы хотя бы поискали, как скорость света определяется диэлектрическими свойствами эфира (вакуума). Эйнштейн, создав Общую теорию относительности, позволил пространству (т.е. эфиру, мировой среде) искривляться. Но, кажется, нигде не высказал идею о том, что пространство может *двигаться*. Простите великодушно, но нам непонятно, как можно *искривиться, не двигаясь*? А разве более поздняя идея расширяющегося пространства не из той же серии? Как можно расширяться, не двигаясь?! Почему учёные умы, даже выдвигая столь революционные идеи, не посмели в явном виде позволить пространству (эфиру, вакууму, *пленуму*) двигаться?! Возможно, мешали какие-то очень глубокие свойства человеческого

разума. А может быть, в геометризованной физике позволить пространству двигаться затруднительно, ибо непонятно, как ответить на вопрос, *в чём именно* оно двигается. В другом пространстве? А что! Идея вложенных пространств, в которых каждое пространство движется внутри другого.... Так сказать, апофеоз релятивистских концепций. Мы просим прощения у читателя за сарказм, но не проще ли пространство оставить пространством, а движение приписать мировой среде?

Итак, мы выяснили, что не надо делать с эфиром, поскольку это ни к чему хорошему не привело: не надо запрещать ему двигаться, не надо считать его чем-то известным, вроде газа или кристалла, не надо подменять его математическими понятиями. Но в плане того, что же мы в итоге имеем, каковы наши твёрдо установленные знания, наш улов оказался весьма небогат.

§ 6.3. Твёрдо установленные свойства вакуума

Здесь и далее мы будем говорить именно о свойствах эфира (вакуума, *плenums*), а не сверхразреженного газа, именуемого «межзвёздной средой». Выходит так, что твёрдо установленных свойств вакуума (мировой среды, эфира, *плenums*) крайне мало. Перечислим:

- Диэлектрическая проницаемость $\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} [\Phi / м]$ (способность приходить в возмущение вблизи зарядов и передавать воздействие одного заряда на другой).
- Нулевая массовая плотность там, где напряжённость электрического поля отсутствует, равна нулю (именно напряжённость, а не поле вообще, как таковое!).
- Неограниченная подвижность.
- Практически безграничная делимость.
- Отсутствие магнитных свойств (нет эффекта Фарадея, т.е. вращения плоскости поляризации света в магнитном поле, магнитная проницаемость содержит π).
- Отсутствие сколь-нибудь заметного механического трения.
- Отсутствие теплопроводности.
- Высочайшая прозрачность для всех типов излучений.

Увы, увы... Учитывая, что это весь улов за почти три тысячелетия (по крайней мере, так считает официальная историческая наука) – фантастически мало. Исследуя явления индукции и самоиндукции на основе представлений о движении поля, мы пришли к выводу, что эфиру можно было бы приписать ещё *одно* твёрдо установленное свойство. Дело в том, что когда в эфире *ускоренно* (подчёркиваем, не равномерно и прямолинейно, а ускоренно!) движется заряд конечных размеров, то *эфир оказывает ему сопротивление*. Сила этого сопротивления прямо пропорциональна ускорению, квадрату величины заряда и обратно пропорциональна линейному размеру заряда, умноженному на постоянный коэффициент. Поскольку заряд – это электрическое поле, а поле есть возмущение в эфире, то возмущения эфира движутся в эфире равномерно и прямолинейно до тех пор, пока внешняя сила не окажет на них воздействие. *Коэффициент*, о котором мы говорим, равен в СИ:

- Коэффициент сопротивления ускорению зарядов $\psi = \frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7} [\Gammaн / м]$.

Это число уже не содержит π (поскольку «пи» содержалось в определении «магнитной проницаемости вакуума») и, возможно (мы пока даже не настаиваем), является *настоящей* физической величиной.

§ 6.4. Возможные свойства вакуума. Места для закрытий

Забегая вперёд, скажем, что кроме немногочисленных твёрдо установленных свойств вакуума (эфира) существуют свойства, обнаруженные пока лишь «на кончике пера» и являющиеся пока всего лишь предметом размышлений и дискуссий, а не опытной проверки. Речь идёт о двух свойствах, которые многое бы объяснили, но весьма трудны для обнаружения. Это крайне слабая, но ненулевая *поляризуемость* эфира (зависимость диэлектрической проницаемости от напряжённости электрического поля) и крайне слабая, но ненулевая *частотная дисперсия диэлектрической проницаемости*. Первая величина позволяет невероятно красиво и последовательно объяснить явления гравитации. Вторая, возможно, проливает свет на так называемое красное смещение удалённых галактик. Обе они относятся к *вариабельности* твёрдо установленной характеристики эфира ϵ_0 . Нами будет установлено в главе 7, что

- Поляризуемость эфира $\eta = 1.647 \cdot 10^{-64} [\text{м/В}]$.

В первом случае вариабельность диэлектрической проницаемости вакуума заключается в зависимости от напряжённости электрического поля, во втором – от его частоты. Если эти величины, характеризующие эфир как диэлектрик, не равны нулю, то тогда придётся закрыть «гравитационное поле», как ненужную более сущность, возможно, отказаться от «разбегания галактик» и, соответственно, моделей эволюции Вселенной, основанных на Общей теории относительности Эйнштейна. Раз нет разбегания (а его существование базируется всего на одном *единственном* явлении смещения спектральных линий удалённых астрономических объектов), то нет причин спекулировать на тему эволюции Вселенной. Возможно, у диэлектрической проницаемости эфира есть ещё и ничтожно малая *мнимая часть*, отвечающая за поглощение энергии излучения. Ну, тогда и «фотометрический парадокс» благополучно разрешится. (Фотометрическим парадоксом именуют противоречие между реально наблюдаемым чёрным ночным небом и серым небом, которое предсказывается моделью безграничной и абсолютно прозрачной Вселенной). Далее мы будем говорить об этих вопросах более подробно и доказательно. Пока же отметим, что объявление эфира диэлектриком оказалось весьма и весьма плодотворным гносеологически, поскольку даже просто по аналогии позволяет предположить наличие явлений, характерных для всех известных диэлектриков: втягивания по градиенту, поляризации, частотной дисперсии, поглощения и т.д. и т.п.

Литература

1. Т.И.Трофимова. Курс физики. 9-е издание. – М.: Издательский центр «Академия», 2004 г.
2. Б. М. Яворский, Ю. А. Селезнев. Справочное руководство по физике. Для поступающих в вузы и для самообразования. М.: «Наука», 1989 г.
3. Голин Г. М. Хрестоматия по истории физики. Классическая физика. Мн.: Выш. школа, 1979.
4. Э. Уиттакер. История теории эфира и электричества. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». 2001. Перевод с англ.
5. Ред. И. И. Боргман, Новые идеи в физике. Непериодич. изд. Сборник второй. Эфир и материя. Из-во «Образование», СПб, 1911 г.

Глава 7. Гравитация как электрическое явление Тяготение тел. Гравитационная масса

...В обозримом будущем мы можем надеяться достигнуть если не «механического объяснения», то, во всяком случае, сведения гравитации к электрическим силам. для единства нашего мировоззрения этот шаг будет иметь чрезвычайно важное значение.
Вальтер Ритц. Собрание сочинений. Париж, 1911, с. 462-477..

§ 7.1. Введение в проблему

Со времён И. Ньютона (1642-1727) тяготение являло собой тайну тайн мироздания. Впервые в виде, близком к современному, этот закон был опубликован И. Ньютоном [9, с. 65] в «Математических началах натурфилософии» (1687). Закон всемирного тяготения, многократно проверенный и широко используемый более *трёхсот* лет, казалось бы, носит абсолютный характер. Согласно этому закону, любые два тела, обладающие массами m и M , будут притягиваться друг к другу с силой, прямо пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними [3]:

$$F = G \frac{mM}{r^2},$$

где коэффициент пропорциональности $G = 6,67428 \cdot 10^{-11} \text{ [м}^3 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1}\text{]}$, или $[\text{Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2}]$ [5] именуется гравитационной постоянной. Со времён Г. Кавендиша (1731-1810) значение этой величины не претерпело больших уточнений [5], как и сам Закон всемирного тяготения. Но закон ничего не говорит нам о *механизме* возникновения притяжения между массивными телами! Совершенно неясны *причины*, по которым два, во всех смыслах, казалось бы, нейтральных тела должны притягиваться друг к другу. Заявление, что всякое тело создаёт вокруг некое «гравитационное поле», это всего лишь другая форма *декларации* факта взаимопритяжения тел. Ведь по-прежнему мы ничего не понимаем! Зачем надо было вводить новую непонятную сущность для объяснения другой непонятной - непонятно. А. Эйнштейн сделал ещё шаг на этом пути в непонятное, объявив, что тяготение есть результат искривления пространства-времени. Излишне говорить, что ничего не прояснилось в результате. Гравитационное «поле» (т.е. читай - *взаимодействие массивных тел*) не удаётся ничем и никак экранировать, в отличие от электрического и магнитного полей. Загадочно и непонятно! Тяготение массивного тела (например, Земли) придаёт всем телам *одинаковое ускорение*, так что с одинаковой высоты они падают на Землю (в вакууме, разумеется, когда ничто не мешает падать) с одинаковой *скоростью*. Странно и удивительно! К тому же масса тел, стоящая в законе всемирного тяготения, оказывается в точности равной массам, стоящим во втором законе Ньютона. Говорят, что *гравитационная масса* равна массе *инерционной*. Почему, откуда, как это получается? А. Эйнштейн даже взял этот факт в качестве *постулата* своей общей теории относительности (ОТО).

Сам И. Ньютон не отыскивал *причин* тяготения тел, ограничиваясь обыкновенно заявлением, что он-де «гипотез не измышляет». Однако измыслил же он *всемирность* тяготения, хотя никак не мог проверить свой закон на *всех* телах во Вселенной! Ещё до Ньютона Рене Декарт (1596-1650) отыскивал причины тяготения и находил их. Отрицая «пустое» пространство, Декарт провозглашал существование всепроникающей «тонкой материи», *плenums* («все заполняющего» греч.). Не поддаваясь воздействиям, тонкая материя сама обладает действиями: теплом, светом и тяготением. Вес (тяготение) по Декарту есть *свойство движения тонкой материи*. Мы восхищаемся гениальным

прозрением учёного, который верно угадал существенную *часть* механизма тяготения, каким мы его сегодня понимаем. К сожалению, пренебрежение опытом, как источником познания, не позволило ему продвинуться дальше. В конце концов, он провозгласил, что Вселенная состоит из вихрей тонкой материи и всякое небесное тело окружает вихрь. Поэтому планеты движутся вокруг Солнца в этом вихре, и, соответственно, их траектории просто отражают структуру вихрей. Отсюда один шаг до Эйнштейнова «искривления» пространства. То есть он бессознательно приписал своей *тонкой* материи свойство *захватывать* обычную, зримую материю при движении. А почему нет? Это казалось таким естественным! Однако, верный себе, он даже не подумал как-либо **проверить** это утверждение. Сегодня нам хорошо известно [9], что *равномерное* движение в вакууме (эфире, *пленуме*) не производит *никаких* заметных в эксперименте действий. То есть «захватывания» материи в этом случае нет. Подобие эффекта «захватывания» проявляется лишь в случае *ускоренного* движения обычной материи относительно «тонкой». Странно, что Декарт даже не поставил вопрос о том, может ли, наоборот, тонкая материя захватываться материей зримой. По-видимому, этот вопрос был запрещён самой метафизикой Декарта, согласно которой тонкая материя не подвержена воздействиям. Т.е. носит атрибуты самого Бога! Но нам-то никто не запрещает поставить такой вопрос. Ну так что ж? Коль скоро ускоряемая материя «цепляется» за эфир, то, быть может, и ускоренный эфир «цепляется» за материю? Может ли зримая материя воздействовать на вакуум? Нам представляется, что нет в мире никакого действия без соответствующего противодействия. Соответственно, коль скоро эфир может влиять на материю, изменяя её движение, то и материя должна столь же успешно влиять на эфир (вакуум, *пленум*).

Напомним, что из закона всемирного тяготения довольно строго выведено несколько следствий, которые хорошо *проверены* за истекшие века. Во-первых, *все* тела, *независимо* от массы, плотности, размера и состава, свободно падая на Землю (или иное небесное тело) из очень удалённой точки (бесконечно удалённой), приобретают одинаковое *ускорение* и одинаковую *скорость*. Во-вторых, ускорение свободного падения *убывает* обратно пропорционально квадрату расстояния от центра гравитирующего тела. Тела падают на Землю радиально, если у них не было начальной скорости. Брошенные от Земли тела испытывают *замедление*, численно равное ускорению падающих тел. Все эти факты известны давно, и все они один за другим были полагаемы в основания тех или иных теорий тяготения в прошлом. Мы используем их несколько иначе. Для начала рассмотрим вопрос, а что произойдёт с падающим на Землю телом *предельно малою* *веса*?

Уже во времена Ньютона вполне можно было бы поставить такой вопрос и увязать его с вопросом о возможности *падения* на Землю *невесомого пленума* (эфира, вакуума). Дело в том, что в те времена (кстати, как и сейчас!) мало кто верил в *полную* невесомость эфира. Полагали, что его плотность просто крайне мала. Но тогда тем более имело бы смысл ставить вопрос о падении эфира! Правда, не исключено, что учёные умы ставили такой вопрос на секундочку, но тут же на него поспешно и отвечали, что эфир не падает, как и воздух не падает на Землю, а в нём лишь создаётся градиент давлений. Это вполне очевидный ответ для тех, кто мыслит эфир всего лишь сверхразреженным газом, в котором происходит взаимодействие каких-то частиц, имеют смысл слова «давление» и «температура». То есть с такой точки зрения эфир нижних слоёв останавливает вышележащий эфир в падении на Землю. А сама Земля останавливает нижние слои. Излишне и опасно заходить столь далеко в рассуждениях, когда никак не проверена исходная посылка, что эфир есть просто разреженный газ. Мы постараемся избежать подобных ловушек. Мы *не назначим* эфиру никаких агрегатных состояний и не припишем ему никаких свойств, помимо тех, что легко проверяются *опытом*. На наш взгляд, «эфир в себе», эфир как таковой не имеет *никакой* плотности. *Пленум* не взаимодействует сам с собой, не взаимодействует с равномерно и прямолинейно движущейся материей (т.е. с зарядами, поскольку незаряженной материи не существует [1]) и не может быть ничем

остановлен. В механике он был бы не обнаружим вообще, если бы не инерция тел. В электродинамике он также проявляется лишь при попытке «возмутить» его электрическим полем. Эта его способность возмущаться отражена в понятии диэлектрической проницаемости вакуума. Кроме того, определённым образом реагирует на ускоренное движение зарядов. Эта его способность выражается магнитной проницаемостью вакуума делённой на 4π . Если бы эфир (вакуум, *пленум*) не участвовал в электрических взаимодействиях, то нам трудно себе представить, как бы заряд воздействовал на другой заряд «через ничто». Другое дело, что доселе большинство учёных мыслило «невозмутимый» эфир, который лишь передаёт какие-то силовые взаимодействия, а сам остаётся индифферентным, подобно Декартовому *пленуму*. Нам же представляется, что всякий заряд (а следовательно, и всё, что состоит из зарядов) *деформирует* вакуум, изменяет его свойства. Вот такой деформированный вакуум обычно называют «полем» и считают его самостоятельной сущностью. Легко понять, откуда это пошло: недеформированный, «чистый» вакуум, «эфир в себе» вообще невозможно обнаружить. Мы всегда имеем дело на практике с так или иначе *возмущённым* эфиром. Однако вряд ли кто-то станет отрицать, что такие характеристики, как магнитная и диэлектрическая проницаемость вакуума, существуют объективно. Не могут объективные физические характеристики существовать у нематериальных субстанций. Следовательно – вакуум (эфир, *пленум*) вполне материален. Материальность же возмущённого вакуума («полей») уже, вроде бы, и доказывать никому не надо. То есть наше мнение таково, что во Вселенной существует вакуум (эфир, *пленум*) как таковой, а также существуют его конкретные возмущения, именуемые полями. Подобно тому, как существует на Земле океан, а также существуют в нём и волны, и течения, и звуковые колебания. Они не тождественны самому океану, но и не могут без океана существовать. Посмотрим, приведёт ли эта наша позиция к прояснению проблемы тяготения.

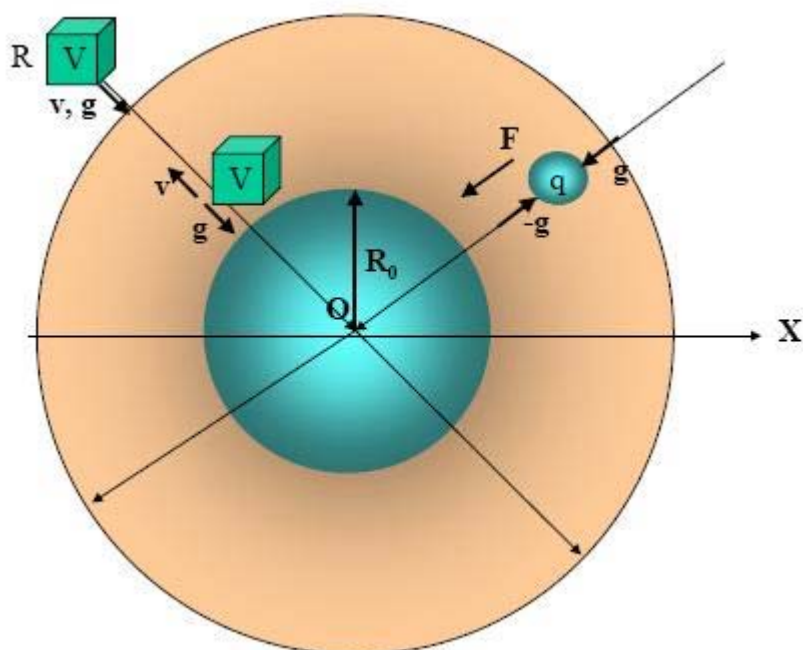


Рис. 7.1. Ускоренное движение среды вблизи «гравитирующих» тел и результат, производимый этой средой на неподвижное заряженное тело конечных размеров

§ 7.2. Падение тела бесконечно малой массы на источник тяготения

Согласно законам Ньютона, пробное тело *любой* массы, падающее из удалённой точки R (рис. 7.1) на источник гравитации, размещенный в точке O , приобретёт ускорение g , равное ускорению свободного падения на поверхности гравитирующего тела [3].

$$(7.1) \quad g = -\frac{d\varphi}{dr} = -\frac{GM}{R_0^2}, \text{ [м/с}^2\text{]},$$

где G – гравитационная постоянная, M – масса гравитирующего тела, R_0 – радиус источника гравитации.

Кроме того, это тело приобретёт скорость v , равную второй космической. Рассмотрим элементарный объём вакуума V (эфира, мировой среды), находящийся на бесконечном удалении. Как мы отметили ранее в главе 1, эфир как таковой, не будучи возмущённым электрическим полем, имеет нулевую плотность массы. Такой «эфир в себе» недоступен для наблюдения. Реальный же эфир (мировая среда, *плениум*) всегда хоть в малейшей степени возмущён полями и, таким образом, имеет хотя и ничтожную, но не равную абсолютному нулю массу. Масса эта переменна, поскольку индуцирована зарядами, и может быть практически любой! Вот в чём ещё одна существенная разница с предыдущими теориями.

Считая некую произвольно выбранную область V (рис. 7.1) телом бесконечно малой массы и применяя закон тяготения Ньютона, получим, что он должен падать, скажем, на Землю и притом приобрести ускорение g и скорость v_2 .

$$(7.2) \quad v_2 = \sqrt{2gR_0} \text{ [м/с]},$$

где R_0 – радиус Земли.

Большой ошибкой предыдущих исследователей было явно или неявно *приписывать* эфиру свойства газа, жидкости, кристалла или иного агрегатного состояния *вещества*. Эфир (вакуум, мировая среда) не вещество. Он – основа, материал для изготовления вещества, вещество может быть создано из эфира, но сам эфир подчиняется иным законам, возможно, более фундаментальным, нежели зримая нами материя. Инерция мышления останавливала (и по сей день останавливает) многочисленных исследователей [10], [11], которые пытаются понять взаимодействие между эфиром и материей, материальными телами. На сегодняшний день нам известно о *строении* вещества намного больше, чем Ньютону. Да и о *свойствах* вакуума (эфира, мировой среды) известно несколько больше. Материя, по современным физическим представлениям, состоит из крохотных (порядка фемтометра) заряженных элементарных частиц, расположенных друг от друга на расстояниях, в тысячи раз превосходящих их собственные размеры. То есть фактически, зримая, твёрдая материя – пуста. Гораздо более пуста, чем самая рыхлая губка или вата. Что же находится *между* элементарными частицами материи? Считается, что это – вакуум (эфир, мировая среда). Иногда говорят, что между частицами находятся их *поля*. То есть, получается, что мировая среда (*плениум*, эфир, вакуум) *свободно* проходит сквозь материю любой мыслимой нами плотности. Нет бутылки для вакуума! Не существует способа остановить вакуум, изолировать один вакуум от другого. Как только мы это осознаём, так тут же встаёт второй вопрос – а можно ли перемещать вакуум (эфир)? И тут цепочка рассуждений проста – могу ли, к примеру, я двигаться относительно того вакуума, который находится между атомами стола? Скорее всего, да, стоит мне сделать шаг. Иначе мне придётся признать, что вакуум внутри стола двинулся вслед за мной. Тогда он двинулся если не относительно меня, то уж относительно стола точно! Да и как он узнал о моём существовании? Значит, я (хотя бы в

принципе!) могут двигаться относительно вакуума. В соответствии с Аристотелевой логикой, это означает, что и вакуум может двигаться относительно меня. Остаётся сделать ещё всего один шаг - *сообразить*, что вакуум может двигаться относительно *самого себя*. То есть - другого вакуума. Например, вакуум внутри меня (по крайней мере возмущённый вакуум) движется вместе со мной и, следовательно, движется относительно того вакуума, который внутри «неподвижного» стола. А разве это так уж удивительно? Разве нет течений в океанах, когда вода движется относительно воды? Разве нет ветров в атмосфере? Воздух движется относительно воздуха. И даже твёрдые тела, деформируясь, движутся относительно самих себя! Таким образом, мы позволили вакууму (эфиру, мировой среде) двигаться и двигаться по-разному в разных частях Вселенной. Очень похоже на воду и воздух, скажете вы? Стоп! Вот тут появляется отличие от воздуха или воды. Струя воды может быть *остановлена* либо твёрдым телом, либо *струёй той же воды*, текущей навстречу. А вакуум (эфир, *пленум*) нет! Никакая материя не остановит вакуум. А два потока эфира, направленные навстречу друг другу просто *протекут* друг через друга безо всякого взаимодействия. Вот где следует разрушить инерцию мышления! Точности ради надо сказать, что возмущённый эфир (поле), двигаясь относительно другого возмущённого эфира (поля), всё-таки может испытывать определённое взаимодействие. Но только в том случае, если движение их *взаимно-ускоренное!*

Следует осознать, что ускоренно падающий на Землю эфир (вакуум, *пленум*) не будет ни «давить» на предметы за счёт своей скорости и плотности (как полагали многие разработчики эфирных теорий гравитации), ни «накапливаться» в центре планеты, а просто *пролетит насквозь* и вылетит с другой стороны, продолжая двигаться столь же радиально, как и прилетел, но уже с *замедлением*. В то же время, с другой стороны планеты *влетает* такой же эфир и ровно под действием тех же законов. Что мы получим? Мы получим, что на поверхности планеты **одновременно** присутствуют два потока эфира – нисходящий и восходящий (рис. 7.1.). Между ними *нет* взаимодействия, так как скорость не вызывает взаимодействия вообще, а *взаимного* ускорения у них нет. Скорости их равны v_2 , поэтому суммарная скорость близка к нулю и все эксперименты по обнаружению вертикального движения эфира на поверхности планеты дали и, вероятно, дадут в будущем нулевой результат. Иная ситуация возникает с *ускорением*. И для нисходящего, и для восходящего эфирных потоков ускорения (относительно Земли) будут *равны* и *сонаправлены*, а именно – направлены к центру Земли *О*.

Следует отметить для полноты изложения, что возможно ещё и *другое* движение эфира, приводящее ровно к тем же результатам, - это круговое движение. Если эфир (вакуум, *пленум*) движется вокруг центров масс гравитирующих тел таким образом, что его центростремительное ускорение в каждой точке равно ускорению свободного падения в этой точке, то все дальнейшие рассуждения также будут справедливы. Так, или примерно так полагал Р. Декарт во времена И. Ньютона. Разумеется, при круговом движении потоки вакуума, движущиеся «по часовой стрелке» такие же, как движущиеся «против часовой стрелки», поскольку не видно никаких причин избрать преимущественное направление. Однако, такое движение требует, чтобы угловая скорость вращения таких «эфирных вихрей» убывала бы прямо пропорционально аж кубу расстояния. Никаких запретов на такое поведение «эфирных вихрей», конечно, нет, но нам проще размышлять в терминах первой модели движения, в терминах «падения».

Далее мы покажем, что *только* ускорение и играет существенную роль в явлениях тяготения, а скорость как таковая никак на них не отражается, поэтому значение модели движения эфира вблизи гравитирующих тел вспомогательное.

§ 7.3. Взаимодействие сферического заряда с ускоренно падающим эфиром

Мы ранее в главе 5 рассмотрели причины *инерции*, изучая ускоренное движение зарядов конечного размера в вакууме, эфире. Мы пришли к выводу о том, что всякий заряд конечных размеров сопротивляется ускорению в вакууме (или ином диэлектрике), и это сопротивление воспринимается нами как «инертная масса». В случае тяготения ситуация оказывается инвертированной – заряд неподвижен (относительно планеты), а эфир (вакуум, *пленум*) ускоренно движется. Нетрудно догадаться, что и здесь имеет место **взаимное ускоренное движение** эфира и заряда. Достаточно представить систему отсчёта, связанную с падающим элементом вакуума V . Как и в случае с инерцией, мы обнаружим действие силы F , направленной *против* причины, вызвавшей ускорения **заряда относительно эфира**. Но ведь мы инвертировали систему! Следовательно, ускорение заряда относительно эфира – противоположно ускорению эфира относительно заряда. Следовательно, наша, хорошо уже знакомая, электродинамическая сила F (вызванная самоиндукцией) будет **сонаправлена** с вектором ускорения эфира g . Таким образом, сила, действующая на пробный заряд q со стороны падающего эфира, полностью **эквивалентна** силе, действующей на ускоряемый с ускорением $-g$ заряд.

$$(7.3) F = -\frac{\mu_0 q^2}{8\pi \cdot r_0} \cdot (-g) = \frac{\mu_0 q^2}{8\pi \cdot r_0} g \text{ [Н]},$$

где r_0 – радиус элементарного заряда, μ_0 – так называемая «магнитная проницаемость» вакуума.

Это открывает новый взгляд на тяготение и гравитационные явления. Все гравитационные явления, оказывается, связаны с давно квазиустановившимися ускоренными потоками эфира вокруг тяжёлых тел. Материальные тела, состоящие из зарядов, просто оказываются ускоренными *относительно* этих потоков и, как следствие, подвержены действию электродинамической силы F , силы *инерции*, доселе принимавшейся нами за таинственную «силу гравитации». Отсюда очевидна бесплодность попыток поиска «гравитационных волн». Гравитация не связана с каким-либо специфичным «гравитационным полем» и не может быть «волновым» явлением. Это позволяет снять целый ряд «проклятых» вопросов, в частности вопросов, связанных с якобы конечной скоростью распространения гравитационного взаимодействия. Чтобы тело, например Земля, двигалось по своей орбите вокруг Солнца, вовсе не надо им обмениваться загадочными гравитонами и тратить на это по 16 минут на каждый обмен. Земле просто достаточно находиться в тех эфирных потоках вблизи Солнца, которые уже очень много лет как устойчиво установились. Что и происходит. Траектория Земли определяется совместно ускоренными потоками эфира вблизи Солнца и инерцией самой Земли. Поэтому и нет никаких релятивистских гравитационных явлений во взаимодействиях планет и светил. Принцип же эквивалентности следует понимать в совершенно новом свете – не как равенство двух характеристик материальных тел (инертной и гравитационной масс), но как единство физического **механизма**, порождающего такие **явления**, как инерция и тяготение.

§ 7.4. Механизм ускоренного движения эфира вблизи зарядов и масс

Какова же *причина*, приводящая эфир в движение вблизи тяготеющих масс? Несомненно, та же самая, которая приводит его в движение вблизи каждого протона или электрона. Причина должна быть электрической, как догадывались многие гениальные умы. И такая причина оказалась вполне тривиальной и, в сущности, известной уже более

столетия. Выводя явления тяготения из электродинамических и механических представлений, мы не рассматривали отдельно тот факт, что вблизи столь геометрически малых зарядов, как протоны и электроны электрическое поле не только весьма велико по напряжённости, но и весьма **неоднородно** по пространству. Однако же всё это имеет место быть. В электродинамике давно и хорошо известен эффект **втягивания** любого диэлектрика в **неоднородном** поле **по градиенту** поля [2], [6]. А разве эфир (вакуум, пленум) не является диэлектриком?! Безусловно, является. Он даже технически используется именно как наилучший из всех известных диэлектриков в вакуумных конденсаторах. Он также *может* втягиваться источниками неоднородного электрического поля. Это вполне вероятная причина, приводящая эфир (вакуум, пленум) в движение вблизи зарядов, а следовательно, и макроскопических тел, состоящих из множества тех же микроскопических зарядов. Следовательно, взаимодействие между двумя гравитирующими телами происходит по механизму **элементарные заряды тела 1 – эфир – элементарные заряды тела 2**. И, разумеется, в обратную сторону. Такой взгляд проясняет, почему все предыдущие попытки объяснить гравитационное взаимодействие прямыми электродинамическими взаимодействиями зарядов потерпели неудачу. Среда (эфир, вакуум) является принципиально необходимым элементом для воссоздания картины такого лёгкого для наблюдения и столь трудного для понимания явления, как тяготение.

Покажем теперь простой и красивый **механизм** возникновения **ускоренного движения** эфира (вакуума) вблизи заряженных тел.

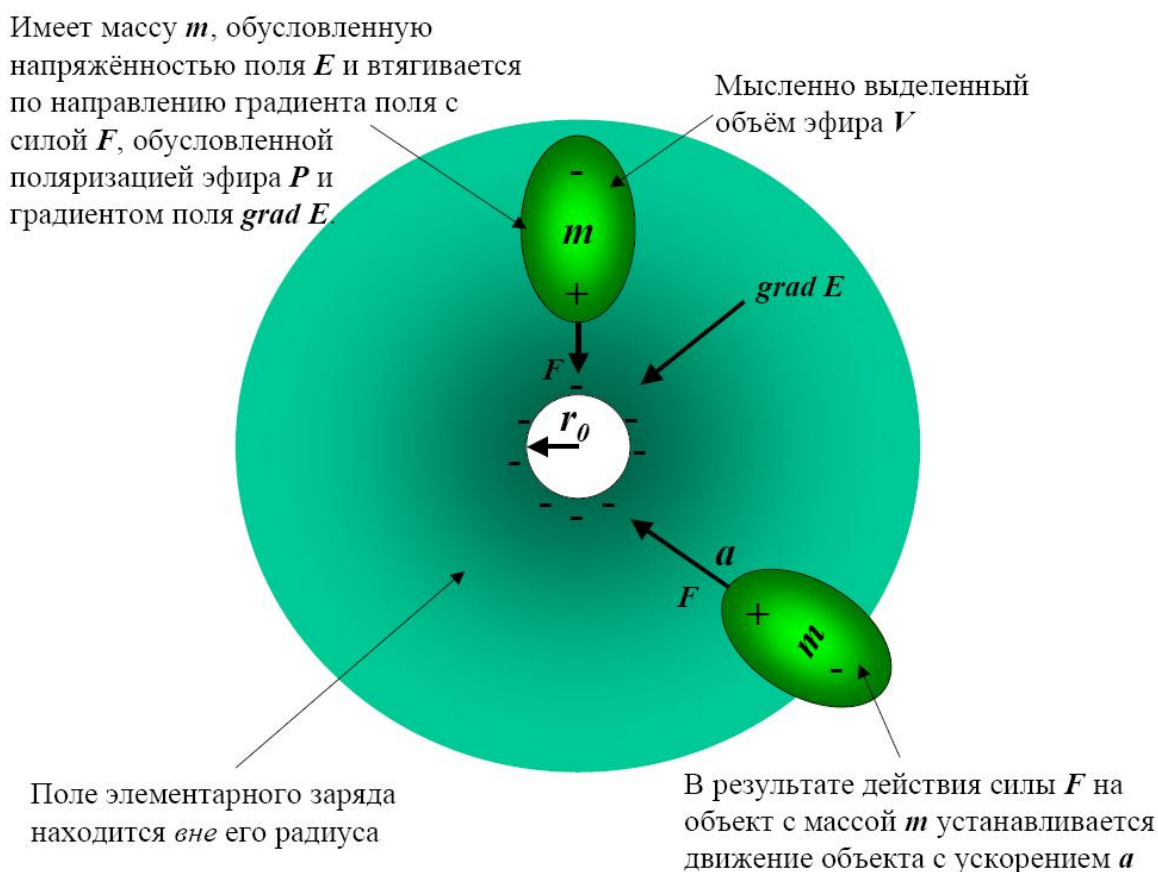


Рис. 7.2. Ускоренное движение эфира, обусловленное втягиванием диэлектрика по градиенту электрического поля, вблизи геометрически малых элементарных зарядов

Сила, с которой **неоднородное** электрическое поле действует на единицу объема диэлектрика, как известно [6], равна:

$$(7.4) \vec{F} = (\vec{P}\nabla)\vec{E}V,$$

где \vec{P} - вектор поляризации диэлектрика, V - его объём. Величина этой силы в нашем случае:

$$(7.5) F = |\vec{P}||\text{grad}\vec{E}|\cos(\vec{P}\angle\vec{E})V$$

Когда $\text{grad}E \neq 0$ диэлектрик должен *втягиваться* в область более сильного поля под действием этой силы. Считая эфир (вакуум, *пленум*) изотропным (хорошо подтверждённое экспериментами свойство, в частности, исследованиями *реликтового излучения*), можем сразу принять для случая сферически симметричных зарядов $\cos(\alpha) = 1$. Осталось понять, что в данном случае представляет собой поляризация \vec{P} .

В рамках классической электростатики считается, что вектор поляризации вакуума тождественно равен нулю. Это легко видно из определения поляризации $P(E) = \varepsilon_0(\varepsilon - 1)E$. Таким образом, казалось бы, вопрос заходит в тупик, поскольку относительная диэлектрическая проницаемость вакуума считается равной единице по определению. Это так, если говорить о «вакууме в себе», «чистом» или «невозмущённом» вакууме. А что будет, если вакуум возмущён электрическим полем? В классической электростатике по умолчанию подразумевается, что равенство нулю поляризации вакуума сохраняется и при больших напряжённостях и больших градиентах напряжённостей. Увы, это умолчание никем толком не проверялось. Более того, все современные модели т. н. «физического вакуума» вынуждены учитывать такое явление, как *поляризация вакуума* [7]. Учитывая гигантские величины *градиента* электрического поля вблизи элементарных зарядов (вблизи электрона около 10^{36} В/м²), достаточно ничтожнейшего отличия P от нуля, чтобы всё встало на свои места. Мы вернёмся к формулам и числам чуть позже, а пока бросим взгляд на *магнитные* поля элементарных зарядов и покажем, что они *не могут* принимать участие в описываемом нами механизме гравитации. В самом деле, в физике известно, что вакуум в *равной* степени обладает как диа- так и парамагнитными свойствами (экспериментальный факт, следующий как из равенства единице относительной магнитной проницаемости, так и из *отсутствия эффекта Фарадея* (*имеется в виду вращение плоскости поляризации света в магнитном поле*), что гораздо важнее). Таким образом, поскольку даже в весьма сильных полях эффект Фарадея в вакууме не наблюдался, то приходится признать, что в эфире с высочайшей точностью взаимно компенсированы диамагнитные и парамагнитные свойства. А следовательно, вакуум (эфир) не должен испытывать «втягивания» по направлению к источникам неоднородных *магнитных* полей [6]. Значит, магнитные свойства элементарных зарядов не участвуют в механизме тяготения, ровно так же, как не участвуют и в механизме инерции (глава 5).

Запишем теперь диэлектрическую проницаемость вакуума в поле с напряжённостью E как:

$$(7.6) \varepsilon(E) = \varepsilon_0(1 - \chi(E)),$$

(здесь $\chi(E)$ – фактически есть безразмерная поляризуемость вакуума). То есть, *предположим*, что диэлектрическая проницаемость всё-таки как-то *зависит* от напряжённости электрического поля.

Вернёмся к электрическому механизму гравитации. Сила F , действующая на выделенный малый объём диэлектрика V вблизи поверхности заряда ([6], [2]):

$$(7.7) F = |\vec{P}||grad\vec{E}|V.$$

Поскольку по определению поляризации $P(E) = \varepsilon_0(\varepsilon - 1)E$, то с учётом (7.6) имеем:

$$(7.8) P = (\varepsilon - 1)\varepsilon_0 E = -\chi\varepsilon_0 E,$$

тогда понятно, что относительное изменение диэлектрической проницаемости вакуума под действием поля E составит:

$$(7.9) \varepsilon_{отн}(E) = 1 - \chi(E).$$

Величину χ будем впредь называть **поляризованностью**, так как она отражает изменение диэлектрической проницаемости под действием электрического поля. Мы пока что не знаем конкретный вид зависимости поляризованности от напряжённости поля, но мы попытаемся её вывести. И, поскольку речь идёт о поле элементарных зарядов, определяемом выражением:

$$(7.10) E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2},$$

то, с учётом этого и (7.7) и (7.8), наша сила:

$$(7.11) F = |\vec{P}||grad\vec{E}|V = \frac{\chi \cdot q^2}{8\pi^2 \varepsilon_0 r^5} V.$$

Если бы эта сила действовала на субстанцию, не имеющую массы, то субстанция пришла бы в движение с бесконечным ускорением и немедленно достигла бы бесконечной скорости. На самом деле вблизи элементарных зарядов существуют сильные электрические поля (у электрона $7 \cdot 10^{20}$ В/м). Для электрического поля, как мы показали в главе 5, справедлива связь между энергией и массой, то есть *инерционными* свойствами. Мы хотим сказать, что тот вакуум, который испытывает втягивающую силу (7.11) ещё и возмущён электрическим полем заряда и, следовательно, *сопротивляется втягиванию*. Сила этого сопротивления - сила *инерции*. Оценим её. Масса этого электрического поля, заключённого в объёме V , равна, согласно Эйнштейну и Лоренцу (мы можем пользоваться формулой Эйнштейна именно потому, что речь идёт об *электрическом* поле, а в этом случае, как мы уже отмечали, она работает):

$$(7.12) m = \frac{W}{c^2} = \frac{wV}{c^2} = \frac{\varepsilon_0 E^2}{2c^2} V = \frac{\mu_0 q^2}{32\pi^2 r^4} V.$$

Тогда ускорение, действующее на эту массу вблизи поверхности, с учётом (7.11) и согласно 2-му закону Ньютона, будет равно:

$$(7.13) F = ma \Rightarrow a = \frac{F}{m} = \frac{\frac{\chi \cdot q^2}{8\pi^2 \varepsilon_0 r^5}}{\frac{\mu_0 q^2}{32\pi^2 r^4}} = \frac{4\chi}{\varepsilon_0 \mu_0 r}.$$

В то же время, из закона тяготения Ньютона (7.1), ускорение свободного падения *на поверхности* элементарного заряда будет:

$$(7.14) a = g = \gamma \cdot \frac{m}{r^2} = \gamma \frac{\mu_0 q^2}{8\pi r^3}.$$

(Мы здесь использовали выражение (ф-лы (5.10), (5.18) и (5.23)) для массы элементарного заряда через радиус и заряд частицы). Сопоставляя эти два разных (7.13) и (7.14) выражения для ускорения свободного падения, получим:

$$(7.15) \gamma = 32\pi\chi \cdot \frac{c^2 r^2}{\mu_0 q^2}.$$

То есть, мы получили **взаимосвязь** между *гравитационной постоянной* γ и *поляризованностью* χ вакуума вблизи элементарных частиц. Если мы считаем, что гравитационная постоянная одинакова и для электрона, и для протона, и для любых частиц вообще, то мировая константа «гамма» должна быть одной и той же при подстановке в (7.15) значения радиуса электрона и радиуса протона:

$$(7.16) \gamma = 32\pi\chi_e \cdot \frac{c^2 r_e^2}{\mu_0 q^2}$$

$$(7.17) \gamma = 32\pi\chi_p \cdot \frac{c^2 r_p^2}{\mu_0 q^2}$$

Эти выражения должны выполняться совместно. Тогда *отношение* поляризованностей вакуума на поверхности протона и электрона должно быть обратно пропорционально отношению квадратов радиусов и, значит, прямо пропорционально отношению напряжённостей:

$$(7.18) \frac{\chi_e}{\chi_p} = \frac{r_p^2}{r_e^2} = \frac{E_e}{E_p}.$$

Отсюда *с неизбежностью* вытекает, что безразмерная поляризованность вакуума **прямо пропорциональна** напряжённости электрического поля *на поверхностях* заряженных элементарных частиц:

$$(7.19) \chi = \eta E_0.$$

А тогда поляризация вакуума:

$$(7.19a) P = (\varepsilon - 1)\varepsilon_0 E = -\eta E_0 \varepsilon_0 E = -\eta \varepsilon_0 E E_0,$$

где коэффициент пропорциональности η , по сути, есть *мировая константа*, связывающая поляризацию вакуума с напряжённостью электрического поля в первом приближении. Назовём величину η **поляризуемостью**, т.е. *потенцией* к поляризации.

Связь этой постоянной с постоянной тяготения γ можно легко установить, используя (7.19), (7.15) и (7.10):

$$(7.20) \eta = \frac{\chi}{E} = \gamma \cdot \frac{q}{8c^4} = 1.647 \cdot 10^{-64} [\text{м} / \text{В}].$$

Тогда зависимость диэлектрической проницаемости вакуума от приложенного внешнего электрического поля будет иметь вид:

$$(7.21) \varepsilon(E) = \varepsilon_0(1 - \eta E)[\text{ф} / \text{м}],$$

где $\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ ф/м, а $\eta = 1.647 \cdot 10^{-64}$ [м/В].

То есть *диэлектрическая проницаемость вакуума, возмущённого электрическим полем, линейно зависит от напряжённости этого поля*. Малость оцененной поляризации вакуума даже в очень сильных полях не позволяет измерить её величину в прямом эксперименте, однако само тяготение макроскопических тел и являет собой тот эксперимент, который показывает если и не справедливость, то, по крайней мере, право на существование предложенной теории.

Таким образом, раскрылся *физический смысл* постоянной всемирного тяготения γ – *она отражает способность вакуума поляризоваться в сильных электрических полях*. Далее уже можно сообразить, что тяготение макроскопических тел является простой линейной суперпозицией «микротяготений» элементарных зарядов. Этот вывод легко сделать из принципа суперпозиции электрических полей. При этом надо помнить, что суммируются силы (напряжённости).

Итак, нами предложена элементарная линейная электрическая теория гравитации, ясно показывающая *отсутствие* в природе специфического «гравитационного поля». Кроме того, мы показали единство природы явлений инерции и тяготения тел и связь этих явлений с фундаментальными свойствами эфира (вакуума). Показана также (в первом приближении) независимость инерции и гравитации от магнитных свойств вещества и вакуума. С учётом того положения, что магнитное поле является всего лишь удобной абстракцией для описания *движений* электрических полей – можно сказать, что в рамках данной теории произведено «объединение» электрических, магнитных и гравитационных явлений. Это объединение оказалось (безо всякого намерения автора!) весьма специфично: оно устанавливает тот факт, что реально существует лишь электрическое поле как возмущённое состояние эфира (вакуума), а магнитные, инерционные и гравитационные явления полностью сводятся к электрическим, с учётом движений полей и их носителя (мировой среды, вакуума, эфира). Не исключено, что при ближайшем рассмотрении так называемых слабых и сильных взаимодействий они также благополучно будут сведены к электрическим явлениям. Достаточно вспомнить, что два одноимённо заряженных, но геометрически разных заряда на дальних расстояниях отталкиваются, а на ближних могут даже притягиваться (см. [6]). При этом для решения такой классической задачи электростатики не приходится придумывать никаких дополнительных «полей».

§ 7.5. Некоторые численные соотношения

Оценим ускорения свободного падения на поверхности электрона и протона:

$$g_e = \gamma \cdot \frac{m_e}{r_e^2} = \gamma \frac{\mu_0 q^2}{8\pi r_e^3} = \gamma \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (1.602 \cdot 10^{-19})^2}{8\pi \cdot (1.408879 \cdot 10^{-15})^3} = \frac{10^{-7} \cdot 2.5664 \cdot 10^{-38}}{2 \cdot 2.7965 \cdot 10^{-45}} \gamma = 0.45885\gamma = [\text{м} / \text{с}^2],$$

соответственно для протона:

$$g_p = \gamma \cdot \frac{m_p}{r_p^2} = \gamma \frac{\mu_0 q^2}{8\pi r_p^3} = \gamma \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (1.602 \cdot 10^{-19})^2}{8\pi \cdot (7.673 \cdot 10^{-19})^3} = \frac{10^{-7} \cdot 2.5664 \cdot 10^{-38}}{2 \cdot 451.747 \cdot 10^{-57}} \gamma = 2.84 \cdot 10^9 \gamma [\text{м}/\text{с}^2],$$

и, считая гамму равной $6.672 \cdot 10^{-11}$, [$\text{Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$] получим:

$$g_e = 3.061 \cdot 10^{-11} [\text{м}/\text{с}^2],$$

$$g_p = 1.895 \cdot 10^{-1} = 0.1895 [\text{м}/\text{с}^2].$$

Напомним, что ускорение свободного падения на Луне, к примеру, $1.62 \text{ м}/\text{с}^2$. Вначале малость величин ускорения свободного падения на поверхности протона нас смутила. А затем мы поняли, что если взять с Земли камешек, поместить в дальнем космосе и измерить ускорение свободного падения на его поверхности, то оно будет *намного меньше* протонного. Однако если из камешков собрать целую планету, ускорение на её поверхности станет таким, как положено на планете.

§ 7.6. Вывод принципа эквивалентности и закона тяготения Ньютона

Раз мы претендуем на то, что правильно вскрыли механизм тяготения и его электрическую природу, то мы должны показать, что ранее считавшиеся самостоятельными законы гравитации являются всего лишь *следствиями* электрических законов. Встаёт вопрос: как из вышесказанного получается закон всемирного тяготения Ньютона, описывающий притяжение тел?

Опишем *ускорение свободного падения*, вблизи, скажем, протона полученными выше формулами. Причём радиус протона известен из главы 5, а расстояние до его центра положим изменяющимся r . Имеем для ускорения вблизи протона из (7.13):

$$(7.22) a_p(r) = \frac{4\chi(r)}{\varepsilon_0 \mu_0 r_p} = \frac{4\eta E(r)}{\varepsilon_0 \mu_0 r_p} = \frac{4\eta}{\varepsilon_0 \mu_0 r_p} \cdot \frac{q}{4\pi \varepsilon_0 r^2} = \frac{\eta c^2 q}{\pi \varepsilon_0 r_p r^2}.$$

То есть, видим привычную, нормальную, *квадратичную* зависимость ускорения от расстояния и понимаем отчётливо *причину* этого факта – квадратичная зависимость напряжённости *электрического* поля точечного заряда от расстояния! Итак, закон всемирного тяготения Ньютона (7.1) есть прямое *следствие* закона взаимодействия зарядов Кулона (7.10) с учётом поляризуемости мировой среды!

Теперь ничто не мешает нам вспомнить массу протона m_p и гравитационную постоянную γ (гамма) и сопоставить классическое Ньютонovo гравитационное ускорение с (7.22):

$$(7.23) a_p(r) = \gamma \cdot \frac{m_p}{r^2} = \frac{\eta c^2 q}{\pi \varepsilon_0 r_p r^2},$$

сокращая квадраты расстояний, получим:

$$(7.24) \gamma \cdot m_p = \frac{\eta c^2 q}{\pi \varepsilon_0 r_p}.$$

Иными словами, получается, что **гравитационная** масса протона связана с его размером (как и электрона, конечно же) зависимостью:

$$(7.25) m_p = \frac{\eta c^2 q}{\gamma \pi \varepsilon_0 r_p},$$

$$\text{где: } \eta = \frac{\chi}{E} = \gamma \cdot \frac{q}{8c^4} = 1.647 \cdot 10^{-64} [\text{м/в}],$$

и, в результате, подставив для проверки η из (7.20) в (7.25), получим:

$$(7.26) m_p = \frac{q}{8c^4} \frac{c^2 q}{\pi \varepsilon_0 r_p} = \frac{\mu_0 q^2}{8\pi r_p}.$$

То есть мы получили **формулу гравитационной массы** элементарной частицы, **совпадающую с формулой для инерционной массы**. Вот именно таким образом инерционная и гравитационная массы, оказывается, не просто численно равны, а выражаются *одной и той же формулой* и обусловлены *одним и тем же явлением*. Поэтому принцип эквивалентности инерционной и гравитационной масс является простым **следствием** того факта, что и инерция и гравитация обусловлены электрическим полем элементарных зарядов и электрическими свойствами эфира (мировой среды, вакуума, *плenums*).

Итак, гравитационное поле, ранее считавшееся самостоятельной сущностью, оказалось лишено признаков существования. Оно может быть сохранено в науке всего лишь как удобная абстракция для упрощённого анализа ряда явлений. Подобно тому, как используются фиктивные поля температур или «звуковые» поля.

§ 7.7. Какое отношение изложенная теория имеет к ОТО

Следует сразу сказать, что при создании электрической теории гравитации ОТО никак не использовалась. Однако это не означает, что нельзя их сопоставлять. Бытует мнение, что ОТО даёт какое-то объяснение законам тяготения и вообще явлениям гравитации. В этом случае излагаемая нами теория была бы «альтернативной» теории ОТО А. Эйнштейна. На самом деле эти теории находятся в совершенно ином отношении. Изложенная нами теория позволяет *обобщить* принцип относительности на случай движения в неинерциальной системе отсчёта, лишь бы отсутствовало ускорение изучаемых тел *относительно* окрестного эфира. То есть в падающем «лифте Эйнштейна» действительно все законы физики выглядят так, как если бы лифт был неподвижен далеко в открытом космосе. Мы теперь отчётливо понимаем почему: потому что ускоренное падение лифта устранило ускорение тел в лифте *относительно окружающего эфира* (вакуума, *плenums*). Представим себе на секунду, что мы находимся в большом космическом корабле, разгоняющемся с ускорением a вдалеке от небесных тел. И в корабле этом есть лифт, способный двигаться с тем же ускорением по и против направления движения корабля. Тогда, находясь в этом лифте, мы будем то чувствовать двойное ускорение $2a$, то не чувствовать ускорения вообще. В зависимости от того, в

каком направлении двинулся лифт. В том случае, когда мы не чувствуем никакого ускорения, внешний наблюдатель (связанный с системой неподвижных звёзд, например) отметит, что мы двигались в этот момент равномерно и прямолинейно. Понятно тогда, почему сохранились все физические законы. Если же заменить космический корабль неподвижным тяготеющим телом, то все физические явления останутся такими же, но мнение *внешнего* наблюдателя будет противоположным: он зафиксирует ускоренное движение именно тогда, когда наблюдатель внутри лифта перестанет фиксировать ускорение. Оказывается весь секрет в том, что наблюдатель в лифте фиксирует лишь *локальные* ускорения, ускорения относительно окружающего эфира. Таким образом, можно двигаться ускоренно относительно неподвижных звёзд, и при этом мы никак не обнаружим факт ускоренности. Мы *обосновываем* расширение принципа относительности, показывая, что такое обобщение допускается самим *механизмом* возникновения сил инерции и тяготения. В ОТО же обобщение принципа относительности производится *аксиоматически*, без каких-либо объяснений, кроме иллюстрации «лифтом Эйнштейна».

Эвристический принцип, также положенный Эйнштейном в основание ОТО, *принцип Маха* (1872), был *выведен* нами при рассмотрении явления инерции. Принцип Маха гласил, что инерция *здесь* определяется материей *там*, то есть во всей Вселенной. Мы понимаем теперь, что ускоряемое тело «цепляется» за эфир (вакуум, *плenums*) с помощью явления самоиндукции. Эфир же, в свою очередь, хотя и «невесом», при малейшей попытке его ускорить, «цепляется» за все тела во Вселенной. И в этом смысле масса эфира – как бы масса всей Вселенной. Будь эфир принципиально «целостен», гравитация была бы невозможна, так как пришлось бы тянуть на Землю *весь* эфир, а значит и всю Вселенную. Однако эфир оказался вполне локально подвижен и именно поэтому мы имеем на Земле вес.

Что касается гносеологической ценности ОТО, то она ровно такова, какова ценность аналитической геометрии для развития овцеводства. Вводя псевдориманово пространство-время и рассуждая о его искривлении вблизи тяготеющих тел, Эйнштейн выходит за рамки физики и всецело погружается в пучины математики. Его «объяснение» тяготения выглядит так: массивные тела искривляют псевдориманово пространство-время, а оно, в свою очередь, изменяет траектории движения тел. Сил в этом объяснении нет вообще. Более того, нет и физических явлений, как таковых. Потому что «искривление синекдохи отечания под воздействием масс», так же как и «искривление псевдориманова пространства-времени», не есть физические явления. Идея (а пространство, время, *траектория* и синекдоха отечания – это именно идеи) не может быть содержанием физического явления.

Мы же описываем механизм тяготения в терминах *физики*: элементарные заряды тел за счёт огромных напряжённостей электрического поля и астрономически больших градиентов поля втягивают слабополяризующийся эфир (вакуум, *плenums*, мировую среду) и заставляют его двигаться ускоренно. Оказавшиеся в *ускоренно* движущемся эфире элементарные заряды других тел увлекаются этим эфиром за счёт электродвижущей силы самоиндукции, которая и принимается наблюдателем за силу тяготения. Ни одной метафизической категории не использовано в этом объяснении. Более того, не введено ни одной новой сущности. Предоставим читателю выбирать, какое объяснение удовлетворяет его в большей степени: наше или объяснение ОТО.

Литература

1. Глава 5. Инерция, как проявление электромагнитной индукции. Масса тел.
2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика в десяти томах. Том 8. Электродинамика сплошных сред. стр. 96-102

3. Трофимова Т.И. Курс физики. Учеб. Пособие для вузов. Издание 9-е, перераб. И доп.- М.: Издательский центр «Академия». 2004. - 560 с.
4. Э. Уиттакер. История теории эфира и электричества. Москва. Ижевск. 2001. Перевод с английского.
5. Википедия. Статья ГРАВИТАЦИОННАЯ ПОСТОЯННАЯ.
http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F
6. Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. Фейнмановские лекции по физике. Часть 5. Электричество и магнетизм. с. 209, 207-211
7. Большая советская энциклопедия. Статья "Поляризация вакуума".
<http://slovari.yandex.ru/dict/bse/article/00061/33700.htm>
8. Захаров В.Д. Тяготение. От Аристотеля до Эйнштейна. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2003. -278 с.
9. Об эфирном ветре. Библиотека Мошкова. 1999. <http://n-t.ru/tp/iz/ev.htm>
10. Современные теории эфира. <http://www.scorcher.ru/art/theory/air/air.php>
11. Википедия. Статья «Эфир (физика)».
[http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D1%84%D0%B8%D1%80_\(%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0\)#.D0.9C.D0.BE.D0.B4.D0.B5.D0.BB.D0.B8.D1.8D.D1.84.D0.B8.D1.80.D0.B0](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D1%84%D0%B8%D1%80_(%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0)#.D0.9C.D0.BE.D0.B4.D0.B5.D0.BB.D0.B8.D1.8D.D1.84.D0.B8.D1.80.D0.B0)

Глава 8. Электромагнитные волны

§ 8.1. Колебания и волны. Резонанс. Общие сведения

Колебаниями называются движения или процессы, которые характеризуются повторяемостью во времени. Колебательные процессы происходят и в механике (качание маятника), и в электродинамике (колебания электрического тока), и даже в химии (колебательные реакции вроде реакции Белоусова-Добронравова). Физическая природа колебаний может быть различной, но колебательные процессы описываются одинаковыми характеристиками и уравнениями. В физике разработан единый подход к таким процессам.

Колебания называются *свободными* (или *собственными*), если они совершаются за счёт первоначально сообщенной энергии при последующем отсутствии внешних воздействий на *колебательную систему* (систему, совершающую колебания).

Простейшим типом колебаний считаются *гармонические колебания* – колебания, при которых колеблющаяся величина изменяется во времени по закону синуса (косинуса). Любые *периодические процессы* можно представить в виде совокупности гармонических колебаний. Гармонические колебания величины s описываются уравнением вида:

$$(8.1) \quad s = A \cos(\omega_0 t + \varphi),$$

где A – максимальное значение колеблющейся величины, называемое *амплитудой колебания*; ω_0 – *круговая (циклическая) частота*.

Периодически изменяющийся аргумент косинуса $(\omega_0 t + \varphi)$ называется *фазой колебания*. Она определяет смещение колеблющейся величины от положения равновесия в данный момент времени t . Величина φ – называется *начальной фазой колебания*. Она определяет смещение колеблющейся величины в начальный момент времени ($t = 0$). Состояние колеблющейся системы повторяется через некоторое время T , называемое *периодом колебаний*. За это время фаза колебания получает приращение 2π . Отсюда вытекает связь:

$$(8.2) \quad T = \frac{2\pi}{\omega_0}.$$

Величина, обратная периоду колебаний называется *частотой колебаний*:

$$(8.3) \quad \nu = \frac{1}{T},$$

т.е. число полных колебаний, совершаемых системой в единицу времени. Сравнивая (8.2) и (8.3), получаем:

$$(8.4) \quad \omega_0 = 2\pi\nu.$$

Единица частоты *герц* (Гц). Путём несложной подгонки устанавливается *уравнение колебаний*:

$$(8.5) \frac{d^2 s}{dt^2} + \omega_0^2 s = 0.$$

На самом деле это уравнение будет описывать *не только* гармонические колебания, но и, например, экспоненциальные процессы. Иногда колеблющуюся величину удобно представлять в виде комплексных чисел:

$$(8.6) \bar{s} = Ae^{i(\omega_0 t + \varphi)}.$$

При такой записи очевидно: $\text{Re}(\bar{s}) = s = A \cos(\omega_0 t + \varphi)$. Выделение действительной части часто опускают при записи, это полезно иметь в виду, читая физическую литературу.

Механические колебания принято описывать на основе колебаний материальной точки. Пусть некоторая материальная точка совершает прямолинейные гармонические колебания вдоль оси координат x около положения равновесия, принятого за начало координат. Тогда $s = x$ и справедливо:

$$(8.7) x = A \cos(\omega_0 t + \varphi).$$

Тогда скорость и ускорение можно выразить, дифференцируя (8.7):

$$(8.8) \begin{cases} v = -A\omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi) \\ a = A\omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \varphi) \end{cases}.$$

Зная ускорение a и массу колеблющейся материальной точки m , по 2-му закону Ньютона можем записать для силы, действующей на тело:

$$(8.9) F = -m\omega_0^2 x.$$

Следовательно, сила пропорциональна смещению и направлена в противоположную сторону (к положению равновесия). Если вычислить кинетическую и потенциальную энергию колеблющегося тела, то получим:

$$(8.10) \begin{cases} T = \frac{mA^2\omega_0^2}{2} \sin^2(\omega_0 t + \varphi) \\ \Pi = \frac{mA^2\omega_0^2}{2} \cos^2(\omega_0 t + \varphi) \end{cases}.$$

Полная энергия материальной точки представляет собой сумму кинетической и потенциальной, соответственно:

$$(8.11) E = \Pi + T = \frac{mA^2\omega_0^2}{2}.$$

Полная энергия, как видим, остаётся *постоянной*. Кинетическая же и потенциальная энергии меняются с удвоенной частотой $2\omega_0$ и сдвинуты во времени одна относительно другой по фазе на 90 градусов. Отметим, что это *общее* свойство колебаний. Это крайне важный момент: рассматривая колебания пружинного маятника, физического маятника, так называемого математического маятника, обнаруживают эти же базовые свойства.

Рассмотрим теперь электрическую систему, состоящую из индуктивности и емкости. Такая схема называется колебательным контуром. В идеализированном контуре нет потерь энергии, и, следовательно, омическое сопротивление отсутствует (рис. 8.1).

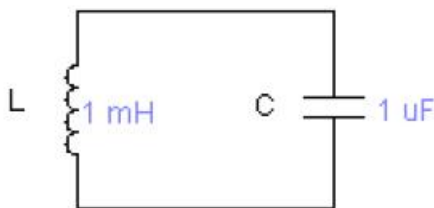


Рис. 8.1. Электрический идеализированный колебательный контур

Для возбуждения колебаний в контуре конденсатор C предварительно заряжают, сообщая его обкладкам заряды $\pm Q$. Тогда энергия поля между обкладками конденсатора в начальный момент времени $\frac{Q^2}{2C}$. Если замкнуть заряженный конденсатор на катушку индуктивности L , то он начнёт разряжаться, создавая нарастающий со временем ток I .

Когда конденсатор полностью разрядится, ток в цепи достигнет максимума и станет равен $\frac{L\dot{Q}^2}{2C}$. Поскольку потерь энергии нет, то полная энергия сохраняется:

$$(8.12) \quad W = \frac{Q^2}{2C} + \frac{L\dot{Q}^2}{2} = const.$$

Достигнув максимума, ток не может остановиться мгновенно и продолжает течь после полной разрядки конденсатора. Следовательно, он теперь заряжает конденсатор напряжением противоположной полярности. По мере заряда конденсатора будет нарастать электрическое поле, стремясь ослабить ток. И, в конце концов, ток будет остановлен окончательно, а напряжение на конденсаторе достигнет максимума, но уже при полярности конденсатора, противоположной начальной. Затем процесс повторится. Такова общепринятая в физической литературе трактовка [1].

На наш взгляд, процессы в колебательном контуре можно описать столь же просто, рассматривая поведение *электронов*. Вначале какое-то количество электронов $\frac{Q}{e}$ было перенесено с одной обкладки конденсатора на другую. Избыточные заряды на обкладках отталкиваются, создавая электростатическое «давление» электронов. Затем к конденсатору была присоединена индуктивность. Электроны под действием этого «давления» пытаются вернуться на своё изначальное место, восстанавливая электронейтральность пластин конденсатора. При этом им придётся *пройти* через индуктивность. Движущиеся электроны – это ток. Но ток электронов нарастает, поскольку каждую пикосекунду времени всё большее количество электронов переходит из пластины конденсатора в проводник индуктивности. Значит ток электронов *переменный*. А переменный ток вызывает явление самоиндукции, зависящее от величины индуктивности L . Самоиндукция препятствует нарастанию тока. Электроны разгоняются, но разгоняются с ограниченным ускорением. Оно тем меньше, чем больше величина индуктивности. К моменту, когда на пластинах конденсатора восстановится электронейтральность, большое количество электронов проводника катушки индуктивности оказывается вовлечено в движение. Электроны – материальные частицы, имеющие массу. Они не могут теперь мгновенно остановиться. Кроме того, мгновенно остановиться - означает мгновенно прекратить ток, а этому вновь воспрепятствует

явление самоиндукции. Следовательно, электроны будут продолжать двигаться, несмотря на то, что электронейтральность пластин конденсатора уже восстановлена. И, следовательно, электронейтральность их вновь нарушится. Нарастающее электростатическое давление будет препятствовать поступлению новых электронов из проводника индуктивности. И, в конце концов, ток будет остановлен. Процесс повторится. Уже из этого рассмотрения видно, что индуктивность в контуре играет роль массы (инерции), а конденсатор - роль возвращающей силы пружины (упругости). Такая аналогия приходила на ум настолько часто, что стала даже традиционной [1], [2]. Но никому, по всей видимости, не пришло в голову, что сходство простирается значительно дальше, чем простая аналогия.

В случае, если в системе имеются потери энергии (энергия необратимо уходит в тепло, излучение или другие формы), процесс несколько видоизменяется. Амплитуда колебаний становится всё меньше и меньше с каждым периодом и, в конце концов, колебательный процесс прекращается. Это называется *затуханием* колебаний. В большинстве реальных процессов участвует затухание. Затухание в электрическом контуре выражается в виде эквивалентного омического сопротивления, включённого в цепь последовательно (рис. 8.2).

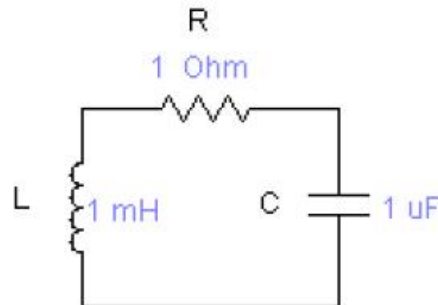


Рис. 8.2. Электрический контур с потерями

Чем выше сопротивление R в контуре, тем быстрее затухнут колебания. Скорость затухания колебаний принято характеризовать *добротностью* колебательной системы Q . Для электрического контура справедливо:

$$(8.13) \quad Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Кроме того, затухание влияет на величину периода свободных колебаний контура a , значит, и на частоту собственных колебаний:

$$(8.14) \quad \omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}.$$

При $R = 0$ (8.14) переходит в более простую формулу Томсона:

$$(8.15) \quad \omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}.$$

Если колебательный процесс происходит под воздействием регулярно изменяющейся внешней силы, то такой процесс называется *вынужденным колебанием*. Амплитуда таких вынужденных колебаний зависит не только от *вынуждающей силы*, но и от *частоты* изменения этой силы. Когда частота вынуждающей силы *приближается* к частоте

собственных колебаний системы, амплитуда колебаний возрастает и достигает максимума при совпадении частот вынуждающей силы и собственной частоты колебательной системы. Как видите, колебательная система способна накапливать энергию специфическим, *избирательным* образом. Это явление называется *резонансом*.

Колебаться может не только сосредоточенная колебательная система, но и сплошная среда. Понятно, что если возникают колебания в одной части среды, например, воздуха вблизи движущегося диффузора громкоговорителя, то в сплошной среде они не могут остаться локализованными, ибо нет границ, которые могли бы остановить распространение колебаний. Колебания распространяются в среде не мгновенно, а с конечной скоростью, зависящей от свойств среды. Фаза колебаний частиц среды и источника тем больше отличаются друг от друга, чем больше это расстояние.

Процесс распространения колебаний в сплошной среде называют *волновым процессом*, или *волной*.

§ 8.2. Структура и основные свойства электромагнитной волны

Как отмечал Дж. К. Максвелл в работе «Динамическая теория электромагнитного поля»: «Распространение колебаний состоит в непрерывном преобразовании одной из этих форм энергии в другую попеременно, и в любой момент количество энергии во всей среде разделено поровну, так что половина энергии является энергией движения, а другая половина – энергией упругого натяжения». Здесь речь идёт о потенциальной (электрической) и кинетической (магнитной) энергиях. Именно так распространяются все волны, изученные наукой. Кроме *электромагнитных*. Сам Максвелл считал, что в эфире должны распространяться волны, и эти волны именно он назвал электромагнитными. Он считал, что энергия электрического поля переходит в энергию магнитного поля и наоборот. Но он не знал тогда, что *на практике* окажется, что *фазы* изменения электрической и магнитной компонент электромагнитной волны *одинаковы*. Зная он результаты опытов Герца, то весьма бы удивился.

Возвращаясь к волнам, отметим, что среди разнообразных типов встречаются волны на поверхности жидкости и упругие волны. *Упругими* называются волны, распространяющиеся в упругой среде. Упругие волны бывают *продольными* и *поперечными*. В продольных волнах частицы среды колеблются в направлении распространения волны, а в поперечных – поперёк этого направления. В жидкостях и газах возникают только продольные волны, а в твёрдых телах – и продольные, и поперечные. И только «электромагнитные волны» носят *строго поперечный* характер. Ни тогда, ни теперь не обнаружено никаких продольных электромагнитных волн. Именно это в своё время поставило в тупик многих исследователей свойств эфира. Поскольку не давало полностью ассоциировать эфир ни с газом, ни даже с упругим телом, наподобие кристалла. Но, действуя последовательно и логически, следовало бы сначала выяснить другое: а с волнами ли мы имеем дело, когда изучаем электромагнитные явления? Этот вопрос пришёл в голову очень и очень немногим, но всё-таки он приходил. Например, Н. Тесла задавался этим вопросом [6, с. 165]. В частности, насколько мы можем судить по его работам, Н. Тесла считал «волны Герца» вовсе не волнами, притом сам заявлял, что возбуждает в Земле именно волны и это принципиально другое явление по отношению к излучению Герца-Максвелла. Мы теперь понимаем, какого рода волны возбуждал или пытался возбудить Тесла – это электронные волны в проводящей коре Земли. Периодически «выкачивая» и «вкачивая» электроны из грунта в сферический уединенный конденсатор, поднятый на солидную высоту (башня Wardencliffе в 1903 г.), он создавал самые настоящие *поверхностные волны* электронной плотности, разбегавшиеся во все стороны по поверхности Земли, как волны от лопнувшего пузырька по поверхности воды.

Конечно же, волны электронной плотности неотделимы от изменений напряжённости электрического поля, ибо само поле неотделимо от электрона. По этой причине волны Н. Тесла могли быть приняты не только его «башней», но и любой обычной антенной. Этот факт, видимо, и позволил учёным того времени не услышать гениального Н. Тесла и счесть его волны «обычными» электромагнитными. Похоже, волны Тесла принимаются одинаково как антеннами горизонтальной поляризации, так и вертикальной. Но вернёмся же к общепринятому на сегодня пониманию «электромагнитных волн» и посмотрим, что это такое, вернее, чем это принято считать и на основании каких фактов.

Электромагнитной волной называют [1] *переменное электромагнитное поле, распространяющееся в пространстве с конечной скоростью*. Переведем с русского на русский: т.е. полагается, что если в абсолютной пустоте, где доселе не было никакой материи и никаких полей, вы вдруг создали электромагнитное поле (например, включили вибратор Герца), то это поле начнёт распространяться на всё пустое пространство и процесс его распространения называют электромагнитной волной. Буквально следуя такому определению, мы должны были бы сказать, что электромагнитное поле подобно не волне (волна – это всегда распространение возмущения в *уже существующей* среде) а скорее осколкам и газам от взрыва, разлетающимся в разные стороны. Если же полагать, как полагаем мы, что само пространство создано бесчисленными полями всех элементарных материальных частиц Вселенной, которые нигде не кончаются, то тогда *можно* было бы говорить, что электромагнитная волна – это именно волна. Но пришлось бы сказать, волной чего именно она является. То есть каких именно *параметров* материальной среды (эфира, вакуума, плenums). А мы не так уж много параметров вакуума знаем.

У простейшей электромагнитной волны принято выделять **два** параметра: электрическую \vec{E} и магнитную \vec{B} компоненты. Причём экспериментально установлено, что (рис. 8.3) эти компоненты *перпендикулярны* друг другу и *синфазны*.

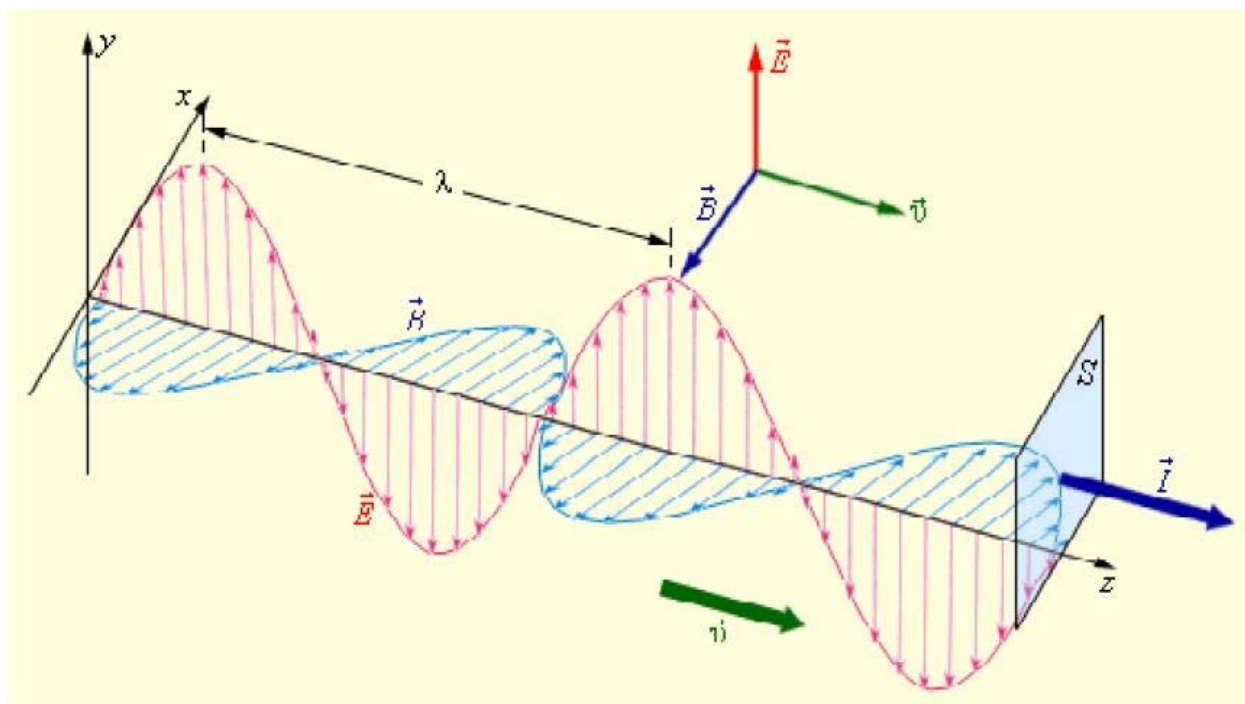


Рис. 8.3. Структура плоской электромагнитной волны с вертикальной поляризацией

Кроме того, они перпендикулярны направлению распространения волны (вектору её скорости \vec{v}). Более сложные волны всегда можно представить в виде суперпозиции плоско поляризованных простейших волн. Расстояние между максимумами векторов \vec{E} или

\vec{B} называется длиной волны λ . Экспериментально установлено, что «электромагнитная волна» переносит через площадку S энергию и импульс. Объемная плотность энергии равна:

$$(8.16) w = \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0} EH = \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}} EB = \varepsilon_0 E^2.$$

Импульс же есть полная энергия, делённая на скорость распространения волны (в данном случае в вакууме), равную $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$:

$$(8.17) p = \frac{W}{c} = \varepsilon_0 \mu_0 \int_V EH.$$

Умножив плотность энергии на скорость распространения электромагнитной волны, получим плотность потока энергии:

$$(8.18) \vec{S} = \vec{E} \otimes \vec{H}.$$

Эта векторная величина называется вектором Умова – Пойнтинга и показывает, в каком направлении распространяется электромагнитная волна и какой величины её плотность потока энергии.

Установлено многочисленными экспериментами, что в вакууме электромагнитная волна распространяется со скоростью $c \approx 300000 \text{ км/с}$. Установлено также экспериментально и выведено из уравнений Максвелла *соотношение* между электрической и магнитной компонентами электромагнитной волны *в каждый момент времени*:

$$(8.19) E = \frac{B}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} = cB.$$

Это соотношение именно в такой форме, как его привели мы, нечасто приводят в физической литературе. А между тем оно настолько показательное, что только одно его вдумчивое созерцание уже может привести к более правильному пониманию природы «электромагнитной волны».

§ 8.3. Парадоксы электромагнитной волны

Процитируем некоторые, весьма характерные, определения, даваемые в современной научной литературе [7] касательно электромагнитных волн:

«Существуют электромагнитные волны, то есть распространяющееся в пространстве и во времени электромагнитное поле. Электромагнитные волны поперечны – векторы их перпендикулярны друг другу и лежат в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны...»

Здесь смешаны факты и предположения. Фактом является поперечность магнитной и электрической компонент явления, а предположением – волновой характер явления.

«Электромагнитные волны распространяются в веществе с конечной скоростью...»

Это, несомненно, факт.

«В электромагнитной волне происходят взаимные превращения электрического и магнитного полей. Эти процессы идут одновременно, и электрическое и магнитное поля выступают как равноправные «партнёры». Поэтому объёмные плотности электрической и магнитной энергии равны друг другу...»

Фактом является наличие для неподвижного наблюдателя электрической и магнитной компонент явления, а также их синфазность во времени. Предположением, причём весьма странным, является *взаимное превращение* этих компонент. В самом деле, если \vec{E} и \vec{H} синфазны, то для внешнего неподвижного наблюдателя процесс во времени разворачивается так, как если бы изначально отсутствовавшая энергия, пропорциональная E^2 и H^2 , вдруг начала бы нарастать в точке наблюдения, а потом опять же синфазно спала до нуля. О *взаимном превращении* можно было бы говорить, если бы энергия одной из компонент уменьшалась бы, при увеличении другой компоненты и, наоборот, при сохранении некоторой суммарной энергии. Но ведь достаточно взглянуть на *стандартный* рис.8.3, чтобы увидеть, что заявление о *взаимном превращении* энергий магнитного и электрического полей - фикция. Немедленно встаёт вопрос о том, в какой форме энергия (несомненно, присущая "электромагнитной волне") пребывает в *узловой точке*, где и $E = 0$ и $H = 0$? Классическая электродинамика, насколько нам известно, вообще не ставит этот вопрос и не считает нужным на него отвечать. Это и является, на наш взгляд, одной из причин по которой некоторые учёные и *лжеучёные* XXI века усиленно ищут третью (продольную) компоненту «электромагнитного поля», и даже «находят» её с завидной периодичностью.

«Электромагнитные волны переносят энергию. При распространении волн возникает поток электромагнитной энергии...»

Это также - экспериментальный факт.

«Давление электромагнитного излучения объясняется тем, что под действием электрического поля волны в веществе возникают слабые токи, то есть упорядоченное движение заряженных частиц. На эти токи действует сила Ампера со стороны магнитного поля волны, направленная в толщу вещества. Эта сила и создает результирующее давление...»

В данном случае фактом является наличие давления электромагнитных волн, а предположением является *механизм* возникновения давления на среду, состоящую из заряженных частиц. Заметим, что описанный механизм в точности таков же, как хорошо известный механизм *индукционного* ускорения/торможения тел. В частности, широко известный опыт с разгоном токопроводящего кольца, изначально лежавшего на верхнем краю вертикально стоящего соленоида при резком изменении тока этого соленоида. Причём для объяснения указанного опыта исследователю доселе не требовалась никакая «электромагнитная волна». Достаточно законов индукции и магнитостатики.

Внимательный читатель заметил уже, что в вакууме электромагнитная волна однозначно описывается всего *одной* характеристикой – либо напряженностью электрического поля, либо магнитной индукцией (напряжённостью магнитного поля). Все остальные величины полностью определены, как только известна первая. Это означает, что традиционное описание электромагнитной волны *избыточно*. Странно говорить о

взаимном преобразовании электрической и магнитной компонент, когда они в реальности оказываются жёстко связаны соотношением (8.19) и к тому же синфазны.

Надеюсь, нам удалось показать читателю, что современные представления о сущности «электромагнитной волны» запутанны, противоречивы и парадоксальны.

§ 8.4. Летящие заборы и седые профессора

Так чем же на самом деле является (или хотя бы может являться) эта самая «электромагнитная волна»? Чтобы наш ответ не был бы совсем уж полной неожиданностью, предположим на миг, вопреки нашим убеждениям, что магнитное поле реально существует в природе. И пусть «электромагнитная волна» из рис. 8.3 содержит изначально *только* магнитную компоненту. И пусть нам ничего не известно про электрическую компоненту. Эдакий летающий «магнитный забор». Это означает, что мы воспринимаем *такую* электромагнитную конструкцию как *неизменную структуру магнитного поля, движущуюся со скоростью \vec{v}* . Мы расположим в пространстве поперёк \vec{B} и \vec{v} небольшой плоский конденсатор с расстоянием между пластин d (рис. 8.4). И с помощью осциллографа будем наблюдать за напряжением на пластинах конденсатора.

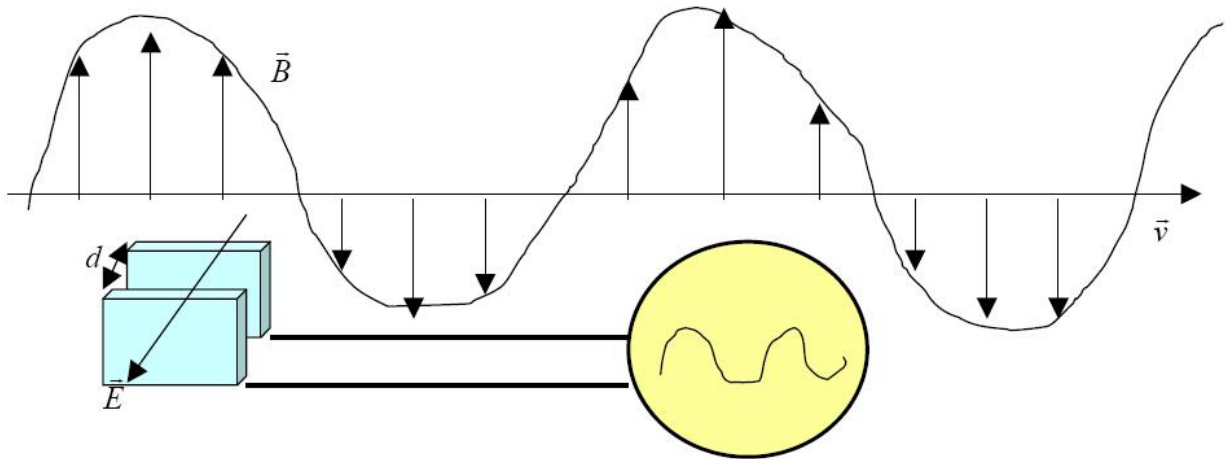


Рис. 8.4. ЭДС индукции в конденсаторе при движении периодического магнитного поля

Конденсатор у нас неподвижен, а поле \vec{B} движется. То есть имеет место взаимное движение поля и конденсатора. Эта ситуация эквивалентна тому, что поле стояло бы, а конденсатор двигался в противоположную сторону к движению поля. Тогда было бы понятно и очевидно, что действие силы Лоренца $\vec{F} = e\vec{v} \otimes \vec{B}$ на электроны пластин привело бы к появлению на обкладках конденсатора ЭДС равной:

$$(8.20) \vec{U} = \vec{B} \otimes \vec{v} \cdot d.$$

Тогда напряжённость электрического поля между обкладками была бы равна:

$$(8.21) \vec{E} = \frac{\vec{U}}{d} = \frac{\vec{B} \otimes \vec{v} \cdot d}{d} = \vec{B} \otimes \vec{v}.$$

Но, поскольку скорость движения «электромагнитной волны» в вакууме равна c , то получим для абсолютной величины напряжённости:

$$(8.22) E = Bc.$$

Что полностью соответствует экспериментальному факту (8.19). Читатель может самостоятельно рассмотреть случай, когда периодическая магнитная структура заменяется на аналогичную ей электрическую, разместить мысленно магнитометр вместо конденсатора и получить выражение $B = E/c$. Таким образом, мы только что установили, что «забор» из периодически изменяющейся напряжённости \vec{E} , летящий со скоростью света c неотличим для наблюдателя от «электромагнитной волны». Летящий «магнитный забор» точно также неотличим от неё. Но поскольку с реальностью магнитного поля мы уже разобрались, то остаётся единственный вариант: **электромагнитная волна представляет собой периодическую структуру электрического поля, движущуюся прямолинейно и равномерно со скоростью света в вакууме**. Неподвижный наблюдатель воспринимает «магнитную компоненту», которая на самом деле есть просто отражение факта движения периодической структуры электрического поля относительно наблюдателя. Т.е. и здесь, как обычно, «магнитное поле» проявляется там, где есть движение поля электрического.

Итак, возможно, что «электромагнитная волна» вообще не является волной! Она является движущейся периодической структурой электрического поля. Т.е. она действительно подобна осколку, пуле или *корпускуле* с той разницей, что может излучаться непрерывно, пока работает излучатель, т.е. имеет неопределённую длину. Возможно, в случае излучения микрочастицами, длина такой корпускулы ограничена, и тогда «электромагнитная волна» становится совсем уж похожа на частицу. Когда такая «ребристая» частица движется сквозь вещество, электроны вещества совершают колебательные движения. Эти колебания *в веществе* могут распространяться, и тогда они уже больше похожи на настоящую волну. Вот где причины многовековой путаницы!

Энергия «волны» складывается из энергии электрического поля периодической структуры (её никто не отменял!) плюс кинетическая энергия движущейся структуры (она равна *массе* этой структуры, умноженной на квадрат скорости света, делённой пополам). Но энергия потенциальная в «электромагнитной волне» равна энергии кинетической, что мы установили ранее. Нетрудно подсчитать, что с учётом (8.19) полная энергия равна $\frac{mc^2}{2} + \frac{mc^2}{2} = mc^2$. Так вот что означает на самом-то деле знаменитая формула Эйнштейна! Она означает, что если мы со скоростью света запустим «кусочек» электрического поля массой m , то полная энергия этой штуки будет равна mc^2 . Таким образом, мы сразу же можем *догадаться*, что электрон (и вообще все элементарные заряды) представляет собой в определенном смысле кусочек электрического поля, движущийся со скоростью света.

§ 8.5. Итак, это не волна.... А волна-то где?

Ну что же, с «электромагнитной волной» мы, кажется, разобрались. Волной эта штука не является. И В. Ритц был катастрофически прав, создавая свою баллистическую гипотезу света. Мы уже видели, что настоящие волны (со всеми атрибутами волны) в науке об электричестве существуют: это электронные волны на поверхности Земли, это волны плотности электронов в проводнике колебательного контура, в антеннах и т.д. и т.п. Интересно понять, а существуют ли *истинные волны в эфире*? Например, в вакууме, вблизи излучающей антенны? Как ни странно, но похоже, что существуют. И о них знали уже очень давно. Правда, зона их существования ограничена и носит название *индукционной зоны*. Вот в этой-то зоне вблизи антенны существуют решения злосчастных уравнений Максвелла, для которых напряжённость электрического поля сдвинута по фазе

относительно напряжённости магнитного поля на 90 градусов. Но эти решения быстро *затухают!* Поэтому-то *настоящими* волнами в эфире никто не интересуется. Примером *истинных* волн являются волны, распространяющиеся в волноводах и длинных линиях. Взгляните на рис. 8.5, где изображена бегущая волна Н-типа в прямоугольном волноводе: видно, что продольное магнитное поле перпендикулярно электрическому, и его напряжённость достигает нуля именно там, где напряжённость электрического максимальна, т.е. сдвинута на 90 градусов.

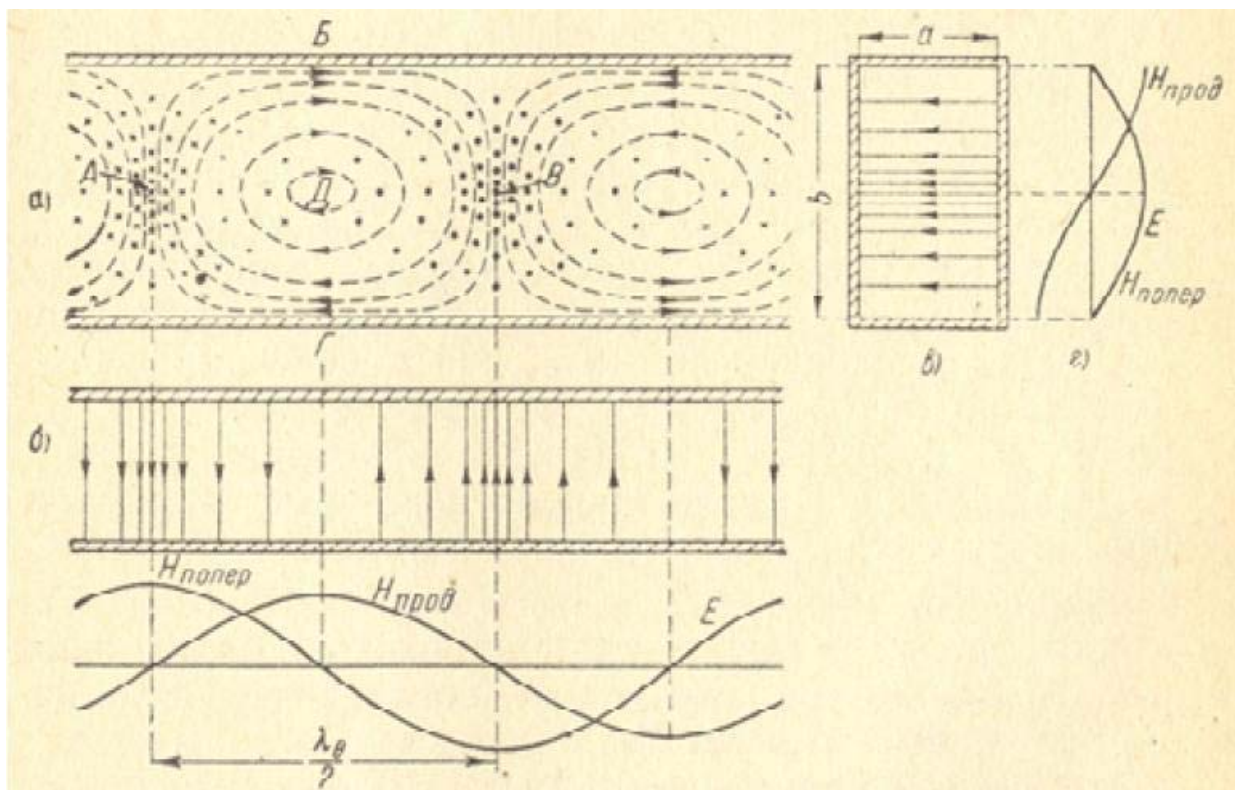


Рис. 8.5. Волна Н-типа, распространяющаяся в волноводе прямоугольного сечения

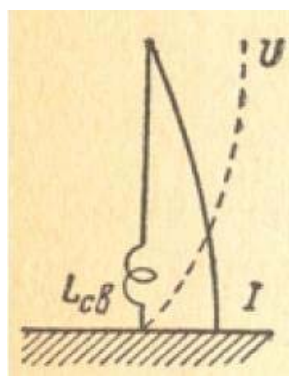


Рис. 8.6. Распределение тока и напряжения в штыревой антенне

§ 8.6. Излучение неволн.

Весь механизм рождения «электромагнитной волны», то есть *направленного движения пространственной полевой структуры*, легко видеть на примере *дипольного* излучения. Обратившись к определению скорости движения поля из главы 1, мы видим, что при изменении зарядов на концах электрического диполя во времени, параллельные диполлю компоненты поля приобретают скорость, перпендикулярную им:

$$(8.23) \quad v = \frac{1}{2} r \frac{\dot{E}}{E}.$$

Эта скорость *растёт* с ростом расстояния от диполя и достаточно быстро, на длине меньше одной длины «волны» достигает скорости света. В этой зоне можно видеть сгущения и разрежения электрического поля, отражающие состояния диполя на момент его (фрагмента поля) формирования, *движущиеся* друг за дружкой *перпендикулярно* \vec{E} в направлении *от* диполя, с возрастающей, в среднем, скоростью. При приближении скорости v к скорости света c электрическое поле *теряет связь со своим источником*. Ибо поле - это поляризованные участки вакуума (эфира), состоящие из связанных зарядов, а всякий заряд теряет взаимодействие с неподвижными зарядами при достижении им скорости света. Это *выглядит* так, как если бы масса ускоряющегося «куска поля» росла бы по мере роста скорости. Понять причину, по которой это происходит, можно только зная, как устроены элементарные заряды, а об этом мы поговорим чуть позже. Дальнейшее движение поляризованного вакуума (электрического поля) происходит инерциально и более не связано с процессами, его породившими. Разумеется, при распространении его в среде невозмущённого вакуума (эфира) результирующая средняя по объёму поляризация уменьшается, так как возмущённый эфир в процессе движения «растворяется» в изначально невозмущённом вакууме (эфире). Так происходит пространственное затухание «электромагнитной волны». Но для отдельно взятого «фотона» такого явления, по-видимому, нет. «Растворение» выражается лишь в том, что между «фотонами», которые есть возмущённый эфир, становится всё больше невозмущённого эфира, ибо «фотоны» расходятся, разлетаются друг от друга, не будучи идеально параллельными в своём движении.

Ради полноты изложения, мы хотели бы сказать, что всё-таки есть один способ спасти представления о волновой природе света, указанный нам А. А. Солуниным: если предположить, что при распространении электромагнитной энергии происходит переход из потенциальной энергии электрического поля в кинетическую энергию электрического *тока* в эфире (вакууме, *плenumе*) и обратно. Тогда процесс выглядит как естественное стремление частично «разделённых» зарядовых континуумов вакуума сблизится, которое порождает движение, ток этих континуумов. Ток, в свою очередь, нарастая производит *индукцию* в окружающем, недеформированном вакууме (эфире, *плenumе*). Когда изначально «растянутые» заряды эфира полностью сблизятся, мы перестаём видеть поле. Нам кажется что ничего в этом месте и нет. Тем не менее, заряды продолжают движение, хотя и невидимы. И, проскакивая положение полной электронейтральности, снова изображают нам нарастающее электрическое поле, но уже противоположной полярности. Нарастанию теперь препятствует взаимоиנדукция с соседними участками вакуума. Всё выглядит вполне осмысленно, стоит лишь признать существование незримых и неощутимых для нас токов. Впрочем, такое признание было бы логично в нашей системе взглядов, ведь признаём же мы незримые (при полном равновесии) зарядовые континуумы. Возможно, такое «волновое» описание ничем не противоречит вышеприведенному «корпускулярному» описанию, а просто является взглядом из другой системы координат. Подобно тому, как для стоящего на берегу моря наблюдателя волна кажется волной, волновым движением воды, а несущемуся на её гребне серфингисту волна представляется как прямолинейное движение «куска» воды.

Здесь мы подходим к древнейшему и обширнейшему вопросу философии: что есть движение вообще, и движение материи в частности? Ведь зная строение элементарных частиц, зная, что их Кулоновское взаимодействие - это взаимоиנדукция криволинейных токов смещения в вакууме, мы можем уже прийти к выводу, что движение элементарных зарядов есть лишь последовательность актов взаимоиנדукции эфирных токов. Получается, что движущаяся частица на самом деле никуда не движется. Движение частицы – лишь иллюзия! Просто криволинейный ток *затухает* в одном месте и

индуцируется в другом. Следовательно, делая шаг, я каждый раз исчезаю бесщётное число раз и снова появляюсь. Но это уже не тот я, что был до того, как шагнул. Каждая частица моего тела стала иной. Не так ли и буддийские учителя понимали движение?! Мы могли бы вспомнить здесь и о том, что Инь и Ян, составляющие древнекитайский Космос так похожи на наши зарядовые континуумы. И то, что элементарные частицы действительно оказались похожи на вихри *праны*. Но это уже, скорее, темы для другой литературы. Более общей и менее конкретной. Хотя мы здесь с почтением склоняем голову перед даром предвидения и силой разума наших далёких предков.

Как видите, абсолютная уверенность в существовании *механического* эфира привела к тому, что предсказанные уравнениями Максвелла *различные* решения были рассмотрены предвзято, без должного анализа. Некоторые из них признаны *волновыми* а затем благополучно «обнаружены» в опытах Герца. Человеку свойственно видеть только то, на что он смотрит и что ожидает увидеть. Если вы ожидаете появление кролика из шляпы, а появится жаба – в первое мгновение даже она покажется вам кроликом. Но первое мгновение электродинамики уже прошло, и пора отделить жаб от кроликов.

Литература

1. Т.И.Трофимова. Курс физики. 9-е издание. – М.: Издательский центр «Академия», 2004 г.
2. Б. М. Яворский, Ю. А. Селезнев. Справочное руководство по физике. Для поступающих в вузы и для самообразования. М.: «Наука», 1989 г.
3. Голин Г.М. Хрестоматия по истории физики. Классическая физика. Мн.: Выш. школа, 1979.
4. Э. Уиттакер. История теории эфира и электричества. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». 2001. Перевод с англ.
5. Дж. Максвелл. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. М., 1954.
6. Thomas Valone, Ph.D. Harnessing the Wheelwork of Nature. Tesla's Science of Energy. Kempton, IL. ISBN 1-931882-04-5
7. <http://www.college.ru/physics/courses/op25part2/content/chapter2/section/paragraph1/theory.html> - top

Глава 9. Элементарные заряды. Электрон и протон

§ 9.1. Электромагнитная масса и заряд. Вопрос о сущности заряда

В главе 5 мы выяснили механизм возникновения инерции, объяснили, что же такое «инерционная масса» и какие электрические явления и свойства элементарных зарядов определяют её. В главе 7 мы проделали всё то же самое для явления тяготения и «гравитационной массы». Выяснилось, что и инерцию и тяготение тел определяют геометрический размер элементарных частиц и их *заряд*. Поскольку геометрический размер есть понятие привычное, то в основе таких фундаментальных явлений, как инерция и гравитация, оказывается лежащей лишь одна малоизученная сущность - «заряд». До сих пор понятие «заряд» является загадочным и почти мистическим. Сначала учёные имели дело лишь с макроскопическими зарядами, т.е. зарядами макроскопических тел. В начале изучения электричества в науке использовались представления о незримых «электрических жидкостях», избыток или недостаток которых и приводит к электризации тел. Долгое время споры шли лишь о том, одна это жидкость или их две: положительная и отрицательная. Затем выяснили, что существуют «элементарные» носители заряда электроны и ионизированные атомы, т.е. атомы с избыточным электроном, либо недостающим электроном. Ещё позже были обнаружены «самые элементарные» носители положительного заряда – протоны. Затем выяснилось, что «элементарных» частиц много и многие из них обладают электрическим зарядом, причём по величине заряд этот всегда кратен некоторой минимальной обнаруживаемой порции заряда $q_0 \approx 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$. Эта порция и названа была «элементарным зарядом». Заряд определяет меру участия тела в электрических взаимодействиях и, в частности, взаимодействиях электростатических. На сегодняшний день вразумительных объяснений, что же такое элементарный заряд не существует. Любые рассуждения на тему того, что заряд состоит из других зарядов (например, кварков с дробными величинами зарядов), это не объяснение, а схоластическое «замыливание» вопроса.

Давайте попробуем подумать о зарядах сами, пользуясь тем, что мы уже установили ранее. Вспомним, что главный закон, установленный для зарядов, есть закон Кулона: сила взаимодействия между двумя заряженными телами прямо пропорциональна произведению величин их зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Получается, что если мы выведем закон Кулона из каких-либо конкретных уже изученных физических механизмов, то тем самым сделаем шаг в понимании сущности зарядов. Мы уже говорили о том, что элементарные заряды в части взаимодействия с внешним миром вполне определяются своим электрическим полем: его структурой и его движением. И говорили, что после объяснения инерции и гравитации в элементарных зарядах ничего, кроме движущегося электрического поля, и не осталось. А электрическое поле есть не что иное, как возмущённые состояния вакуума, эфира, *плenums*. Ну, так будем же последовательны и попытаемся свести электрон и его заряд к движущемуся полю! Мы уже догадались в главе 5, что протон полностью подобен электрону, за исключением знака заряда и геометрического размера. Если, сведя электрон к движущемуся полю, мы увидим, что мы можем объяснить и знак заряда и независимость количества заряда частиц от размера, то наша задача будет выполнена, хотя бы в первом приближении.

§ 9.2. Странные токи и странные волны. Плоский электрон

Для начала рассмотрим крайне упрощённую модельную ситуацию (рис. 9.1) *кольцевого* заряда, движущегося по круговой траектории радиуса r_0 . И пусть он в целом *электронейтрален*, т.е. в его центре размещён противоположный по знаку заряд. Это так называемый «плоский электрон». Мы не утверждаем, что реальный электрон именно таков, мы лишь пытаемся пока понять, можно ли получить электрически нейтральный объект, эквивалентный свободному элементарному заряду в плоском, двумерном случае. Попробуем создать наш заряд из связанных зарядов эфира (вакуума, *пленума*). Пусть, для определённости, заряд кольца отрицателен, а движение кольца происходит по часовой стрелке (рис. 9.1). В этом случае ток I_t течёт против часовой стрелки. Выделим малый элемент кольцевого заряда dq и припишем ему малую длину dl . Очевидно, что в каждый момент времени элемент dq движется с тангенциальной скоростью v_t и нормальным ускорением a_n . С таким движением мы можем ассоциировать полный ток элемента dI – величину векторную. Эту величину можно представить как постоянный по величине тангенциальный ток dI_t , постоянно «поворачивающий» своё направление с течением времени, то есть – ускоренный. То есть имеющий *нормальное ускорение* $d\dot{I}_n$. Трудность дальнейшего рассмотрения связана с тем, что до сих пор в физике рассматривались в основном такие переменные токи, чьё ускорение лежало *на одной прямой* с направлением самого тока. В данном случае ситуация иная: ток *перпендикулярен* своему ускорению. И что же? Разве это отменяет твёрдо установленные ранее законы физики?

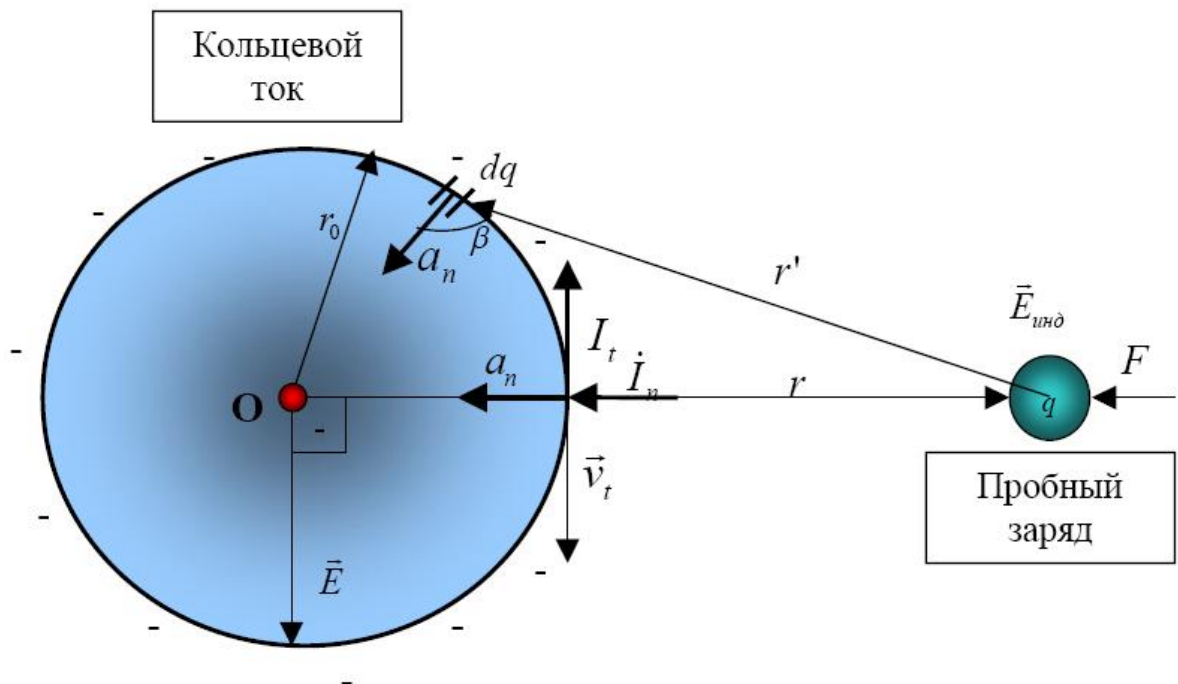


Рис. 9.1. Кольцевой ток и его силовое действие на пробный заряд

Так же как с самим элементарным током связано его магнитное поле (согласно закону Био-Савара-Лапласа), так и с ускорением элементарного тока связано электрическое поле индукции, как показано нами в предыдущих главах. Эти поля оказывают силовое действие F на внешний заряд q (рис. 9.1). Поскольку радиус r_0 конечен, то действия элементарных токов *правой* (по рисунку) половины кольца не могут быть полностью скомпенсированы противоположным действием элементарных токов *левой* половины.

Таким образом, между кольцевым током I и *внешним* пробным зарядом q должно возникать *силовое* взаимодействие.

В результате мы получили, что мы можем умозрительно создать объект, который в целом будет совершенно электронейтрален по построению, но содержать в себе кольцевой ток. Что же такое кольцевой ток в вакууме? Это ток смещения. Можно представить его как круговое движение связанных отрицательных (или наоборот - положительных) зарядов вакуума при полном покое оппозитных зарядов, расположенных в центре. Можно представить и как совместное круговое движение положительных и отрицательных связанных зарядов, но с разными скоростями, или по разным радиусам или в разные стороны... В конечном итоге как бы мы ни рассматривали ситуацию, она будет сводиться к *вращающемуся электрическому полю \vec{E} , замкнутому в круге*. При этом возникает магнитное поле \vec{B} , связанное с тем, что текут токи и дополнительное, не ограниченное кругом электрическое поле $E_{инд}$, связанное с тем, что эти токи *ускорены*. Именно это мы и наблюдаем вблизи реальных элементарных зарядов (например, электронов)! Вот наша феноменология так называемого «электростатического» взаимодействия. Не требуется свободных зарядов (с дробными или ещё какими-то величинами заряда), чтобы построить электрон. Достаточно лишь *связанных зарядов вакуума!* Помните, что по современным представлениям *фотон* также состоит из движущегося электрического поля и в целом электронейтрален. Если фотон «загнуть» кольцом, то у него появится заряд, поскольку его электрическое поле теперь будет двигаться не прямолинейно и равномерно, а ускоренно. Теперь понятно, как образуются заряды разных знаков: если поле E в «кольцевой модели» (рис. 9.1) направлено от центра к периферии частицы, то заряд одного знака, если наоборот – то другого. Если разомкнуть электрон (или позитрон), то создадим фотон. В реальности из-за необходимости сохранения момента вращения, чтобы превратить заряд в фотон, надо взять два противоположных заряда, свести воедино и получить в итоге два электронейтральных фотона. Такое явление (реакция аннигиляции) действительно наблюдается в экспериментах. Так вот что такое заряд – это *момент вращения электрического поля!* Далее мы попытаемся заняться формулами и расчётами и получить закон Кулона из законов индукции, приложенных к случаю переменного тока смещения.

§ 9.3. Закон Кулона как следствие закона индукции Фарадея

Покажем, что в двумерном (плоском) приближении электрон в электростатическом смысле *эквивалентен* круговому движению тока, который по величине равен току заряда q_0 , движущемуся по радиусу r_0 со скоростью, равной скорости света c .

Для этого разобьем полный круговой ток I (рис. 9.1) на элементарные токи Idl , вычислим $dE_{инд}$, действующие в точке нахождения пробного заряда q , и проинтегрируем по кольцу.

Итак, ток, текущий в нашем случае по кольцу, равен:

$$(9.1) I = \frac{q_0 v}{2\pi r_0} = \frac{q_0 c}{2\pi r_0}.$$

Поскольку этот ток является *криволинейным*, то есть *ускоренным*, то он является *переменным*:

$$(9.2) \frac{dI}{dt} = \frac{d}{dt} \frac{q_0 c}{2\pi r_0} = \frac{q_0 a}{2\pi r_0}.$$

где a - центростремительное ускорение, которое испытывает каждый элемент тока при движении по окружности со скоростью c .

Подставляя известное из кинематики выражение для ускорения $a = \frac{c^2}{r_0}$, получим:

$$(9.3) \frac{dI}{dt} = \frac{q_0 a}{2\pi r_0} = \frac{q_0 c^2}{2\pi r_0^2}.$$

Понятно, что *производная* для элемента тока будет выражаться формулой:

$$(9.4) \frac{dIdl}{dt} = \frac{q_0 a}{2\pi r_0} dl = \frac{q_0 c^2}{2\pi r_0^2} dl.$$

Как следует из закона Био-Савара-Лапласа, каждый элемент тока Idl создаёт в точке нахождения пробного заряда «элементарное» магнитное поле:

$$(9.5) dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I[d\vec{l}, \vec{r}]}{r^3}.$$

Из главы 4 известно, что переменное магнитное поле элементарного тока порождает электрическое:

$$(9.6) d\vec{E} = \vec{v}_B d\vec{B} = \frac{1}{2} \vec{r} \frac{\dot{B}}{B} d\vec{B} = \frac{\mu_0}{8\pi} \frac{\dot{I}[d\vec{l}, \vec{r}]}{r^2}.$$

Теперь подставим в это выражение значение производной элементарного кругового тока из (9.4):

$$(9.7) d\vec{E} = \frac{\mu_0}{8\pi} \cdot \frac{q_0 c^2}{2\pi r_0^2} \cdot \frac{d\vec{l} \sin(\beta)}{r}.$$

Остаётся проинтегрировать эти элементарные напряжённости электрического поля по контуру тока, то есть по всем dl , которые мы выделили на окружности:

$$(9.8) E = \oint d\vec{E} = \oint \frac{\mu_0}{8\pi} \cdot \frac{q_0 c^2}{2\pi r_0^2} \cdot \frac{\sin(\beta)}{r} dl = \frac{q_0}{16\pi^2 \varepsilon_0 r_0^2} \oint \frac{\sin(\beta)}{r} dl.$$

Нетрудно видеть (рис. 9.1), что интегрирование по углам даст:

$$(9.9) \oint \frac{\sin(\beta)}{r} dl = 2\pi r_0 \cdot \frac{2r_0}{r^2} = \frac{4\pi r_0^2}{r^2}.$$

Соответственно, полное значение напряжённости электрического поля индукции $E_{инд}$ от нашего криволинейного тока в точке нахождения пробного заряда будет равно:

$$(9.10) \quad E_{\text{инд}} = \frac{q_0}{16\pi^2 \varepsilon_0 r_0^2} \cdot \frac{4\pi r_0^2}{r^2} = \frac{q_0}{4\pi \varepsilon_0 r^2}$$

Это же не что иное, как хорошо знакомое нам **Кулоновское электрическое поле** точечного заряда q_0 в точке, удалённой от центра заряда на расстояние r ! Таким образом, мы с удивлением обнаружили, что воздействие кругового тока I на пробный заряд q в *точности такое же*, как воздействие элементарного заряда, например, электрона. То есть, тот факт, что электрон - это заряд (так как подчиняется закону Кулона в опытах), и тот факт, что электрон - это ток (так как проявляет магнитные свойства), - это две стороны *одного и того же явления*, а именно, криволинейного движения *связанных* зарядов в вакууме, его *зарядовых континуумов*.

§ 9.4. Почему все элементарные заряды равны по величине?

Из выражения (9.10) для напряжённости поля индукции, создаваемой круговым током на расстоянии r , непосредственно следует, что *каким бы ни был размер элементарной частицы r_0 , лишь бы её внутренний ток удовлетворял условию (9.1), напряжённость поля вне частицы будет одна и та же*. Значит, сравнительно маленький протон и сравнительно большой электрон легко и просто создают одно и то же поле, и нет в том более никакой мистики.

Рассмотрим теперь внимательно картину \vec{E} и \vec{B} полей, полученную для кольцевого электрона:

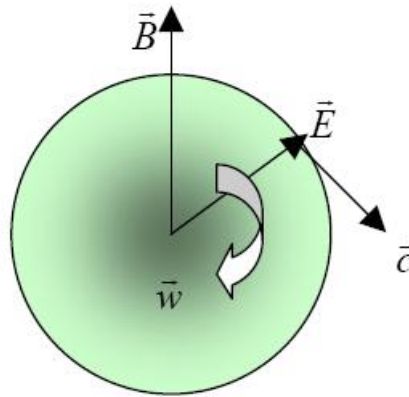


Рис. 9.2. Расположение полей и тангенциальной скорости в электроне. Вектор \vec{B} на самом деле направлен «на нас»

Ничего не напоминает?! \vec{E} перпендикулярно \vec{B} , и оба они перпендикулярны вектору тангенциальной скорости \vec{c} . Да это же «электромагнитная волна»! Только не такая, которая куда-то бежит из точки A в точку B , а такая, которая бежит по кругу вокруг вектора \vec{B} . Можно показать, что от того, правую или левую тройку векторов образуют \vec{E} , \vec{B} и \vec{c} , зависит то, каким нам кажется **знак** такого заряда. Можно представить себе, что вращается некая, центрально симметричная система диполей, если так кому-то проще. Более того. Давайте подсчитаем величину \vec{B} и покажем, что она связана с \vec{E} соотношением $\vec{E} = \vec{c} \otimes \vec{B}$, как раз таки характерным для электромагнитной волны. Как известно, магнитное поле в центре кругового витка с током:

$$(9.11) B = \mu_0 \frac{I}{2r_0} = \frac{\mu_0}{2r_0} \frac{q_0 c}{2\pi r_0} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} \cdot \frac{q_0}{4\pi r_0^2}.$$

В то же время поле на поверхности электрона:

$$(9.12) E = \frac{q_0}{4\pi\varepsilon_0 r_0^2}.$$

Сопоставляя эти выражения (9.11) и (9.12), видим, что:

$$(9.13) E = \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}} \frac{B}{\varepsilon_0} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} B = cB,$$

что и является типичным соотношением, установленным именно для электромагнитных волн. Таким образом, можно сказать, что электрон является **криволинейным замкнутым током смещения** или что он **является движущейся по кругу «электромагнитной волной»**. И то и другое будет приблизительно верно.

А в таком случае можно определить *собственный магнитный момент* такого «плоского» электрона:

$$(9.14) p_m = I \cdot S = \pi r_0^2 \cdot \frac{q_0 c}{2\pi r_0} = \frac{q_0 c r_0}{2} = \frac{1.602 \cdot 10^{-19} \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 1.4 \cdot 10^{-15}}{2} = 3.36 \cdot 10^{-26} [\text{Дж} \cdot \text{Тл}].$$

Однако в современной физике *считается*, что **проекция** собственного магнитного момента электрона на **направление внешнего поля** \vec{B} имеет значение:

$$(9.15) p_m = \pm \frac{eh}{4\pi m_e} = \frac{1.602 \cdot 10^{-19} \cdot 6.625 \cdot 10^{-34}}{4\pi \cdot 9.1 \cdot 10^{-31}} = 9.26 \cdot 10^{-24} [\text{Дж} \cdot \text{Тл}].$$

Ничего себе разница – 275 раз! **Кстати, эта величина почти точно равна удвоенной обратной величине «альфа»**. Так называемой *постоянной тонкой структуры*. Это требует объяснений. Одно из них невероятно простое: во *внешнем* поле электрон испытывает круговую прецессию с радиусом, гораздо *большим*, чем его *собственный* радиус. Простите, но прецессия свободно движущихся в магнитном поле электронов – это классика, это многократно доказанный факт. Почему же движущийся электрон атома должен вести себя как-то иначе?! Таким образом, мы фактически предположили, что электрон в атоме *при наличии внешнего магнитного поля* (а именно на электронах в атомах, а не на свободных электронах установлены их основные магнитные свойства!) не только носится по орбите вокруг ядра, но ещё и крутится по кругу вокруг \vec{B} , то есть прецессирует. Вот откуда в опытах Эйнштейна-де Газа оказывалось такое странное (удвоенное) гиромагнитное отношение. Разумеется, электрону присуще и *собственное* вращательное движение, которое и делает его зарядом, но это движение, этот ток порождает много меньший магнитный момент из-за малости радиуса электрона.

Магнитный же момент *орбитального* движения электрона в атоме водорода вполне соответствует магнетону Бора μ_B :

$$(9.16) p_m = I \cdot S = \pi r_b^2 \cdot \frac{q_0 v}{2\pi r_b} = \frac{q_0 v r_b}{2} = \frac{1.602 \cdot 10^{-19} \cdot 2.18 \cdot 10^6 \cdot 5.28 \cdot 10^{-11}}{2} = 9.22 \cdot 10^{-24} [\text{Дж} \cdot \text{Тл}].$$

Нельзя не отметить, что и сами опыты Эйнштейна - Де Гааза с определением гиромагнитного отношения в железном стержне допускают множество трактовок: иная эффективная масса электронов, участие в процессе другого числа электронов, чем полагали экспериментаторы и т.д. и т.п. Так что экспериментальное выяснение магнитных свойств самих элементарных частиц как таковых ещё впереди.

§ 9.5. Мягкий и вязкий. Излучение при ускорении. Ускорение элементарного заряда

Попытка изменить скорость элементарного заряда приводит к нескольким явлениям: во-первых, заряд сопротивляется этому ускорению с силой инерции F , во-вторых, он движется в пространстве ускоренно, в-третьих, он наверняка испытывает механическую *деформацию*, хотя бы в малейшей степени. Поэтому, наблюдая экспериментальный факт излучения электромагнитных волн ускоренными зарядами, мы не можем ограничиться констатацией увиденного, как это фактически делает современная физика, а должны понять и показать, какие именно явления, сопутствующие ускоренному движению заряда, и как именно приводят к появлению электромагнитных волн. В любых макроскопических излучателях доселе был необходим колебательный процесс, чтобы впоследствии излучение. Есть все основания положить, что и в ускоряемом электроде происходит также некий «колебательный» процесс.

Логика наших рассуждений довольно прозрачна: ускоренно движущийся заряд есть переменный ток, и в то же время заряд есть самый маленький проводник. Когда переменный ток течёт через макроскопические проводники, мы всегда получаем излучение. А чем тут другая ситуация? Итак, рассмотрим для начала равноускоренное движение. Его спектр будет спектром линейно нарастающего *импульса тока*. Такой спектр, как известно, будет иметь вид $1/f^2$. Способность же проводника длиной $l = 2r_0$ излучать равна излучательной способности диполя длины l . Излучать электрон будет вследствие колебаний, в которые он приходит под действием ускоряющей силы и силы инерции.

Как известно, средняя мощность излучения диполем Герца равна:

$$(9.17) \bar{P} = \frac{\mu_0 l^2 \omega^2 I_0^2}{12\pi c}.$$

Имелось в виду излучение при подведении гармонического тока I_0 . А что такое ток в случае равноускоренного движения заряда? Мы это уже выясняли ранее и неоднократно:

$$(9.18) I = \frac{qv}{l},$$

где q – заряд, v – скорость.

Не вызывает сомнений, что член $\omega^2 I_0^2$ в (9.17) - это квадрат производной тока. Почему? Потому что электромагнитную «волну» в вакууме производит ток, текущий через диполь. Этот ток снаружи диполя замыкается токами через вакуум, то есть он есть ток смещения. Излучение порождается индукцией, как мы показали ранее. Индукция пропорциональна производной тока. Производная тока равна по амплитуде:

$$(9.19) \frac{dI}{dt} = \frac{qa}{l},$$

где a – ускорение. Квадрат амплитуды производной тока равен:

$$(9.20) \left(\frac{dI}{dt} \right)^2 = \frac{q^2 a^2}{l^2}.$$

Спектр же квадрата гармонического тока, выраженный через его производную будет иметь вид:

$$(9.21) I_0^2(\omega) = \frac{(\sqrt{2})^2}{\omega^2} \cdot \left(\frac{dI}{dt} \right)^2 = \frac{q^2 a^2}{l^2} \cdot \frac{2}{\omega^2}.$$

Подставляя (9.21) в (9.17) получим для средней мощности:

$$(9.22) \bar{P} = \frac{\mu_0 l^2 \omega^2}{12\pi c} \cdot \frac{q^2 a^2}{l^2} \cdot \frac{2}{\omega^2} = \frac{\mu_0 q^2 a^2}{6\pi c},$$

то есть получили *классическую формулу излучения ускоренного заряда*, которая показывает независимость мощности излучения от частоты. Если рассмотреть механические движения заряда по *гармоническому* закону, то, конечно же, получим *другую классическую формулу*:

$$(9.23) \bar{P} = \frac{\mu_0 A^2 \omega^4 q^2}{12\pi c}.$$

где A - амплитуда смещения заряда. Поскольку (9.22) и (9.23) относятся к одному и тому же заряду, то можем оценить механическую деформацию ускоряемого заряда и спектральный состав деформаций:

$$(9.24) \frac{\mu_0 q^2 a^2}{6\pi c} = \frac{\mu_0 A^2 \omega^4 q^2}{12\pi c} \Rightarrow \frac{A^2 \omega^4}{2} = a^2 \Rightarrow \frac{A \omega^2}{\sqrt{2}} = a.$$

Откуда можно записать для спектра деформаций:

$$(9.25) A(\omega) = \frac{\sqrt{2}a}{\omega^2}.$$

Это известный спектр линейно изменяющейся во времени величины. Теперь ясно и понятно, что деформация электрона под действием ускорения носит линейный характер, то есть *постоянно нарастает со временем, пока действует ускорение*. Это значит, что передний и задний края ускоряемой частицы движутся чуть-чуть по-разному. Абсолютная величина деформации, по всей видимости, ничтожна. Поэтому при малых ускорениях деформацию электрона невозможно заметить в опытах непосредственно. Но можно оценить по излучению. Потери на излучение, конечно же, отличны от нуля и при не слишком больших ускорениях. Это похоже на то, как вы пытаетесь ускорить мешок с вязкой жидкостью: он, с одной стороны, ускоряется как единое тело, а с другой, он сравнительно медленно, но неуклонно деформируется. На эту деформацию уходит

энергия. Если деформация носит отчасти неупругий характер, то вот эта неупругость, вызывающая безвозвратные потери энергии и есть аналог лучевого трения, потерь энергии на излучение.

Выводы: элементарный заряд электрически эквивалентен диполлю Герца длины $2r_0$.

Элементарный заряд под действием ускорения *непрерывно деформируется*, вызывая белое излучение одинаковой мощности на всех частотах (если всё происходит в веществе, то вещество поглощает отдельные частоты и искажает спектральный состав излучения!). *Излучение ускоренного заряда говорит о том, что он не является абсолютно твёрдым телом. Он деформируем.*

Поскольку равноускоренный заряд излучает, а как мы ранее установили, заряд, неподвижный в поле тяготения, равноускорен относительно окружающего эфира (вакуума), то он вроде бы также должен излучать. Не правда ли? Однако опыты показывают, что даже весьма приличный заряд Земли (600 000 Кулон) в поле её тяготения не излучает. Почему? Наш подход даёт совершенно понятный ответ: *электрон излучает до тех пор, пока он деформируется*. Но рано или поздно наступает момент, когда дальнейшая деформация становится невозможной и прекращается. Такой *предельно деформированный* электрон, даже будучи ускорен далее, уже не будет излучать. Так как тяготение установилось значительное время тому назад, то все заряды в поле тяготения давно деформировались до предела (при данном ускорении) и перестали излучать.

Другой вопрос: что происходит, если ускорять *связанные* заряды? Не компенсируются ли взаимно излучения отдельных зарядов при этом? Видимо, да. Иначе каждый раз, махнув рукой, состоящей из астрономического количества зарядов, мы бы заметно излучали. Да и вся материя на Земле, находясь в поле тяготения и состоя из зарядов, излучала бы со страшной силой. Да и орбитальное движение планеты приводило бы к огромному излучению. Раз этого нет, то, следовательно, ускоренные заряды не всегда излучают, не при всех условиях. И квантовая механика тут явно не причём. Постулаты Бора следовало бы изменить. Не *электрон в атоме, находясь на стационарных орбитах, не излучает*, а наоборот: *электрон излучает, только перемещаясь с одной стационарной орбиты на другую*.

§ 9.6. Число «пи» или свойства электрона, о которых забыли подумать

Возмущённый электрон и его реактивность

В предыдущих главах нами была выведена новая характеристика элементарного заряда – собственная индуктивность электрона $L_0 = \frac{\mu_0 \cdot r_0}{2\pi}$. Эта величина являет собой коэффициент *самоиндукции*, обнаруживаемый при попытке ускорить заряд как целое. Зададимся теперь несколько иным вопросом – как поведёт себя такой модельный заряд, если установившееся за счёт внешних сил ускорение внезапно *прекратится*? Поскольку движущийся электрон представляет собой конвекционный ток, а никакой ток не может прекратиться или измениться мгновенно, то ЭДС самоиндукции будет продолжать действовать некоторое время *после* прекращения действия внешней вынуждающей силы. Эта сила приведёт к отрицательному ускорению электрона, что в свою очередь вызовет изменение направления действия сил самоиндукции. Нам представляется, что электрон придёт в колебательное движение при сохранении его средней поступательной скорости.

Пусть на некотором конце сферы заряд возмущён внешним воздействием, и возмущение двинулось по сфере от источника возмущения. Сгущение заряда на противоположном конце приводит к нарушению симметрии сил Кулона (хотя мы теперь

понимаем, что силы Кулона, это всё те же силы взаимной индукции криволинейных токов, но иногда мы будем использовать представления электростатики, просто для удобства мышления) и появлению дополнительных электростатических сил, стремящихся вернуть равновесие. Поскольку перемещение заряда по сфере – это протяжённые в пространстве токи, то вступают в силу законы индукции, ограничивающие скорость этого перемещения и создающие инерцию перемещения. Налицо все условия для возникновения внутренних колебаний электрона. При такой модели оказывается, что возмущение заряда сначала перемещается на противоположный полюс сферы, а затем возвращается в первоначальную точку. Процесс повторяется, энергия этого процесса постепенно расходуется на «лучевое трение», т.е. на хорошо известное явление излучения ускоряемым зарядом. При малом возмущении заряда его геометрические размеры изменяются мало. Таким образом, емкость и собственную индуктивность можно считать постоянными. Следует только учесть, что за один цикл возмущение заряда проходит через электрон дважды. Мы предлагаем учесть это, вводя «*волновую индуктивность*», равную «*собственной индуктивности*», умноженной на 2 :

$$(9.26) L_w = 2L_0 = \frac{\mu_0 \cdot r_0}{\pi} \text{ [Гн]}.$$

Волновая индуктивность отражает только что подмеченное нами свойство электрона возмущаться не только как целое, а и в более «мелком» масштабе, частями. С другой стороны, вспомним, что собственная емкость электрона в нашей модели принята «классическая» и в отношении неё никаких изменений не произошло:

$$(9.27) C_0 = 4\pi\epsilon_0 r_0 \text{ [Ф]}.$$

В обеих величинах фигурирует некий эффективный радиус электрона r_0 , ранее выведенный нами: $r_0 = 1.408879 \cdot 10^{-15}$ [м]. Несложно вычислить из (9.26) и (9.27):

$$L_0 = 2.817758 \cdot 10^{-22} \text{ [Гн]}.$$

$$L_w = 2L_0 = 5.635516 \cdot 10^{-22} \text{ [Гн]}.$$

$$C_0 = 1.5675916 \cdot 10^{-25} \text{ [Ф]}.$$

Некоторые важнейшие следствия из наличия реактивностей электрона

Коль скоро мы определили *реактивности* электрона и дали ему возможность совершать некие колебательные движения, то интересно было бы получить его собственную (резонансную) частоту, как колебательной LC - системы, а заодно определить и его волновое сопротивление.

По формуле Томсона для колебательной LC - системы определим угловую частоту резонанса:

$$(9.28) \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_w C_0}} = \frac{c}{2r_0} = \frac{c}{d_0} = 1.0639416 \cdot 10^{23} \text{ [рад/с]},$$

где $c = 2.99793 \cdot 10^8$ [м/с] - скорость света в вакууме. Соответственно частота ν_0 резонанса в герцах:

$$(9.29) \nu_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{c}{4\pi \cdot r_0} = 1.693315 \cdot 10^{22} \text{ [Гц]}.$$

А соответствующая данной частоте длина волны:

$$(9.30) l_0 = \frac{c}{\nu_0} = 4\pi \cdot r_0 = 1.7704497 \cdot 10^{-14} \text{ [м]},$$

что подводит нас к мысли о том, какой именно *полный путь* по «электронной сфере» проходит возмущение заряда за один период его колебаний.

Отсюда уже элементарно определяется период τ_0 колебаний зарядового возмущения электрона:

$$(9.31) \tau_0 = \frac{1}{\nu_0} = 5.905575 \cdot 10^{-23} \text{ [с]}$$

А волновое же сопротивление, как известно:

$$(32) Z_0 = \sqrt{\frac{L_w}{C_0}} = \sqrt{\frac{\mu_0}{4\pi^2 \varepsilon_0}} = \frac{Z_B}{2\pi} = 59.958444 \approx 60 \text{ [Ом]},$$

где Z_e - именуется в физике «волновое сопротивление вакуума» ($Z_e = 376.73006 \approx 377 \text{ [Ом]}$).

То есть мы только что установили, что электрон, будучи материальным телом, имеет волновое сопротивление, отличное от «волнового сопротивления открытого вакуума» ровно в 2π раз. При желании, это можно было бы счесть «физическим смыслом числа пи». Другой разговор, что понятие, которое сегодня принимается за волновое сопротивление вакуума, требует глубокого переосмысления. Мы покажем это в дальнейшем, в главе 12. Нельзя не отметить, что для заряженной элементарной частицы любой массы волновое сопротивление будет именно таким, ибо не зависит ни от величины заряда, ни от его эффективного радиуса.

Так как же выглядит реальный электрон?

Понятно, что наши рассуждения, проделанные с помощью модели электрона как *плоского кольцевого тока смещения*, показывают пока лишь принципиальную возможность объяснить сущность элементарных зарядов и самого понятия «заряд». Но совершенно не факт, что реальный электрон именно плоский. Скорее всего, ток, которым является реальный электрон, движется не в одной плоскости, а одновременно в *двух перпендикулярных плоскостях*, обеспечивая электрону пространственную изотропность, шарообразность. Мы полагаем так, поскольку нет никаких данных, что элементарные частицы обладают какой-либо анизотропией. Позитрон выглядит точно также, как электрон, с той разницей, что вектор напряжённости поля внутри позитрона направлен противоположно электронному. Протон идентичен позитрону, только его размер на три порядка меньше. Про антипротон уже всё, надеемся, понятно?

§ 9.7. «Релятивистская» масса электрона и других заряженных частиц. Объяснение опытов Кауфмана из природы зарядов

В начале XX века в экспериментах на ускорителях была установлена странная закономерность: чем сильнее разгоняли электрон, тем труднее становилось его ускорить. Создавалось впечатление, что электрон как бы «тяжелее». Первые попытки объяснить массу электронов, исходя из электрических явлений и законов, привели к странному члену в формуле для массы. Выходило, что масса электрона зависит от скорости, с которой он движется. Сопоставляя эти формулы с результатами опытов Кауфмана по ускорению электронов, учёные заметили хорошее соответствие между теоретическими выражениями для массы и измеренными опытным путём энергиями околосветовых электронов. Получалось, что либо заряд, либо масса электронов зависит от скорости. Было ещё предположение Лоренца о том, что у движущегося электрона искажается его поле, обретает анизотропию (что, в принципе, эквивалентно сокращению длины электрона в направлении вектора скорости). И почти никто не поставил вопрос так, как его следовало бы поставить, исходя из Аристотелевой логики: *почему по мере роста скорости электрона в ускоряющем поле его взаимодействие с этим полем ослабевает?* Из всех возможных объяснений опытов Кауфмана было избрано самое невероятное: *изменяется масса электрона*. Поскольку масса полагалась (да и доселе полагается) фундаментальной и необъяснимой характеристикой материи, то зависимость от скорости отнесли на счёт так называемой «электромагнитной массы», а «массу покоя» стали полагать не зависящей от скорости. Неудивительно, что в наше время ни один нормальный школьник или студент не в состоянии понять релятивистскую концепцию массы.

Сейчас, продвинувшись в понимании природы заряда, мы уже можем понять, почему по мере роста скорости электрон всё слабее и слабее взаимодействует с разгоняющим его полем. И именно это воспринимается как изменение (рост) массы электрона. Все остальные случаи взаимодействия электрона с полем сводятся к этому простейшему. Представим себе простейший линейный ускоритель (рис. 9.3). В нём имеется избыток электронов на катоде и соответствующий недостаток на аноде. Именно этот факт и имеют в виду, говоря об *ускоряющем поле* линейного ускорителя. Значит, конкретный электрон разгоняет не какое-то абстрактное поле, а поле тех самых конкретных положительных (на аноде) и отрицательных (на катоде) элементарных зарядов, избыток которых там создан искусственно. Значит, достаточно разобрать, *как именно взаимодействует движущийся электрон с неподвижным электроном*.

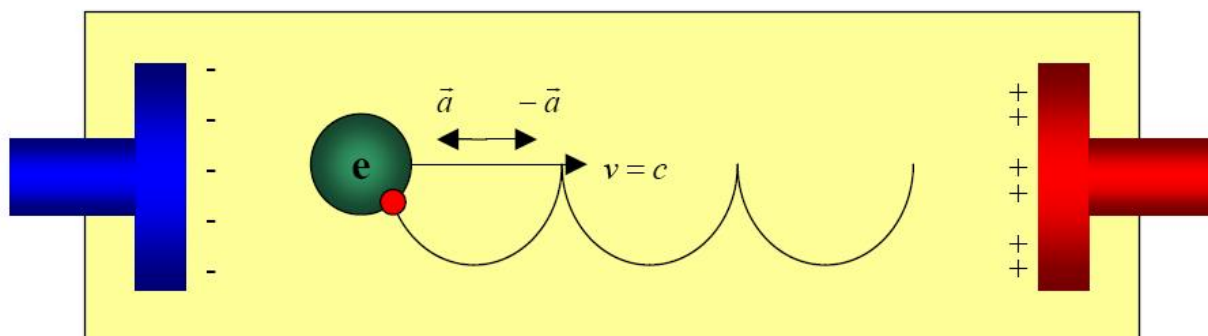


Рис. 9.3. *Линейный ускоритель, ускоряемый электрон и траектория точки на поверхности околосветового электрона*

Рассматривая взаимодействие кольцевого тока с пробным зарядом, мы установили, что Кулоновское взаимодействие имеет место потому, что заряд - это кольцевой ток. Кольцевой ток есть ток *ускоренный* (т.е. переменный), и его электромагнитная индукция

со стороны *ближайшей* к пробному заряду превалирует над индукцией другого знака, исходящей со стороны, *дальней* от пробного заряда. То есть, чтобы имело место Кулоновское взаимодействие необходимо, чтобы была определённая асимметрия между взаимодействием различных участков кольцевого тока с пробным зарядом. Теперь рассмотрим ситуацию, когда скорость электрона возрастает и приближается к скорости света. В этом случае пока внутреннее поле электрона поворачивается на 180 градусов, электрон успевает пройти почти свой диаметр (рис. 9.3). Траектория каждой точки на поверхности движущегося электрона является *циклоидой*. Когда скорость линейного движения приближается к скорости света, циклоида вырождается в набор «дуг» (рис. 9.4, 9.5). И получается, что индукция за первые пол-оборота внутреннего поля электрона практически полностью компенсируется индукцией за вторые пол-оборота. Взаимодействие *вдоль* вектора скорости уменьшается, вплоть до нуля. Зато появляется *перпендикулярное* скорости взаимодействие (сегодняшняя физика трактует его как магнитное взаимодействие релятивистских зарядов). Следовательно, при приближении скорости движения электрона к скорости света уменьшается его «продольное» взаимодействие с другими зарядами. Какими? Любыми, в том числе с зарядами катода и анода, разумеется. Это и означает на практике, что ослабевает *связь* электрона с ускоряющим полем. И *выглядит* так, словно электрон «тяжелеет»: его становится труднее разогнать. На самом же деле ни масса не растёт, ни заряд не изменяется, ни реальный размер электрона. Просто само Кулоновское взаимодействие, будучи изначально динамическим эффектом (явлением взаимоиндукции), естественным образом зависит от *взаимных* скоростей.

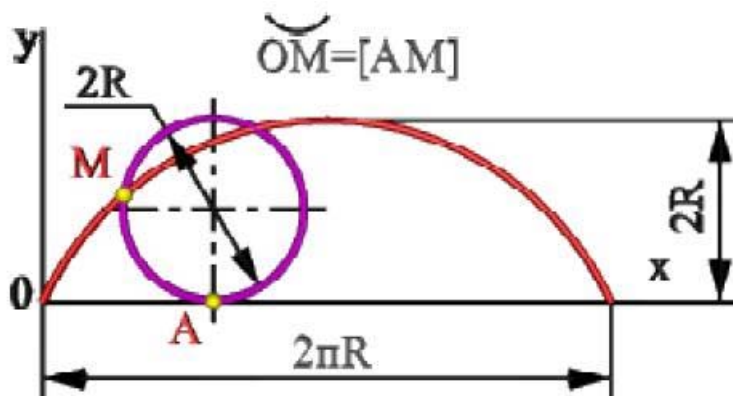


Рис. 9.4. Траектория каждой точки на "поверхности" электрона, движущегося ровно со скоростью света

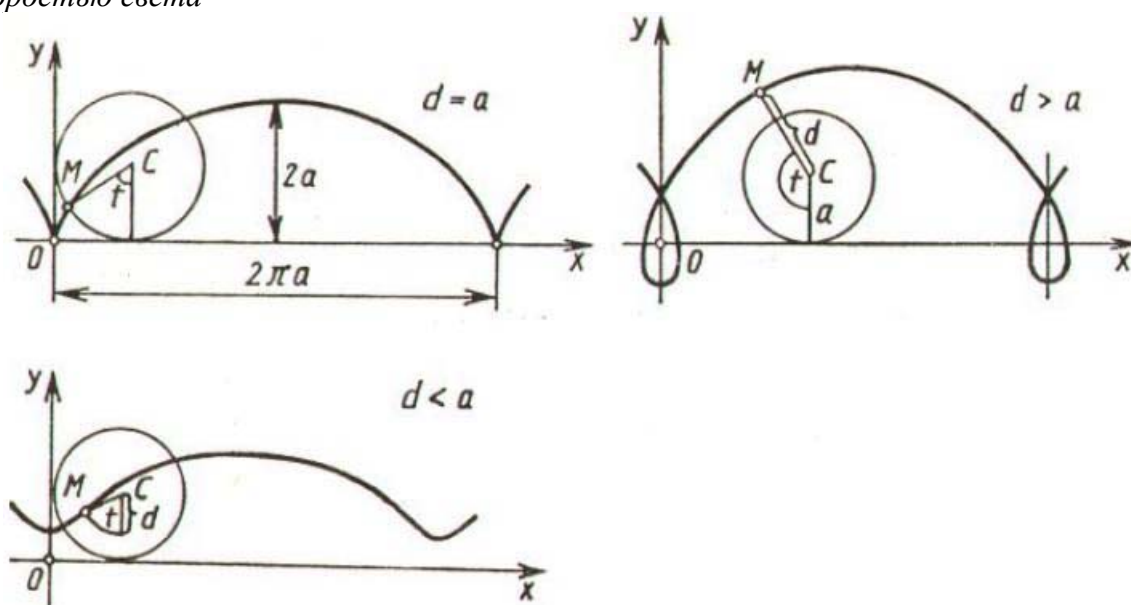


Рис. 9.5. *Траектории точек «поверхности» электрона при движении со скоростью равной скорости света, меньшей её и большей её*

Вот почему невозможно разогнать частицы до большей скорости, чем скорость света: мы разгоняем её за счёт той скорости, *которая внутренне присуща* всем частицам, а она равна ровно скорости света. А кроме заряженных частиц у нас ничего нет для разгона, разве что электромагнитная «волна», порождённая всё теми же частицами и имеющая всё ту же скорость света. Если же каким-либо волшебным образом мы ускорим частицу сверх скорости света (рис. 9.5, случай $d < a$), то подумайте сами, как именно она будет взаимодействовать с миром неподвижных частиц?

Литература

1. Г.Н.Берман. Циклоида. Об одной замечательной кривой и некоторых других, с ней связанных. М. Наука. 1980.
2. Б.А.Арбузов, А.А.Логунов. Строение элементарных частиц и связи между различными силами природы. УФН. Т.123. Вып. 3, ноябрь 1977 г.
3. Википедия. Элементарная частица.
<http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86%D0%B0>
4. Т.И.Трофимова. Курс физики. 9-е издание. – М.: Издательский центр «Академия», 2004 г.
5. Б. М. Яворский, Ю. А. Селезнев. Справочное руководство по физике. Для поступающих в вузы и для самообразования. М.: «Наука», 1989 г.
6. Завельский Ф.С. МАССА И ЕЁ ИЗМЕРЕНИЕ. М.: Атомиздат, 1974.

Глава 10. Неэлементарные частицы. Нейтрон. Дефект масс

§ 10.1. Взаимоиндукция элементарных зарядов и дефект масс

Из законов электромагнитной индукции мы вывели в главе 5 инерционную массу элементарных частиц, которая оказалась напрямую связанной с самоиндукцией элементарных зарядов. Но если есть самоиндукция, то, разумеется, должна существовать и *взаимоиндукция* различных частиц. И эта взаимоиндукция должна как-то проявляться, в особенности на расстояниях, сопоставимых с размерами элементарных частиц. Если поле самоиндукции ускоряемого протона, например, тормозит сам протон, останавливает его, то что будет делать это же поле с зарядом *другого* знака, расположенным поблизости? Конечно же, ускорять! Тогда становится понятно, что если расположить рядом две частицы разного знака так, чтобы они образовывали единую систему (например, атом водорода), то инерция такой системы окажется меньше, чем простая сумма инерций входящих в неё частиц. Поскольку связать две частицы в систему можно только одним способом: приведя их в сближение и взаимное движение, то возникнет вот такая ситуация. Частицы крепко связаны электрическим полем. Между ними есть некое расстояние R . От дальнейшего сближения их удерживают силы самоиндукции (т.е. инерция вращения вокруг общего центра тяжести). Частицы по-прежнему проявляют свойства самоиндукции, но теперь к ним добавилась ещё и взаимоиндукция. Инерция системы стала чуть меньше, чем сумма инерции каждой частицы по отдельности. Появился «дефект инерции». Обратите внимание: электростатическая связь между расположенными рядом частицами разных знаков, оказывается, существует *неотделимо* от «дефекта инерции». Дефект инерции воспринимается наблюдателем как «дефект масс» системы, поскольку наблюдатель не видит внутренних механизмов самоиндукции и взаимоиндукции частиц, а видит лишь конечный результат: несколько уменьшенную инерцию системы. Именно «дефектом масс» и был назван этот эффект в те времена, когда физический механизм инерции ещё был непонятен. Можно показать, что дефект масс системы из двух разноименных зарядов выражается как:

$$(10.1) \Delta m = \frac{\mu_0 q^2}{8\pi R},$$

где q - величина каждого из зарядов, входящих в систему, R - расстояние между зарядами в системе, μ_0 - магнитная проницаемость вакуума.

Можно показать также, что энергия W_{ce} связи двух одинаковых зарядов в системе выражается через «дефект масс» Δm :

$$(10.2) W_{ce} = \Delta m c^2 = \frac{\mu_0 q^2}{8\pi R} \cdot c^2.$$

В начале XX века Эйнштейном, Лоренцем и другими физиками был выведен общий закон (носящий характер постулата) о связи полной энергии системы и её массы $W = mc^2$. Представьте себе, что частица и античастица приведены почти в соприкосновение, т.е. расстояние между ними составляет два радиуса этих частиц. Тогда масса такой системы в соответствии с (10.1) будет равна половине суммы масс и равна, соответственно, массе

одной из них. Электрическое поле такой системы станет дипольным, и наружный наблюдатель начнёт воспринимать систему как нейтральную, не имеющую заряда, но с массой. В процессе сближения зарядов выделилась энергия. Величина этой энергии связана с массой получившейся «нейтральной» частицы соотношением (10.2). Поскольку дефект массы в этом случае Δm будет равен массе m_0 одной из частиц, и выражение для дефекта массы (10.2) будет выглядеть как известное соотношение Эйнштейна $W = m_0 c^2$.

Для тех, кому нравится несколько более формальный подход к вопросу, приведём более строгие выкладки.

§ 10.2. Энергия притяжения частиц

Как следует из наших представлений об элементарных зарядах, минимальное расстояние, до которого их можно сблизить, равно $2r_0$ (рис. 10.1). Поскольку с точки зрения электростатики сферически симметричные частицы можно иногда анализировать как точечные заряды, сосредоточенные в центрах сфер, то сила взаимного отталкивания сближенных до предельного расстояния частиц может быть записана как:

$$(10.3) F = qE = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 r^2},$$

где r – расстояние между центрами, например, электронов.

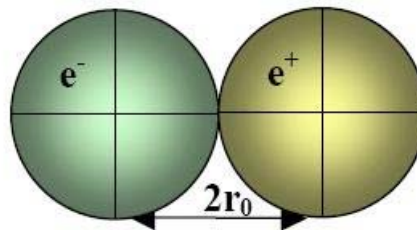


Рис. 10.1. Две одинаковые разноименно заряженные частицы на минимально возможном расстоянии

Энергия, которую надо затратить, чтобы развести два разноименных заряда, равна работе, производимой сторонней силой над зарядами. Эта работа может быть определена как интеграл:

$$(10.4) A = \int_{2r_0}^{\infty} F dr = \int_{2r_0}^{\infty} \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} dr = \int_{2r_0}^{\infty} \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} dr = -\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 r} \Big|_{2r_0}^{\infty} = -\frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 r_0} = W.$$

Теперь вспомним выведенное ранее из индуктивных свойств частиц выражение для массы элементарного заряда:

$$(10.5) m_0 = \frac{\mu_0 q^2}{8\pi r_0}.$$

Сопоставив (10.4) и (10.5), видим, что:

$$(10.6) W = \frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 r_0} = \frac{1}{\mu_0 \epsilon_0} \cdot \frac{\mu_0 q^2}{8\pi_0} = c^2 \cdot m_0.$$

То есть снова получили знаменитое выражение Эйнштейна $W = mc^2$. Видим, что сущность этого выражения в том, что *работа, которую надо затратить, чтобы развести электрон с позитроном, пропорциональна способности электрона (позитрона) оказывать сопротивление ускорению*. Такое положение вещей определяется строением заряда (глава 9), который имеет конечные геометрические размеры, и законами электромагнитной индукции.

Можно было бы обойтись и без интегрирования, если сразу использовать определение *потенциала* и выражение для потенциалов точечных зарядов. Поскольку потенциал и есть работа по перемещению из бесконечности, то придём ровно к тому же, к чему и пришли. Сделанный анализ происхождения мифологизированной формулы Эйнштейна приводит нас ещё раз к выводу о том, что нет никакой другой массы, кроме электрической. Если бы не эта мифологизация, то уже около ста лет как можно было бы разобраться с проблемами инерционной и гравитационной масс и связанными с ними явлениями. В самом деле, стоило в начале XX века не впасть в абсолютизацию связи энергии с массой, и классический радиус электрона был бы вычислен правильно. После этого, возможно, стали бы сходиться концы с концами и в других местах физической картины мира, и, возможно, электрические теории массы были бы доведены до логического завершения.

§ 10.3. Античастицы

Давно установлено в физике элементарных частиц, что для каждой элементарной частицы существует противоположно заряженная античастица. Античастица во всём подобна частице, кроме знака заряда. Мы знаем теперь что такое заряд: это криволинейный ток (связанных зарядов вакуума), вызывающий явления индукции. Мы выяснили, что такое знак заряда: это направление поля индукции. Выяснив возможную структуру электрона (и других истинно элементарных частиц), мы теперь можем сказать, что понимаем, что такое *античастица*. Если внутренний заряд в электроне (глава 9) положить отрицательным, а внешнюю оболочку - положительной и привести последнюю во вращение со скоростью света, то такая частица во всём будет подобна электрону, кроме воспринимаемого внешним наблюдателем «знака» заряда. Некоторым элементарным частицам с нулевым суммарным зарядом не удалось найти античастицу. Тогда говорят, что античастица всё-таки существует, но она совпадает с самой частицей. На самом деле «истинные» элементарные частицы всегда обладают зарядом, и только для них имеет смысл говорить об античастицах.

§ 10.4. Простейшая модель нейтрона

Простые модели нейтрона разрабатывались исследователями и ранее, однако большинство простых моделей, описывающих нейтрон как электрон с протоном, два электрона и позитрон с протоном и т.п., наталкивались на вопрос о массе нейтрона, которая известна с высокой степенью точности. Видя, что не сходится даже масса, учёные как правило, прекращали дальнейшее развитие простых моделей. После появления индукционной теории инерции и массы стало понятно, что при сильном сближении разноименно заряженных частиц масса может быть существенно меньше суммы масс этих частиц. Это и натолкнуло нас на мысль попытаться развить *самую простую модель*

нейтрона: как систему из протона и антипротона. Согласно индукционной теории, масса такой системы будет зависеть от расстояния между частицами по формуле:

$$(10.7) m_n = (m_p + m_{p^-}) - \Delta m = (m_p + m_{p^-}) - \frac{2\mu_0 q^2}{8\pi 2r_n},$$

где r_n - радиус нейтрона. Казалось бы, надо поставить $2r$, вместо r , поскольку расстояние между центрами частиц именно удвоенное r . Но вспомним, что частицы влияют каждая на каждую, создавая, конечно же, дефект массы в половину массы частицы. То есть два раза по половине. Изобразим эту простую модель на рис 10.2.

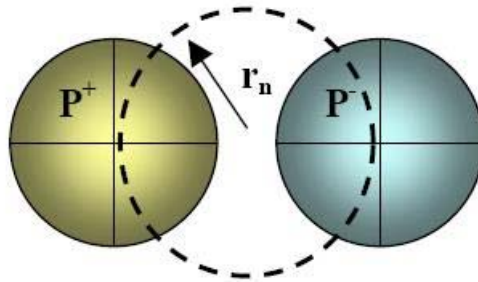


Рис. 10.2. Модель нейтрона в виде двух связанных античастиц

Зная массы протона и антипротона, а также нейтрона, мы по формуле (10.1) получим радиус нейтрона:

$$(10.8) \Delta m = (m_p + m_{p^-}) - m_n = \frac{\mu_0 q^2}{8\pi r_n} \Rightarrow r_n = \frac{\mu_0 q^2}{8\pi((m_p + m_{p^-}) - m_n)} \approx r_p = 0.7684 \cdot 10^{-18} [\text{м}],$$

что лишь чуть-чуть превышает радиус протона, то есть протон и антипротон почти касаются в нейтроне, но всё-таки разделены малым расстоянием. Это расстояние и спасает их от аннигиляции на длительное время. При этом расстоянии **дефект массы огромен** и составляет около 50% для каждой частицы. Кстати говоря, столь малое расстояние между частицей и античастицей вполне может объяснить тот факт, что свободный (вырванный из ядра) нейтрон не живёт долго, а распадается, поскольку даже не слишком энергичное внешнее воздействие среды может привести к касанию частиц и их взаимной аннигиляции.

Разумеется, их кулоновское взаимодействие должно компенсироваться отталкиванием вследствие центробежных сил, возникающих из-за вращения частиц по орбите с радиусом нейтрона. Отсюда можно найти скорость вращения частиц по орбите. Помним, что массы частиц испытывают дефект в половину величины. Итак, запишем равенство сил:

$$(10.9) F_{\text{центр}} = F_{\text{Кулона}} \Rightarrow \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 d_n^2} = \frac{(m_n/2) \cdot v^2}{r_n} \Rightarrow \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r_n} = m_n \cdot v^2,$$

где дефект массы, $m_p = 1.6726485 \cdot 10^{-27}$ кг. $m_n = 1.6749543 \cdot 10^{-27}$ кг., $d_n = 2r_n$ - диаметр нейтрона. Отсюда можно выразить скорость v :

$$(10.10) v^2 = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r_n m_n} = 8.96078619767979 \cdot 10^{16} [m^2 / c^2],$$

где $\epsilon_0 = 8.85418782$ [Ф/м]. Отсюда $v = 2.99345723 \cdot 10^8$ [м/с]. Удивительно, но мы получили почти в точности *скорость света*! Чуть меньше, так как «радиус» нейтрона всё же чуть-чуть больше радиуса протона, да и масса чуть-чуть больше. Речь идёт именно о радиусе орбиты. Размер же нейтрона, согласно рис. 10.2, окажется в два раза больше, то есть около $1.5368 \cdot 10^{-18}$ [м]. Диаметр ещё вдвое больше и равен примерно $3.07 \cdot 10^{-18}$ [м]. Таков ли реальный нейтрон, мы, конечно же, не знаем. Но давайте попробуем с таким непривычным нейтроном освоиться, поработать.

Сама возможность существования систем частица-античастица доказано опытами по синтезу позитрония, состоящего из позитрона и электрона. Время жизни свободного позитрония очень невелико, исчисляется микросекундами. Время жизни свободного нейтрона, как мы уже отмечали, тоже не бесконечно, около 860 секунд, что намного больше времени жизни позитрония. Это неудивительно, учитывая, что энергия связи в нейтроне на много порядков выше, чем энергия связи в атоме позитрония. Однако в составе ядер, как известно, нейтрон вполне себе стабилен и не склонен к распаду. Принято считать, что причина этого лежит в особых свойствах ядерных сил, якобы имеющих совершенно иную природу, нежели природа электромагнитных сил. Причём одних только сильных ядерных взаимодействий теоретикам не хватило, и пришлось приплести сюда ещё и *слабые* взаимодействия, иначе все построения разваливались. Что за загадочные силы – никому неведомо, ибо проявляются они только на микроуровне, природа их неясна, законы установлены лишь косвенно. В общем, объяснения ничем не лучше «торсионных полей». Ну что же! Построив элементарные частицы, а затем и нейтрон, мы уже вполне готовы рассмотреть простейшее ядро и слегка «пощупать» эти загадочные ядерные взаимодействия.

§ 10.5. Загадка ядерных сил

Рассмотрим теперь взаимодействие нашего модельного нейтрона с модельным же протоном соответствующего радиуса (рис. 10.3).

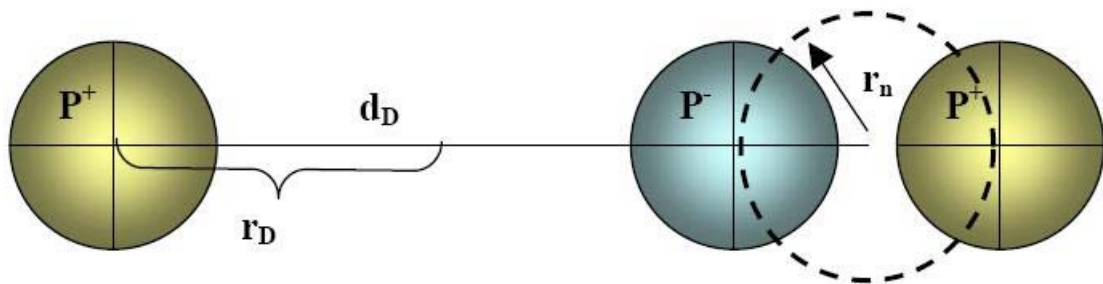


Рис. 10.3. Ядро дейтерия и схема взаимодействия нуклонов

В силу высокой степени неоднородности поля вблизи протона наш "дипольный" нейтрон будет испытывать силу притяжения к любому заряду, в том числе и к протону. Поскольку один нейтрон и один протон образуют ядро дейтерия, параметры которого довольно хорошо изучены, то с него и начнём. Для начала определим дефект массы ядра дейтерия. Масса его $m_D = 2.01355321270$ а.е.м. Массы же протона и нейтрона: $m_p = 1.0072764$, $m_n = 1.00866491560$. Значит, в СИ $m_p = 1.6726485 \cdot 10^{-27}$ кг. Таким образом, дефект массы $\Delta m_D = 0.0023881029$ а.е.м. = $0.0039656 \cdot 10^{-27} = 3.9656 \cdot 10^{-30}$ кг.

Проверим найденный дефект массы по энергии связи на нуклон. $W = \Delta m \cdot c^2 = 2.22[\text{МэВ}]$. Поскольку нуклонов два, то энергия на нуклон 1.11 МэВ, что соответствует справочным данным. Посмотрим, на каком расстоянии от протона должен находиться «наш» нейтрон, чтобы дефект массы принял нужное значение. Частицы расположены на расстоянии r друг от друга и каждая влияет на каждую. Поскольку дефект массы, как мы уже выясняли ранее, выражается той же формулой, что и масса, то можем сразу записать:

$$(10.11) \Delta m_D = (m_D - m_n - m_p) = -\frac{2\mu_0 q^2}{8\pi 2r_D} = -\frac{\mu_0 q^2}{8\pi r_D}.$$

Глядя на рис.10.3, можно также сказать, что r_D во столько раз будет больше r_n во сколько масса нейтрона больше дефекта масс ядра дейтерия, т.е. примерно в 422 раза. Вычисляя r по формуле для дефекта масс, получим:

$$(10.12) r_D = -\frac{\mu_0 q^2}{8\pi \Delta m_D} = 3.24 \cdot 10^{-16}[\text{м}].$$

По соотношению масс и размеров, основываясь на представлениях о само- и взаимной индукции частиц, получим:

$$(10.13) r_D = r_n \cdot \frac{m_n}{\Delta m_D} = 0.768 \cdot 10^{-18} \cdot \frac{1.00866491560}{0.0023881029} = 0.768 \cdot 10^{-18} \cdot 422 = 3.24 \cdot 10^{-16}[\text{м}].$$

Видим прекрасное совпадение результатов. При этом размер ядра будет равен диаметру этой системы (рис. 10.3), то есть $0.647 \cdot 10^{-15}$ м. Порядок величины тот же, что и для современных оценок размера простых ядер.

Разумеется, хочется посчитать тангенциальную скорость вращения системы протон-нейтрон вокруг центра масс. В данном случае, ввиду большого радиуса окружности вращения по сравнению с размерами частиц, не будем учитывать взаимную индукцию частиц при круговом движении. Кулоновская же сила заменится на разность сил Кулона действующих между протоном и компонентами нейтрона:

$$(10.14) F_{\text{центр}} = F_{\text{Кулона}} \overrightarrow{pp} - F_{\text{Кулона}} \overrightarrow{p\bar{p}} \Rightarrow \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0(2r_D - r_n)^2} - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0(2r_D + r_n)^2} = \frac{m_p \cdot v^2}{r_D}$$

отсюда можно выразить квадрат линейной скорости:

$$(10.15) v^2 = \frac{r_D e^2}{4\pi\epsilon_0 m_p} \cdot \left(\frac{1}{(2r_D - r_n)^2} - \frac{1}{(2r_D + r_n)^2} \right) = \frac{8r_n r_D^2 e^2}{4\pi\epsilon_0 m_p (4r_D^2 - r_n^2)^2} = 0.504 \cdot 10^{12}[\text{м}^2 / \text{с}^2].$$

Откуда скорость составит $0.71 \cdot 10^6$ [м/с]. Вспомним здесь, что скорость вращения электрона по первой орбите атома водорода $2.18 \cdot 10^6$ [м/с], то есть **втрое (а точнее, ровно в корень квадратный из трёх «ни» раз)** выше. Таким образом, мы построили как простейшую модель нейтрона, так и простейшую модель ядра дейтерия и показали, что так называемые «ядерные силы» есть не что иное, как **суперпозиция сил Кулона**, это просто мультипольные электростатические силы. Всё определяется малостью расстояний: на таких расстояниях даже дипольное взаимодействие весьма велико. Поскольку наше

ядро получилось вполне «правдоподобным», то возможно, что и вышеописанный нами нейтрон вполне может быть, в самом деле, системой из двух тяжёлых заряженных античастиц, как мы и предположили в начале главы.

Литература

1. Т. И. Трофимова. Курс физики. 9-е издание. М. Академия. 2004.
2. G. A. Miller, "Charge Densities of the Neutron and Proton," Phys. Rev. Lett. 99, 112001 (2007).
3. «Энциклопедия «Кругосвет». Статья "Атомного ядра строение"
http://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/fizika/ATOMNOGO_YADRA_STROENIE.html
4. Ю. К. ЗЕМЦОВ, К. В. БЫЧКОВ. Курс лекций по атомной физике.

Глава 11. Атом водорода и строение вещества

§ 11.1. Простейшая модель атома водорода. Всё ли изучено?

Развив представления о строении элементарных частиц, можно перейти к представлениям о более крупных и сложных структурных единицах зримой материи, к атомам. Самым простым и хорошо изученным на сегодняшний день представляется атом водорода, состоящий из одного протона и одного электрона. В начале XX века трудами Резерфорда и Бора была создана планетарная модель атома водорода. Согласно этой модели, электрон совершает круговое движение вокруг протона таким образом, что центробежная сила компенсирует силу Кулоновского притяжения между электроном и протоном, подобно тому, как при движении планет по орбитам центробежная сила компенсирует силу тяготения. У этой модели был, казалось, лишь один серьёзный недостаток: учёные уже знали, что движущийся ускоренно электрон должен излучать электромагнитные волны и, соответственно, терять энергию. Поэтому он должен был упасть на протон. Правда, тогда учёные даже не задавались вопросом, а *как долго* будет излучать электрон под воздействием постоянного ускорения? Микросекунду? Секунду? Час? Год? Вечность? Даже не поставив в явной форме вопроса, они безмолвно приняли ответ «вечность». Нам трудно понять почему, но так случилось. Изучив данные о спектрах излучения и поглощения атомов водорода, проанализировав массу других данных, учёные пришли к выводу, что электрон в атоме водорода может двигаться не с любыми скоростями и не на любом расстоянии от протона, а лишь с определёнными скоростями и на определённых расстояниях. Эта идея известна как «постулаты Бора». Первый постулат Бора гласит, что электрон, движущийся по стационарным орбитам, не излучает электромагнитных волн и, следовательно, такое состояние атома устойчиво. Кроме того, этот постулат связывает радиус n -той орбиты и скорость движения электрона по орбите $m_0 v r_n = n\hbar$ ($n = 1, 2, 3, \dots$). Величину \hbar именуют модифицированной постоянной

Планка $\hbar = \frac{h}{2\pi}$, а целое число n – номером орбиты или «главным квантовым числом».

Второй постулат касается излучаемых атомом частот: при переходе с орбиты на орбиту электрон излучает порцию электромагнитной энергии с частотой $\nu = \frac{E_n - E_m}{h}$,

пропорциональной разности энергий стационарных состояний электронной орбиты. Сейчас, понимая, что электрон под воздействием постоянного ускорения не может излучать вечно, мы перефразировали «излучательную проблему» модели Бора: почему электрон излучает, переходя с орбиты на орбиту, понятно – потому что деформируется, а вот почему квантованы радиусы орбит? На этот вопрос мы тоже попытаемся ответить, но чуть позже. Пока же отметим, что, несмотря на отсутствие объяснений, постулаты Бора дали возможность **рассчитать** атом водорода, прежде всего его энергетические уровни, и сравнить их со спектрами излучения. Высокая степень совпадения расчета с опытами впечатляет и по сей день, однако, как оказалось, более тонкие эксперименты выявили массу особенностей, которые модель Бора никак не предсказывала. Под давлением опытных данных от полуклассической модели Бора в итоге отказались (её трудно было развивать, так как она изначально мало что объясняла, базируясь на постулатах) и заменили ещё менее внятной и ещё более перегруженной постулатами квантово-механической моделью, основанной на уравнении Шрёдингера. Все модели атома водорода традиционно проверяются по энергии связи электрона с протоном. А энергия вычисляется, конечно же, по тончайшим спектральным опытам. Следовательно, собирая

свою версию модели атома водорода, мы должны как минимум объяснить энергию связи. Понимая теперь, что энергия связи напрямую связана с дефектом массы в системе элементарных зарядов, мы можем сразу рассчитать дефект массы (т.е. дефект инерции), а из неё уже энергию.

Явление дефекта масс обнаружено для ядер атомов, существует ли дефект масс при присоединении к ядрам электронов, кажется, никто не изучал. Мы теперь понимаем, что дефект массы в ядрах возникает ровно по тому же механизму, по которому должен возникать дефект массы при образовании атомов. Просто «атомный дефект» на много порядков меньше по величине. Напомним, что (глава 5) явление *дефекта* массы объясняется как явление *взаимоиндукции* двух разноименных, близкорасположенных, ускоренно движущихся зарядов.

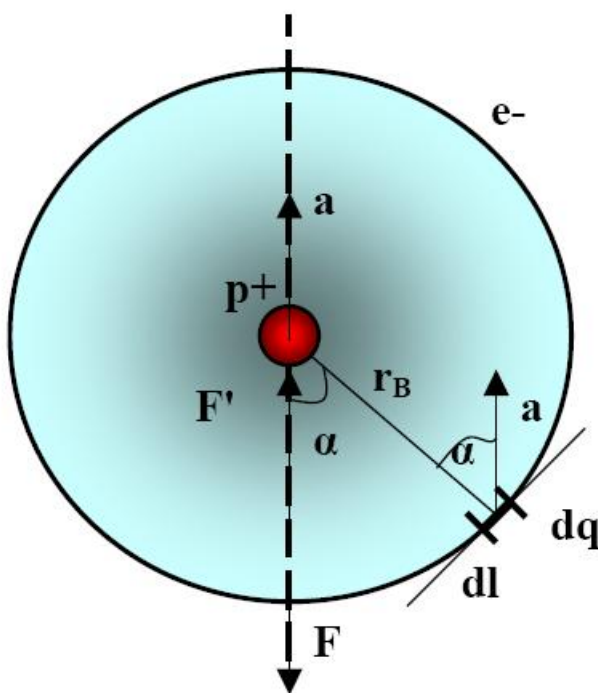


Рис. 11.1. Взаимоиндукция электрона и протона в атоме водорода при ускоренном прямолинейном движении атома, как целого

Для выяснения механизма образования дефекта масс нам необходимо принять некую модель строения атома водорода. Можно просто взять электрон и протон, отстоящие друг от друга на первый радиус Бора. В этом случае расчёты будут настолько просты, что читатель может легко проделать это самостоятельно. Но нам часто указывали, что электрон, дескать, движется и поэтому «размазан» по орбите и надо рассматривать размазанный, а не сосредоточенный электрон. Коль так, то мы рассмотрим именно такой «размазанный» электрон и покажем, что на результат это ни в малейшей степени не повлияет. Поскольку такая модель симметрична в любой плоскости, проходящей через центр системы (протон), то мы упростим модель до плоской, полагая электрон отрицательно заряженным тонким кольцом, а протон - сферическим зарядом в центре кольца. Радиус Бора r_B на несколько порядков превышает как радиус протона, так и радиус электрона (рис. 11.1).

Приняв указанную модель, рассмотрим, какие явления возникнут, если придать ускорение \bar{a} всей системе. Как мы уже отмечали в главе 5, в этом случае возникнут два рода явлений: во-первых, каждый компонент системы (протон и электрон) будут проявлять свойства *самоиндукции*, т.е. *инерционной массы*, а во-вторых, они будут

влиять друг на друга, то есть ускоряемый электрон будет оказывать особое силовое воздействие на протон и наоборот. Природа этого силового воздействия весьма проста: и протон и электрон, двигаясь равноускоренно, являются собой не только заряды, но и переменные токи, т.е. должны проявлять *взамоиндукцию*.

В силу специфически выбранной геометрии (рис. 11.1) мы уже не можем рассматривать электрон как точечный заряд и вынуждены рассмотреть взаимодействие протона с *каждым бесконечно малым элементом* dq полного заряда электрона, а затем проинтегрировать по кольцу.

Сила, которую будет оказывать элемент заряда dq на протон, будет определяться через напряжённость электрического поля dE , создаваемого переменным магнитным полем dB ускоренно движущегося элемента dq :

$$(11.1) dF = qdE .$$

Поскольку dE - это напряжённость поля самоиндукции, которую мы научились считать в главе 4, то:

$$(11.2) dE = \frac{1}{2} r_B \frac{dB}{dt} ,$$

где r_B - радиус Боровской орбиты, а dB есть магнитное поле, созданное меняющимся током, который является ускоренно движущимся элементом заряда dq . Соответствующая математика разработана Био, Саваром и Лапласом для магнитного поля элемента тока, однако в нашем случае есть отличие. Элемент dl не сонаправлен с током, а образует с ним некий угол $90 - \alpha$. Отметим, что угол α образуют также радиус, проведенный от элемента заряда dq к протону и направление действия ускорения a (рис. 11.1).

Такая конфигурация элемента заряда и направления тока приводит к тому, что вместо длины dl элемента тока dI следует рассматривать его *проекцию* на направление действия ускорения a . Кроме того, поскольку весь заряд электрона q размещён на кольце радиуса r_B , то элемент заряда dq может быть выражен через элемент длины dl как:

$$(11.3) dq = \frac{q}{2\pi r_B} dl .$$

Таким образом, для элемента тока dI можем записать:

$$(11.4) dI = Idl = \frac{q}{2\pi r_B} v \cdot dl \sin \alpha ,$$

где v - скорость движения элемента заряда вдоль направления ускорения.

Для такого элемента тока формула Био-Савара-Лапласа даёт выражение для его магнитного поля в месте нахождения протона:

$$(11.5) dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{dI \sin \alpha}{r_B^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{q}{2\pi r_B} \cdot \frac{dl}{r_B^2} \cdot v \cdot \sin^2 \alpha = \frac{\mu_0 q dl}{8\pi^2 r_B^3} \cdot v \cdot \sin^2 \alpha .$$

Определим теперь производную магнитного поля элемента тока по времени для подстановки в выражение (11.2):

$$(11.6) \frac{dB}{dt} = \frac{\mu_0 q dl}{8\pi^2 r_B^3} \cdot \sin^2 \alpha \cdot \frac{dv}{dt} = \frac{\mu_0 q dl}{8\pi^2 r_B^3} \cdot \sin^2 \alpha \cdot a.$$

Подставив результат в выражение (11.2), получим:

$$(11.7) dE = \frac{1}{2} r_B \frac{dB}{dt} = \frac{\mu_0 q dl}{16\pi^2 r_B^2} \cdot \sin^2 \alpha \cdot a.$$

Подставив dE в выражение для силы (11.1), получим:

$$(11.8) dF = qdE = \frac{\mu_0 q^2 dl}{16\pi^2 r_B^2} \cdot \sin^2 \alpha \cdot a.$$

Далее мы должны проинтегрировать все dF для всех возможных положений элементов dl . Чтобы перейти к интегрированию по углу, выразим dl через малый угол $d\alpha$:

$$(11.9) dl = r_B \cdot \sin d\alpha = r_B d\alpha,$$

так как синус бесконечно малого угла равен самому углу. Таким образом, полная сила, действующая со стороны электрона-кольца на расположенный в центре точечный протон будет представлять собой интеграл элементарных сил dF по всем углам α от нуля до 2π :

$$(11.10) \vec{F} = \int dF = \frac{\mu_0 q^2 \cdot \vec{a}}{16\pi^2 r_B^2} \cdot \int_0^{2\pi} r_B \sin^2 \alpha d\alpha = \frac{\mu_0 q^2 \cdot \vec{a}}{16\pi^2 r_B} \cdot \int_0^{2\pi} \sin^2 \alpha d\alpha = \frac{\mu_0 q^2}{16\pi r_B} \cdot \vec{a}.$$

Теперь вспомним, что не только электрон воздействует на протон, но и протон оказывает ровно такое же воздействие на электрон, причём силы эти сонаправлены. Следовательно, полученный результат (11.10) следует удвоить для получения полного значения «дефекта силы»:

$$(11.11) F_{полн} = 2F = \frac{\mu_0 q^2}{8\pi r_B} \cdot \vec{a}.$$

Нетрудно проверить, что полученная нами $F_{полн}$ противонаправлена силе инерции. Таким образом, реакция на ускорение для системы электрон-протон оказывается меньше (чем простая сумма реакций протона и электрона) на величину (11.11), что воспринимается, как «дефект массы».

$$(11.12) \Delta m = \frac{\mu_0 q^2}{8\pi r_B}.$$

Замечательно то, что выражение для дефекта массы (11.12) имеет ровно тот же самый вид, что и выражение для самой массы элементарных частиц (5.18), только вместо радиуса частицы в выражение входит расстояние между частицами. Если через эту массу выразить энергию, пользуясь соотношением Эйнштейна, то получим:

$$(11.13) \Delta W = \Delta m \cdot c^2 = \frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 r_B} = 13.6 \text{ эВ},$$

что и являет собой известную из опыта энергию связи электрона в атоме водорода. Можно ли измерить массу атома водорода с такой точностью, что мы зафиксируем дефект массы? Нам это неизвестно, но несомненно, что рано или поздно такое измерение будет произведено и дефект массы атома водорода будет определён экспериментально.

§ 11.2. Постулаты Бора, квантовая механика и здравый смысл

Вернёмся теперь к почти классическим представлениям Бора об атоме водорода от 1913 года и посмотрим, что же привело физиков к отказу от идей классической физики и зарождению квантовой механики. Если считать элементарные частицы точечными зарядами и не интересоваться их внутренним устройством, если ограничиться эмпирическим законом Кулона и не вдаваться в *механизм* взаимодействия зарядов, если чересчур буквально воспринять планетарную аналогию, то, конечно же, модель Бора оказывается крайне неудовлетворительной. Она не способна самостоятельно существовать без «костылей» - постулатов Бора. Постулаты всегда напоминают нам надгробия с надписью: «здесь умерло физическое объяснение». Но коль скоро можно заявить, что квантование орбит электрона есть фундаментальное явление и не нам, дуракам, искать ему причины, то почему бы не заявить, что квантованность вообще является свойством всего и вся? В принципе, такой взгляд есть всё та же ссылка Ньютона на волю Божью. В начале XX века, под грохот революций, революционная идея о всеобщей квантованности всего казалась ох какой многообещающей. Всерьёз никто так и не поставил вопрос: а почему? Почему электрон может вечно крутиться по стационарным орбитам, но не может и микросекунды прожить на произвольной орбите? Вместо ответа - постулаты. Вместо объяснений - уравнения. Так родилось больное дитя XX века квантовая механика.

Понимая теперь, что элементарные частицы есть вращающееся вокруг центра поле, что скорость света есть тангенциальная скорость движения поля на «поверхности» любой частицы, мы понимаем и то, что каждая точка поверхности электрона при его движении по атомной орбите будет описывать *циклоиду*. Форма циклоиды зависит от радиуса электрона, скорости света, радиуса орбиты и скорости движения по орбите. Отсутствие излучения на стационарной орбите говорит о том, что электрон на этой орбите являет собой что-то вроде *стоячей волны*. Это означает, что при полном обороте вокруг ядра каждая точка поверхности электрона, описав циклоиду, должна вернуться *в то самое положение*, которое было *ровно оборот тому назад*. Можете проверить сами, что такое условие (с учётом жёсткой взаимосвязи в атоме водорода между размером орбиты и скоростью вращения электрона!) приводит к тому, что допустимыми оказываются не любые орбиты, а только те, что удовлетворяют условию $m_0 v r_B = n \hbar$. Ну и что тут загадочного, хотели бы мы спросить? Обыкновенный резонанс... Правда, чтобы всё выглядело так просто, надо понимать, как устроены элементарные заряды, а в этом вопросе физика и по сей день находится на средневековом уровне понимания. Да, вопрос о сущности заряда был трудным. Но здравый смысл исследователя заставляет нас искать ответы на трудные вопросы, поставленные классической физикой, а не отказываться чохом от всех её достижений только потому, что ответы не сразу нашлись. К этому мы призываем и наших читателей.

Теперь хорошо бы понять, как именно наши представления изменяют картину происходящего в атоме водорода и не выяснятся ли какие-то измеримые эффекты, позволяющие проверить изложенную гипотезу.

§ 11.3. Индукционная поправка к энергии связи

Как показано в главе 9, сама природа электрических зарядов тесно связана с криволинейными замкнутыми токами. Движущийся вокруг ядра в атоме водорода электрон являет собой также криволинейный ток. Криволинейный ток есть ток *переменный*. Переменный ток должен порождать явления индукции, то есть влиять на заряды, в том числе на заряд ядра. Предположим, что электрон движется в атоме **H** по кольцевой траектории с радиусом Бора r_B и скоростью v . Здесь и далее под длиной электрона или длиной элемента тока будем понимать удвоенный радиус (т.е. диаметр) электрона.

Тогда, мгновенный ток, текущий по кольцу-электрону, полагаем:

$$(11.14) I = \frac{qv}{2\pi r_0}.$$

Где r_0 - радиус электрона. Поскольку этот ток является криволинейным, то есть ускоренным, то он является переменным:

$$(11.15) \frac{dI}{dt} = \frac{d}{dt} \frac{qv}{2\pi r_0} = \frac{qa}{2\pi r_0},$$

где a - центростремительное ускорение, которое испытывает каждый элемент тока при движении по окружности со скоростью v .

Подставляя известное из кинематики выражение для ускорения $a = \frac{v^2}{r_B}$, получим:

$$(11.16) \frac{dI}{dt} = \frac{qa}{2\pi r_B} = \frac{qv^2}{2\pi_0 r_B}.$$

Понятно, что для элемента тока $I dl$ можем записать:

$$(11.17) \frac{dI dl}{dt} = \frac{qa}{2\pi r_B} dl = \frac{qv^2}{2\pi_0 r_B} dl.$$

Как следует из закона Био-Савара-Лапласа, каждый элемент тока $I dl$ создаёт в точке нахождения пробного заряда «элементарное» магнитное поле:

$$(11.18) d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I[d\vec{l}, \vec{r}]}{r^3}.$$

Нами уже было показано в главе 4, что переменное магнитное поле элементарного тока порождает электрическое:

$$(11.19) d\vec{E} = \vec{v}_B d\vec{B} = \frac{1}{2} \vec{r} \frac{\dot{B}}{B} d\vec{B} = \frac{\mu_0}{8\pi} \frac{\dot{I}[d\vec{l}, \vec{r}]}{r^2}.$$

Теперь подставим в это выражение значение производной элементарного тока из (11.17):

$$(11.20) d\vec{E} = \frac{\mu_0}{8\pi} \cdot \frac{qv^2}{2\pi r_0 r_B} \cdot \frac{d\vec{l} \sin(\beta)}{r}.$$

Это дополнительное электрическое поле, вызванное криволинейностью движения электрона по орбите, должно *вносить поправку* в величину силы, связывающей электрон с ядром. Сила воздействия этого поля на ядро пропорциональна заряду ядра и проявляется на расстоянии Бора. То есть:

$$(11.21) dF = qd\vec{E} = \frac{\mu_0}{8\pi} \cdot \frac{q^2 v^2}{2\pi r_0 r_B} \cdot \frac{d\vec{l} \sin(\beta)}{r} = \frac{\mu_0}{8\pi} \cdot \frac{q^2 v^2}{2\pi r_0 r_B} \cdot \frac{2r_0}{r_B} = \frac{\mu_0}{8\pi^2} \cdot \frac{q^2 v^2}{r_B^2}.$$

Центростремительная сила, уравнивающая силу Кулона в атоме, может быть определена как:

$$(11.22) F_{\text{цс}} = m_0 a = \frac{\mu_0}{8\pi} \cdot \frac{q^2}{r_0} \cdot \frac{v^2}{r_B}.$$

Тогда отношение найденной поправки (11.21) к силе Кулона будет равно:

$$(11.23) \frac{dF}{F_{\text{цс}}} = \frac{r_0}{\pi r_B} = \frac{\alpha^2}{2\pi} = \delta,$$

где $\alpha \approx 1/137$ есть постоянная тонкой структуры.

Мы получили поправку к силе, осталось определить поправку к энергии. Поскольку энергия ионизации - это работа, которую потребуется совершить, чтобы удалить электрон от Боровского радиуса на бесконечность, то можно проинтегрировать силу по dr . Следует учесть, однако, что Боровский радиус также изменится в силу поправки. Потенциал ионизации (энергия связи) для атома водорода хорошо известна и составляет по данным из [2] **13.598** эВ. Отметим это число, ввиду его довольно высокой точности и надёжности. Чтобы можно было бы заметить нашу поправку, следует рассмотреть более точную классическую модель атома водорода и учесть сначала всё, что только можно учесть в рамках классических представлений. И уж тогда постараться понять, отличается ли расчётная энергия от экспериментальной и если да, то может ли это расхождение объясняться нашей «индукционной» поправкой.

Кстати говоря, криволинейность орбиты электрона в атоме должна приводить к тому, что атом водорода в целом должен обладать очень слабым отрицательным электрическим зарядом. Это означает, что атомы водорода должны испытывать очень незначительное взаимное отталкивание. А значит, при весьма низких температурах водород может находиться в атомарном состоянии, *несмотря* на то, что молекулярное состояние энергетически выгоднее. Насколько нам известно, атомарный водород давно уже получен в лабораториях и удержан в течение как минимум нескольких часов.

§ 11.4. Учет конечности массы ядра

Хотя масса M ядра водорода (протона) в 1836 раз больше массы m_e электрона, движущегося по орбите в атоме, было бы неправильным считать, что в этой

«динамической» модели атома протон покоится. Как указал А. Зоммерфельд (1916), в силу законов сохранения энергии и импульса ядро и электрон должны вращаться относительно общего центра масс с одинаковой угловой скоростью. Влияние этого движения ядра на энергию электронных состояний можно учесть, просто заменив массу электрона m_e «приведенной массой». В этом случае величина уровней энергии атома изменится на коэффициент $M/(M + m_e)$, где M – масса ядра. Следовательно выражение для постоянной Ридберга примет вид, соответственно [5]:

$$(11.24) R = R_\infty M / (M + m_e)$$

Смещение уровней энергии приведет к сдвигу положения линий в спектре, называемому изотопическим сдвигом. Все энергетические уровни сместятся ровно настолько, насколько изменится постоянная Ридберга. Соответственно:

$$(11.25) W = W_0 \cdot M / (M + m_e) = 13.6058 \text{ эВ} \cdot 1836 / 1837 = 13.5984 \text{ эВ}.$$

Именно эту величину рекомендует CODATA [6]. Впредь именно к этой величине мы и будем искать предложенную нами в (11.23) поправку.

§ 11.5. Расчет величины поправки и вычисление точного значения энергии ионизации

Теперь попытаемся перейти от поправки для силы к поправке для энергии связи. Радиус первой орбиты изменится настолько, насколько изменится сумма сил Кулона и индукции. Для получения энергии ионизации следует вычислить энергию, необходимую для удаления электрона с поправленной орбиты Бора в бесконечность. Это можно сделать путём интегрирования силы Кулона:

$$(11.26) \Delta W = \int_{r_B + \delta B}^{\infty} \frac{q^2(1-\delta)}{4\pi\epsilon_0 r^2} dr = \frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 r_B(1+\delta)}(1-\delta) = W_0 \frac{2\pi - \alpha^2}{2\pi + \alpha^2}.$$

здесь W_0 - это энергия ионизации, вычисленная без индукционных поправок. На основании (11.25), подставляя значения, получим :

$$(11.27) \Delta W = 13.5984 \text{ эВ} \cdot \frac{2\pi - \alpha^2}{2\pi + \alpha^2} = 13.5982 \text{ эВ}.$$

Как видим, поправка эта мала,

$$(11.28) \delta W = \Delta W \frac{\alpha^2}{\pi} = 13.5984 \text{ эВ} \cdot 1.6947 \cdot 10^{-5} = 2.30 \cdot 10^{-4} \text{ эВ}.$$

порядка 10^{-5} (четвёртый знак после запятой) и того же порядка малости $\frac{\alpha^2}{\pi}$, что и так называемая *релятивистская* поправка Зоммерфельда (1931). Эффект достаточно мал. Существует ли этот эффект в реальности и влияет ли он на структуру энергетических спектров атома водорода - это хороший вопрос для экспериментальной физики.

Как известно, структура спектров атома водорода в современной физической литературе описывается с учётом релятивистских поправок как [3]:

$$(11.29) W_{n,j} = \frac{13.5984 \text{ эВ}}{n^2} \left(1 + \frac{\alpha^2}{n^2} \left(\frac{n}{j + \frac{1}{2}} - \frac{3}{4} \right) \right).$$

где:

α - постоянная тонкой структуры,

j - собственное значение оператора углового момента,

n - главное орбитальное квантовое число.

Для случая наинизшего уровня энергии получим, что величина поправки к энергии $\delta W = W \cdot \frac{\alpha^2}{4}$, то есть близкого порядка величины к (11.28).

Ещё одно выражение для релятивистской поправки дано в [4]:

$$(11.30) W_n = 13.6058 \text{ эВ} \left(1 + \left(\frac{\alpha Z}{2n} \right)^2 \right) \Rightarrow \delta W = 13.5984 \text{ эВ} \cdot \frac{\alpha^2}{4}.$$

весьма близко к $\frac{\alpha^2}{\pi}$ полученной в (11.28)!

Таким образом, предложенная в данной работе "**индукционная**" поправка к энергии ионизации атома водорода, с одной стороны, очень близка к известной **релятивистской** поправке Зоммерфельда, а с другой стороны, её величина находится на грани возможностей современного эксперимента. Мы полагаем, что при движении электрона в атоме водорода проявляются не релятивистские эффекты, а как раз индукционные явления, нигде и никем ранее не учтённые. Возможно, именно их и принимали исследователи за «релятивистский эффект». Точность экспериментального определения этой поправки, видимо, не позволяет выяснить прямо сейчас, что ближе к истине, наши $\frac{\alpha^2}{\pi}$ или же Зоммерфельдовские $\frac{\alpha^2}{4}$, однако, полагаем, что время и искусство экспериментаторов всё расставят по своим местам.

§ 11.6. Альфа и странные совпадения

Как теперь мы твёрдо понимаем, *любой* заряд q ограниченных размеров r при попытке его ускоренно двигать с ускорением a оказывает сопротивление ускорению с силой F :

$$(11.31) F = \frac{\mu_0}{8\pi} \cdot \frac{q^2}{r} \cdot a = (0.5 \cdot 10^{-7} \frac{q^2}{r}) \cdot a = m \cdot a.$$

Коэффициент пропорциональности m , связывающий силу F и ускорение a , ранее назывался «массой» и, по сути, был введен без каких-либо попыток выяснения механизма

самого явления инерции. Ускоренное движение заряда эквивалентно протеканию переменного тока dI/dt в том месте, где расположен заряд q . Переменный ток всегда вызывает явления индукции и самоиндукции. В данном случае речь идёт именно о самоиндукции. Переменный ток ускоренно движущегося заряда создаёт ЭДС самоиндукции, направленную (по правилу Ленца) таким образом, чтобы воспрепятствовать ускорению. Для вычисления силы сопротивления заряда ускорению необходимо знать величину заряда q и характерный размер (радиус) этого заряда r , соответственно формуле (11.31).

Обращаясь к движению электрона в атоме водорода, отметим, что нам известен радиус первой Боровской орбиты R_B и скорость движения электрона по первой орбите v . Отсюда мы можем получить ускорение электрона a и силу самоиндукции F_s . Эта сила должна быть в точности равна силе Кулона F_c , действующей между электроном на первой орбите и протоном ядра.

Как известно из кинематики кругового движения, ускорение a равно:

$$(11.32) \quad a = \frac{v^2}{R}.$$

Тогда, в соответствии с главой 5, имеем для силы самоиндукции F_s :

$$(11.33) \quad F_s = \frac{\mu_0}{8\pi} \cdot \frac{q^2}{r_0} \cdot a = \frac{\mu_0}{8\pi} \cdot \frac{q^2}{r_0} \cdot \frac{v^2}{R_B}.$$

С другой стороны, сила Кулона F_c между двумя зарядами (протоном и электроном):

$$(11.34) \quad F_c = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{R_B^2}.$$

Из условия равенства сил самоиндукции (11.33) и Кулона (11.34) получим:

$$(11.35) \quad \frac{\mu_0}{8\pi} \cdot \frac{q^2}{r_0} \cdot \frac{v^2}{R_B} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{R_B^2}.$$

Сокращая и приводя подобные, получим:

$$(11.36) \quad \epsilon_0 \mu_0 v^2 / 2 = r_0 / R_B,$$

или, выражая диэлектрическую и магнитную постоянные через скорость света c :

$$(11.37) \quad \frac{v^2}{2c^2} = \frac{r_0}{R_B},$$

иначе говоря, радиус электрона r_0 можно выразить через радиус первой Боровской орбиты R_B , скорость движения электрона по первой Боровской орбите v и скорость света c :

$$(11.38) r_0 = \frac{R_B}{2} \cdot \frac{v^2}{c^2},$$

т.е. половина Боровского радиуса делить на отношение квадратов скоростей.

Подставляя хорошо известные значения: $R_B = 5.292 \cdot 10^{-11}$ м, $v = 2.18 \cdot 10^6$ м/с, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, получим:

$$(11.39) r_0 = \frac{R_B}{2} \cdot \frac{v^2}{c^2} \approx 1.4 \cdot 10^{-15}.$$

То есть именно тот радиус электрона, который мы получали ранее из других соображений (магнитных, электростатических, энергетических и т.д). Попутно отметим, что отношение скоростей есть постоянная тонкой структуры «альфа», соответственно:

$$(11.40) r_0 = \frac{R_B}{2} \cdot \frac{v^2}{c^2} = \frac{R_B}{2} \cdot \alpha^2 \approx \frac{R_B}{2} \cdot \frac{1}{137^2}.$$

Теперь зададимся вопросом, а не имеет ли место полученное нами соотношение (11.39) и для других орбит атома водорода в модели Бора ($n=2, 3...$)? Как ни удивительно, но ответ: да, имеет. В самом деле, поскольку [2] между скоростью движения электрона по некоторой Боровской орбите и радиусом этой орбиты существует известная зависимость:

$$(11.41) v_n^2 = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 m_0 R_n},$$

где m_0 - масса электрона, v_n - скорость на орбите, R_n - радиус орбиты, n - номер орбиты. Здесь ϵ_0 - диэлектрическая проницаемость вакуума, q - элементарный заряд.

Подставляя это значение квадрата скорости и радиус n -й орбиты в (11.39) получим:

$$(11.42) r_0 = \frac{1}{2} R_n \frac{v_n^2}{c^2} = \frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 m_0 c^2} = \frac{\mu_0 q^2}{8\pi m_0}.$$

Здесь μ_0 - магнитная проницаемость вакуума. То есть получили выражение для радиуса электрона r_0 , *не зависящее* от номера орбиты. То есть верное для любой орбиты. И, разумеется, это выражение полностью согласуется с нашей многократно выведенной формулой для массы электрона.

Отсюда можно сделать вывод, что стационарные орбиты и соответствующие скорости электронов в атоме водорода таковы, каковы они есть, именно благодаря определённому размеру электрона и присущей ему внутренней скорости движения поля.

§ 11.7. Загадочный гидрид-ион и шесть процентов

А что если усложнить задачу и поставить интересный вопрос, а какова энергия связи и связанный с ней полный дефект масс в отрицательном ионе водорода Н⁻, который является уже *гелий-подобным* атомом?

По привычной уже схеме можно в первом приближении сказать, что дефект масс будет складываться из дефекта создаваемого взаимодействием каждого электрона с протоном плюс взаимодействие электронов. Причём взаимодействие электронов будет иметь отрицательный знак дефекта масс (т.е. положительный знак массы). Однако, электроны находятся друг от друга на расстоянии вдвое большем, чем до протона, значит, этот *субдефект* будет вдвое меньше:

$$(11.44) \quad \Delta m = 2 \cdot \left(\frac{\mu_0 q^2}{8\pi r_B} - \frac{\mu_0 q^2}{16\pi 2r_B} \right) = \frac{3}{2} \cdot \frac{\mu_0 q^2}{8\pi r_B}.$$

(Обратите внимание, что взаимодействий электронов с протоном *четыре*, а взаимодействий электрона с электроном *два*, и они учитываются только *один* раз внутри скобок, второй раз учёт происходит при умножении всей скобки на 2).

Если бы радиус Бора не изменился, энергия, соответственно, составила бы:

$$(11.45) \quad \Delta W = \Delta m \cdot c^2 = \frac{3}{2} \cdot \frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 r_B} = \frac{3}{2} \cdot 13.6 \text{ эВ} = 20.4 \text{ эВ},$$

что разительно отличается от экспериментального значения $14.4 \text{ эВ} = 1.395 \text{ кДж/моль}$.

Теперь мы должны пересмотреть Боровский радиус r_B для случая двух электронов. Кулоновское взаимодействие каждого электрона с протоном будет ослаблено вторым электроном на четверть (так как сила Кулона обратно квадратична по расстоянию, а расстояние до второго электрона вдвое больше, чем до протона). Поскольку радиус Бора определяется по условию равенства центробежной силы и силы Кулона, то в нашем случае можем записать:

$$(11.46) \quad \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 r_B^2} = \frac{\mu_0 q^2}{8\pi r_0} \cdot \left(\frac{v^2}{r_B} \right) = m_0 \cdot \left(\frac{v^2}{r_B} \right),$$

где v - скорость электрона.

Вторым равенством, позволяющим найти и скорость и радиус Бора, традиционно считается выражение для импульса электрона:

$$(11.47) \quad m_0 v r_B = \hbar = \frac{\mu_0 q^2}{8\pi r_0} v r_B.$$

Из этих выражений видим, что радиус Бора r_B' *увеличится* (в случае двух электронов) на ту же *четверть*, на которую *ослабела* сила Кулона. Значит, полученную в выражении (11.45) энергию можно записать как:

$$(11.48) \quad \Delta W = \Delta m \cdot c^2 = \frac{3}{4} \cdot \frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 r_B} = \frac{3}{4} \cdot 20.4 \text{ эВ} = 15.3 \text{ эВ} = 1.482 \text{ кДж/моль}.$$

Экспериментальная же энергия связи составляет $14.4 \text{ эВ} = 1.395 \text{ кДж/моль}$. То есть ошибка составила около 6%. Это существенное расхождение, которое нам до сих пор не удалось объяснить феноменологически. Мы пытались учесть и магнитные поля частиц, и взаимоиндукцию между ними, но всё это давало лишь поправки четвертого-пятого

порядка малости. На данный момент мы придерживаемся осторожной гипотезы, что возможно при чётном числе электронов на внешней орбите имеет место другая *кинематика*, т.е. *спаренные электроны движутся не так, как одиночный электрон*. Например, совершают совместное вращение ещё и в другой плоскости. Из-за этого орбита оказывается чуть дальше, а энергия отрыва чуть ниже. Причиной такого поведения спаренных электронов служит симметрия системы. Система с одним электроном менее симметрична, и, по-видимому, не может совершать вращение одновременно в двух плоскостях. Впрочем, мы надеемся, что и с этим вопросом разберутся те читатели, которые имеют больше опыта или времени.

Попутно отметим, что из (11.46) непосредственно следует выражение для радиуса электрона из характеристик атома водорода:

$$(11.49) r_0 = \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} r_B = 1.4 \cdot 10^{-15} \text{ м},$$

где $v=2.18$ Мм/с - скорость электрона в атоме Н, $c=2.99 \cdot 10^8$ м/с - скорость света в вакууме, $r_B=5.29 \cdot 10^{-11}$ м - радиус Бора.

Попробуем посчитать дефект масс и энергию связи для *гелия*. Два протона, два электрона. Заряд ядра увеличился вдвое. Значит:

$$(11.50) \Delta m = 2 \cdot \left(\frac{\mu_0 2q^2}{8\pi r_B} - \frac{\mu_0 q^2}{16\pi 2r_B} \right) = \frac{4\mu_0 q^2}{8\pi r_B} - \frac{\mu_0 q^2}{16\pi r_B} = \frac{7\mu_0 q^2}{16\pi r_B}.$$

Радиус Бора теперь, понятно, уменьшился вдвое из-за увеличения заряда ядра и увеличился на одну **восьмую** из-за второго (экранирующего) электрона, так что окончательно имеем:

$$(11.51) \Delta m = \frac{7\mu_0 q^2}{16\pi r_B} = 2 \cdot \frac{7}{8} \cdot \frac{7\mu_0 q^2}{16\pi r_B} = \frac{98\mu_0 q^2}{128\pi r_B},$$

$$(11.52) \Delta W = \Delta m \cdot c^2 = \frac{98}{16} \cdot \frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 r_B} = \frac{98}{16} \cdot 13.6 \text{ эВ} = 83.3 \text{ эВ} = 8.066 \text{ кДж/моль}$$

Экспериментальное значение - $79 \text{ эВ} = 54.4 + 24.6 \text{ эВ} = 7.607 \text{ кДж/моль}$.

Что показывает хорошее совпадение с результатом, и, тем не менее, не вполне удовлетворительное. Снова два электрона на внешней орбите, как в случае гидрид-иона, и снова расхождение с экспериментом в энергии связи. И снова в ту же сторону. По-видимому, мы имеем дело с тем же явлением – вращением пары электронов гелия ещё и в другой плоскости.

Литература

1. К.Ленг. Астрофизические формулы. Часть 1. Издательство «Мир». Москва. 1978. С. 328.
2. Википедия. Атом водорода
http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%82%D0%BE%D0%BC_%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B0#.D0.AD.D0.BD.D0.B5.D

- 1.80.D0.B3.D0.B5.D1.82.D0.B8.D1.87.D0.B5.D1.81.D0.BA.D0.B8.D0.B9.D1.81.D0.BF.D0.B5.D0.BA.D1.82.D1.80
3. Ю.К.ЗЕМЦОВ, К.В.БЫЧКОВ. КУРС ЛЕКЦИЙ ПО АТОМНОЙ ФИЗИКЕ
http://heritage.sai.msu.ru/ucheb/Zemcov/Part_3_Hydrogen/Chapter_13/Chapter_13.htm
 4. Лабораторная работа 1.5 В.Ж.Мадирбаев, Стр. 2, 5 и 6
[http://www.phys.nsu.ru/atom/text/Labwork\(atom\)1-5.pdf](http://www.phys.nsu.ru/atom/text/Labwork(atom)1-5.pdf)
 5. CODATA recommended values of the fundamental physical constants: 1998*,†Peter J. Mohr and Barry N. Taylor National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland 20899-8401
 6. Атом водорода. Линейчатые спектры. «Мир Физики»
http://www.fizmir.org/bestsoft/9_3.htm

Глава 12. Некоторые вопросы радиотехники

§ 12.1. Сосредоточенные и уединённые реактивности

Со школьного курса физики все мы знаем, что у всякого проводника существует такая электрическая характеристика, как емкость. Емкость определяет, насколько изменится заряд проводника, если его потенциал изменить на 1 Вольт. Исследования показали, что емкость проводника в вакууме зависит только от его геометрии и размера и более ни от чего. Кроме того, было установлено, что для геометрически подобных проводников емкости соотносятся в точности, как размеры. Если к исследуемому проводнику поднести другой проводник, то емкость его увеличится. На основе этого явления были созданы конденсаторы. Конденсатор - это два близкорасположенных проводника, пространство между которыми заполнено диэлектриком (или вакуумом, который, как мы помним, тоже диэлектрик). Емкость такого устройства обычно намного больше уединенной емкости любых проводников сопоставимого размера. Возможно, поэтому о самом существовании уединенной емкости часто вообще забывают. Точное выражение для уединенной емкости проводников известно для единственного случая - емкости проводящей сферы. Оно вполне подтверждается опытами. Но для проводника произвольной геометрии современная физика не может предложить способа точного вычисления емкости. В своё время мы были немало удивлены, обнаружив, что в физике нет единого мнения даже о погонной (в расчете на метр) собственной емкости *провода*. Чувствуя какой-то подвох, за решение этой задачи брались многие – Зоммерфельд [1], Смайт [2] и др. Делая разные допущения, все эти люди пришли к *разным* выражениям. Как вы думаете, хоть кто-то проверил результат на опыте? Нет... Опыт существовал сам по себе, например, в сфере радиотехники, где емкость провода была нужна для строительства антенн. Эмпирическое выражение для погонной собственной емкости тонкого провода дано, например, в [12, с. 57-59]. Это выражение служило (внимание!) для определения рабочей частоты антенны *совместно* с эмпирическим же выражением для погонной индуктивности провода. Поскольку в известную формулу Томсона для резонансной частоты контура индуктивность и емкость входят в виде произведения

$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$, то можно, например, вдвое увеличить емкость, одновременно вдвое снизив

индуктивность. Никто и не заметит! И мы встречали это в литературе. Здесь уместно напомнить, что такое понятие, как «индуктивность провода», не существует в современной физике. Не просто формула отсутствует, а *понятия* нет! Считается, что индуктивность присуща лишь *замкнутым контурам*, а прямому куску одиночного провода, по-видимому, не присуща. Хотя, что мешает составить контур из прямых кусков? Получается, что индуктивность (а это, как мы помним, коэффициент *самоиндукции*), есть сугубо коллективное явление, присущее лишь «коллективу» проводников? Но, как же тогда общеизвестные [2, с. 316] вычисления индуктивности сложных контуров с использованием закона Био-Савара-Лапласа, при котором контур разбивается на микроскопические (прямые!) участки и затем интегрируется? Ведь это эквивалентно представлению о том, что индуктивность всё-таки присуща *каждому* элементарному участку. В чем же причина сей путаницы? Нам представляется, что ситуация сродни той, что возникает с уединенной емкостью: индуктивность прямого отрезка провода мала по сравнению с индуктивностью контура сопоставимых размеров, и посему о ней зачастую просто можно забыть. Зачастую, но не всегда. Например, в случае простой проволочной антенны никакого контура нет. Второго проводника тоже нет. Значит, нет ни *взаимной* емкости проводников, ни индуктивности замкнутого контура.

Нет также ни *сосредоточенной* емкости, ни сосредоточенной индуктивности. Эти реактивности *распределены* по проводу антенны и носят характер уединенных распределенных реактивностей. Зная, что индуктивность прямого проводника всё-таки реально существует и обнаруживается в опыте, многие исследователи пытались считать её с помощью разных *ухищрений* [2, с. 314]. И снова, как и в случае с уединенной емкостью прямого проводника, получали *разные* формулы. И в этом случае прямые опытные проверки не проводились, возможно, потому, что это не очень-то просто сделать. Мы уже выводили выражение для коэффициента самоиндукции прямого отрезка проводника. Доселе мы не говорили об его прямой опытной проверке, и по определенным причинам. Дело в том, что у прямого провода есть также и емкость, так что обе реактивности всегда действуют совместно. Емкость-то ещё можно оценить на очень низких частотах, на которых индуктивность не ощущается. Но для емкости нет надежной формулы, как мы уже показали. Непонятно, что проверять. Замкнутый круг! Ужели надо вновь совершать подвиг и разбираться сначала с емкостью, проводя комплекс исследований, а затем, повышая частоту зондирующего сигнала, разобраться и с индуктивностью? Можно, но уж очень трудоемко. Вместо этого мы рассмотрим провод, как единство емкости и индуктивности, представляющее собой простейшую *антенну*, про которые уже многое известно и твёрдо установлено.

§ 12.2. Обычный резонанс и ничего более. Работа простых антенн

Итак, прямой провод - это антенна. Самая простая антенна - полуволновой провод, питаемый «в разрез» (рис. 12.1).

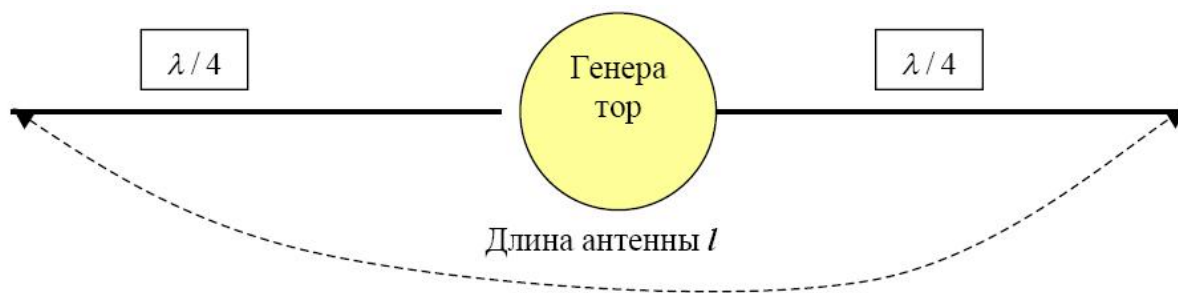


Рис. 12.1. Простая антенна в виде горизонтально расположенного отрезка провода длины l .

Про такую антенну известно, что низшая частота её резонанса определяется выражением (если провод тонок):

$$(12.1) f_H = \frac{c}{2l},$$

где c - скорость света, l - длина антенны. Видим, что частота резонанса зависит только от длины провода. Т.е. резонанс «геометрический»: в антенне просто должна уложиться половина длины волны. Зададим себе вопрос: раз антенна имеет индуктивность и емкость, то у неё должен иметься ещё и *электрический* резонанс, определяемый этими реактивностями? Частота такого резонанса, как известно, определяется по формуле Томсона:

$$(12.2) f_T = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

где L - индуктивность антенны, C - её ёмкость. Разве в антенне наблюдается *два* разных (некратных) резонанса? Нет! Вывод? Это один и тот же резонанс! Раз так, то мы можем приравнять (12.1) и (12.2) и выразить ёмкость чрез индуктивность:

$$(12.3) C = \frac{1}{L} \left(\frac{l}{\pi c} \right)^2.$$

Поскольку погонная индуктивность прямого провода нами уже была выведена ранее

$$L = \frac{\mu_0}{4\pi} l, \text{ то получим для ёмкости:}$$

$$(12.4) C = \frac{4\varepsilon_0}{\pi} l,$$

где ε_0 - диэлектрическая проницаемость вакуума.

Вот она - формула погонной ёмкости *тонкого* прямого провода! Теперь есть что проверять! Теперь концы с концами сошлись, и понятно стало, почему резонансная частота антенны такова: потому, что таковы величины её погонных реактивностей. Но ещё и потому, что такова скорость распространения электрических возмущений *в антенне*. Это тоже верно. А скорость распространения возмущений, как мы показали ранее, определяется *строением электрона*, внутренне присущим ему *движением*! Отсюда вывод: своими реактивностями проводник обязан элементарным зарядам, а вовсе не загадочным и абстрактным «геометрическим свойствам пространства», как нередко заявляется в современных работах по электродинамике! Н. Тесла, мало интересуюсь «волнами Герца» (электромагнитная волна, ЭМВ), более 100 лет назад предлагал создать в земном шаре *стоячие волны электронной плотности* с тем, чтобы в разных (но определенных) частях планеты можно было бы извлекать энергию с помощью поднятого над землей уединенного конденсатора и явления резонанса. Это возможно? Да, конечно же, да! В почти школьном опыте с определением пучностей ЭМВ в волноводе этот принцип передачи энергии убедительнейше демонстрируется [13]. Вопросы выбора частот, поддержания условий стоячей волны в столь глобальном масштабе, потерь и т.д., конечно, доселе не решены. Возможно, Тесла слишком опередил своё время... Но мы теперь хотя бы понимаем, чего он хотел. Его современникам, по-видимому, даже это было недоступно.

Отметим, что волновое сопротивление прямого провода можно определить по формуле:

$$(12.5) Z = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{\mu_0}{16\varepsilon_0}} = \frac{Z_{\text{вак}}}{4} = 94.2[\text{Ом}].$$

Это действительно волновое сопротивление прямого провода в вакууме. В этом проводе действительно возбуждается настоящая волна - волна электронной плотности. Что же касается так называемого «волнового сопротивления вакуума» ($Z_{\text{вак}} = 377 \text{ Ом}$), то ему, по-видимому, не соответствует *никакой физической сущности*. Вот почему никто не согласовывает волновое сопротивление антенн с «волновым сопротивлением вакуума». Ведь если бы излучение антенн было бы действительно волновым процессом, то был бы

явный смысл согласовывать не только волновое сопротивление антенны с выходом генератора, но и с вакуумом!

§ 12.3. Приёмных антенн не существует. Сверхпроводимость в приёмнике

Представим себе теперь *четвертьволновой* штырь над землей (это половинка полуволнового вибратора, поставленная вертикально). В силу закона «электростатического отражения» такая антенна почти эквивалентна вертикальному полуволновому вибратору, как если бы в земле «отражалась», словно в зеркале, верхняя половинка антенны.

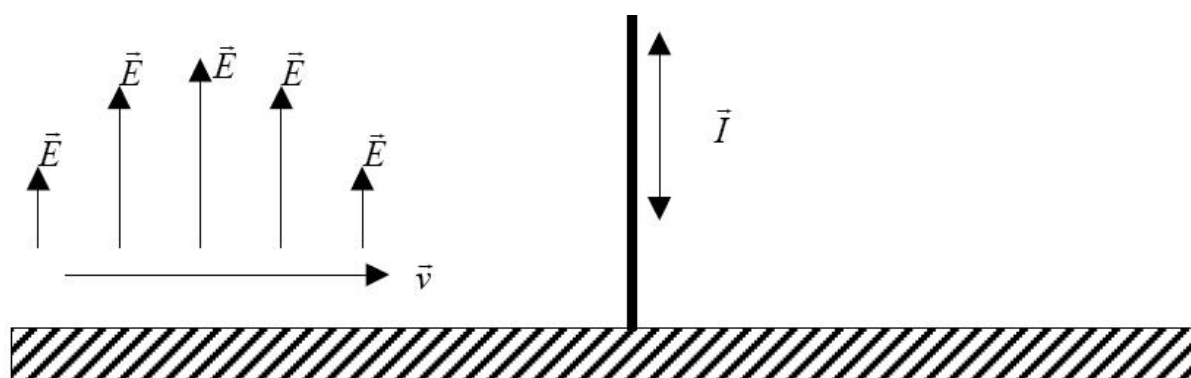


Рис. 12.2. Четвертьволновой штырь при приёме «электромагнитных волн»

Пусть мимо пролетает со скоростью света регулярная структура электрического поля (т.н. «электромагнитная волна») вертикальной поляризации (рис. 12.2).

Согласованно с движением этой структуры электроны в антенне тоже приходят в движение. Это ток. И этот ток сдвинут на 90 градусов по отношению к разности потенциалов на концах антенны. Причина в том, что электронам нужно время, чтобы набрать скорость, так как мгновенному её установлению препятствует индуктивность антенны. Когда внешнее поле перестаёт меняться (достигло максимума), ток всё ещё течет по инерции (всё та же индукция не позволяет ему мгновенно остановиться). Потенциал на конце антенны растёт. Затем ток останавливается, а ЭДС теперь действует в другую сторону. И всё повторяется с постепенно нарастающей амплитудой. Это *резонанс*. Резонанс между движущимся структурированным внешним электрическим полем и *волной плотности электронов* в антенне. Вот на каком этапе появляется *волна*! Реальная, настоящая волна. Не при распространении, а при *приёме*. Причём всегда! Ну как тут не поверить, что волна же и распространяется?! Особенно, когда очень хочется поверить... Но вернёмся к антенне. Она, как видим, будучи возбужденной извне, неизбежно сама начнёт *излучать*. Ну а куда деться проводу с переменным током? Излучать она будет такую же структуру, как та, что возбудила антенну. Порождает её ток, текущий в антенне, при этом фаза излучаемой структуры сдвинута на 90 градусов относительно тока (мы показывали это ранее, разъясняя механизм излучения «электромагнитных волн»). Ток же сам сдвинут на 90 градусов относительно возбуждающего внешнего поля. В результате «излучение» антенны сдвинуто на 180 градусов относительно возбуждающего «излучения», т.е. «гасит» его вблизи антенны. Такое гашение наблюдается на практике, и получило название «похищение волны» [11, 12]. Суть явления похищения в том, что вблизи настроенной на станцию антенны приём этой станции другими приемниками затруднён. Если бы добротность антенны была бесконечна, то всё возбуждающее излучение было бы ею «погашено», зато в антенне установился бы огромный ток. Увы,

добротность конечна! Однако есть средство её очень сильно увеличить: положительная обратная связь. Часть энергии из антенны следует усилить и вернуть в антенну, компенсируя тем самым тепловые (омические) потери и... да-да увеличивая степень «похищения волны»! При этом больше энергии излучения принимается антенной и отношение сигнал/шум улучшается. Прав был В. Т. Поляков [10]! Всё вышеописанное имело место в первых регенеративных приемниках без каскада УВЧ. На них ставились рекорды дальности связи, несмотря на кажущуюся примитивность схемы. Они же ясно показали, что приёмных антенн не бывает - всякая антенна передаёт, просто при приёме она передаёт в *противофазе*. Вот откуда в радиотехнике миф об *обратимости* антенн! Нет никакой обратимости, ибо нечего обращать: все антенны одинаково передающие. А называть можете, как хотите, хоть горшками. Природе всё равно.

Если бы антенна была сделана из сверхпроводника, то мы бы имели весьма высокую добротность и весьма интенсивное «похищение волны». И, как следствие, максимальное отношение сигнал/шум. Однако потери на высоких частотах происходят не только от омического сопротивления реальных проводников, но и от потерь в диэлектриках, воздухе, разъёмах и т.п. Поэтому введение положительной обратной связи в определённом смысле эквивалентно «сверхпроводимости» антенны, и даже лучше, поскольку позволяет компенсировать не только потери в собственно проводниках, но и все остальные.

§ 12.4. Правильное укорочение ведёт к утолщению

Теперь рассмотрим другой вопрос, вокруг которого буйно цветёт псевдонаука. Вопрос об эффективности так называемых укороченных антенн. Такие антенны существуют и работают. Ну, а почему нет? Если уж антенна работает, как мы выяснили, на электрическом резонансе, а не на абстрактной «геометрии», то чёрт с ними, с размерами! Увеличим *согласованно* L и C антенны и получим более низкую частоту резонанса при том же волновом сопротивлении. Например, украсим верхушку антенны сферой, а основание выполним в виде катушки. Или ещё красивее - спираль из толстой трубки. Мы, понимая теперь, как такие антенны работают, изготовили их немало, каждый раз наслаждаясь хорошим совпадением результатов измерений с расчётами. Миф о том, что укороченные антенны всегда хуже полноразмерных, оказался лишь мифом. Он возник, видимо, когда стали укорачивать четвертьволновые штыри катушкой в основании, не меняя ни толщину штыря, ни добавляя к нему уединенную емкость. Между тем испокон веку известные «метёлочные» антенны [12, с. 71-74] признавались вполне неплохими. Обычно, считают, что укороченные антенны слишком узкополосны или слишком энергетически не эффективны. Узкополосность происходит именно оттого, что увеличивают индуктивность, не изменяя или даже уменьшая ёмкость антенны. Конечно, добротность эквивалентного электрического контура при этом возрастает и антенна поневоле становится узкополосной. Насчёт же энергетической эффективности можно сказать следующее: если мы подводим некоторую мощность от генератора к антенне и эта мощность безвозвратно уходит, то либо мы её излучили, либо мы просто нагрели антенну. Значит, если мы отдали в антенну 100 ватт мощности, и антенна не нагрелась и на градус, провода, кабеля и разъёмы не раскалились, то мы излучили примерно 100 ватт мощности в виде ЭМВ. Эффективность в этом случае близка к 100%.



Рис. 12.3. Пример сильно укороченной антенны на диапазон 14 метров

Другой разговор, что в антеннах повышенной добротности (узкополосных) амплитуда электрического потенциала при попытке излучить приличную мощность достигает тысяч и десятков тысяч вольт и вызывает потери на ионизацию воздуха и прочая и прочая... Так не делайте антенну слишком узкополосной, т.е. просто увеличьте её ёмкость. На рис. 12.3 приведен пример одной из построенных и протестированных нами сильно укороченных антенн на диапазон 14 метров. Она имела добротность около 10 и КСВ примерно 1.4.

§ 12.5. О несуществующем и ненужном. EZ, EH, и банки Коробейникова

В наше время довольно много шума вокруг так называемых EH-антенн [7]. Якобы, эти чудо-антенны при очень малых габаритах эффективно передают и принимают, как обычные «электромагнитные волны» (ЭМВ), так и какие-то другие, «необычные». Всё может быть, конечно, но на данный момент мы уверены, что нет ничего обычного даже в традиционной ЭМВ. Незачем искать чудес «под столом», когда, с позволения сказать, весь стол буквально завален чудесами. Нам представляется, что если отбросить всю

несущественную шелуху, то подавляющее большинство ЕН-антенн будет представлять собой сильно утолщенные в размере, «удлиненные» уединенной емкостью и одновременно «удлиненные» катушками *полуволновые диполи*. Без особой потери эффективности их можно разрезать пополам и поставить половинку на проводящую плоскость, сделав, таким образом, ещё почти вдвое короче. Что касается НЗ-антенн, то тут и говорить не о чем - эти конструкции либо не работают вообще, либо, являясь модификацией ЕН-антенн, работают так же.

Есть и другой тип «чудес» - это конструкции, в которых излучения быть вроде бы не должно, однако оно есть. Например, конструкции Коробейникова, в которых две противофазно включенные катушки помещают в металлический экран [9]. Рассуждают при этом примерно так: раз катушки в противофазе, то их поля *уничтожают* друг друга, а внешний экран «добьёт» жалкие остатки излучаемых полей. Вот хороший пример, к какой каше в неискушенных головах может привести современная научная парадигма! Мы уже показывали, что якобы «уничтоженное» магнитное поле на оси проводящей трубки легко и просто производит явления электромагнитной индукции на центральный провод. Нетрудно видеть, что у Коробейникова похожий случай: обе катушки вызывают *в экране* вокруг катушек индукционные токи (хотя сама напряжённость магнитного поля в плоскости Кулона *между* катушками действительно близка к нулю, рис. 12.4). А далее *сам экран излучает* как две рамки с током. Несколько метров воды (даже соленой) не препятствие для *направленного* излучения рамки. Поскольку излучение от такой системы токов быстро затухает с расстоянием, то у него большой градиент. Не составит труда сделать приемник, который будет принимать пространственно-разностный сигнал, и не будет принимать сигналы вещательных станций, градиента амплитуды почти не имеющих в силу удаленности.

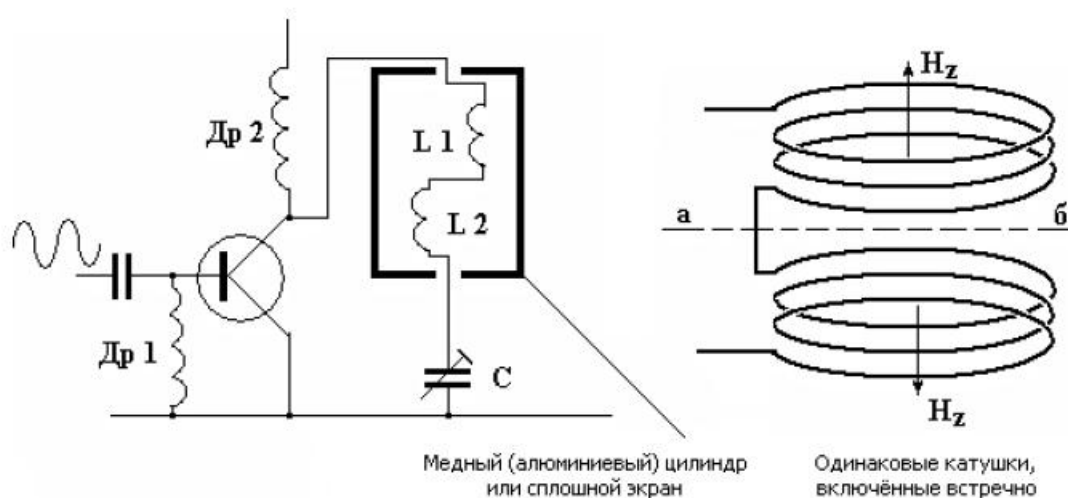


Рис. 12.4 Излучатель Коробейникова со схемой возбуждения

Вот и весь «секрет», вот вам и «продольные волны» и «торсионные излучения». Вот за что мы не любим так называемый «научный андеграунд»: чаще всего эти люди только плодят сущности без всякой нужды и затуманивают те вопросы, которые и без того официальная наука замутила до изумления. Уж не говоря о случаях прямой подтасовки и обмана, ради минутной сомнительной славы или выгоды. Жаль, что в этой среде «варятся» иногда и настоящие таланты. Увы, им, видимо, просто больше негде «вариться» в наше время неомракобесия.

§ 12.6. Простые опыты

Чтобы проверить сделанные выводы о погонной индуктивности и емкости прямого провода, мы провели несложные эксперименты. Подтверждение полученных нами выражений для этих величин служило бы подтверждением и наших взглядов на индукцию, которые играют весьма существенную роль в нашей физической картине мира. Итак, мы сначала, переработав представления об индукции, вывели выражение для погонной индуктивности прямого провода. Затем, заметив, что резонансная частота простых антенн есть резонансная частота LC контура, который образуют реактивности антенны, воспользовались формулой Томсона и вывели выражение для погонной емкости прямого провода. Это выражение уже может быть весьма легко проверено опытным путём. Если оно верно, то верно и выражение для индуктивности. Потребуется высокочастотный генератор, сопротивление R величиной в несколько тысяч Ом и широкополосный вольтметр переменного тока с высоким входным сопротивлением и малой входной емкостью. Ну и, конечно, кусок медной проволоки метра полтора-два (рис. 12.5).

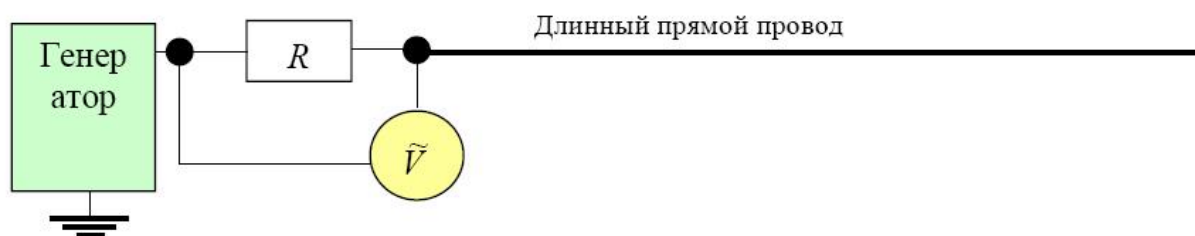


Рис. 12.5. Измерение емкости прямого провода простейшим методом

Один выход генератора соединим коротким проводом с «землей» (например, батареей отопления, водопроводом). Ко второму выводу через резистор R присоединим наш прямой провод. Позаботимся о том, чтобы этот провод был бы не только прям, но и удалён от всех других проводящих предметов, стен, полов и потолков не менее, чем на свою длину. Вольтметр следует подключить между «землей» и точкой соединения резистора с исследуемым прямым проводом. Провода, идущие к вольтметру должны быть максимально короткими. Изменяя частоту генератора от нескольких килогерц до нескольких мегагерц отметить «частоту среза», т.е. такую частоту f_{cp} , при которой амплитуда сигнала на вольтметре упадёт ровно в 1.5 раза (на 3 децибела). Повторите опыт несколько раз, чтобы определить среднюю частоту среза и среднюю ошибку измерения частоты. После этого емкость провода вычисляется как:

$$(12.6) C_{изм} = \frac{1}{2\pi R f_{cp}}$$

Из полученного значения следует вычесть паразитную емкость вольтметра и проводов $C_{пар}$ (если она известна):

$$(12.7) C = C_{изм} - C_{пар}$$

Если же нет, можно считать её грубо около 15 пФ. Оцените совпадение результата с расчетом по формуле (12.4) и с ошибкой измерений. Мы уверяем вас, что измеряя аккуратно и грамотно, вы получите хорошее совпадение с расчетом. Прямые измерения индуктивности провода также возможны, но они гораздо более трудоемки и требуют

измерений комплексного импеданса провода в широкой полосе частот с последующим вычислением L , C и R .

Литература

1. А. Зоммерфельд. Электродинамика. ИИЛ. Москва. 1958.
2. В. Смайт. Электростатика. Электродинамика. ИИЛ. Москва. 1954.
3. MFJ-259B. Руководство пользователя.
http://ftp.qrz.ru/pub/hamradio/schemes/tnc/MFJ-259b_Manual.pdf
4. Velleman PCS500 Руководство пользователя. <http://www.chip-dip.ru/library/DOC000076522.pdf>
5. Velleman PCG10 Руководство пользователя
http://www.signal.ru/UserManual_PCG10-K8016.pdf
6. Л.А.Бессонов. Теоретические основы электротехники. Москва. "Высшая школа" 1996 г.
7. Материалы по ЕН-антеннам. <http://www.eh-antenna.net/def.htm>,
<http://www.ehant.qrz.ru/book.htm>
8. Э.Беньковский, З.Липинский. Любительские антенны коротких и ультракоротких волн. Москва. Радио и связь. 1983. Перевод с польского.
9. В.Коробейников. Новый вид электромагнитного излучения? <http://n-t.ru/tp/ts/nv.htm>
10. В.Поляков. Секрет простых регенераторов 20-х годов. «Схемотехника» №7, 2006г.
<http://nice.artip.ru/?id=doc&a=doc93>
11. Л.В.Кубаркин. Одноламповый регенератор. М.:И-во МГСПС «Труд и книга». 1929 г.
12. Справочник радиолюбителя. Под ред. инж. И. Кляцкина и инж. А.Шнейдермана. Изд-во ИНКП. М.:1931 г.
13. А. С. Пресман. Сантиметровые волны ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКВА 1954 ЛЕНИНГРАД

Приложение

П1. Конвекционные токи и движение элементарных частиц

...Электрическим током называется любое упорядоченное (направленное) движение электрических зарядов.

Трофимова Т.И. Курс физики. Учебное пособие для вузов

Исторически первым родом тока, который был открыт и исследован в науке А. Ампером, Г. Омом, М. Фарадеем и др., являлся *ток проводимости*. Током проводимости называется упорядоченное движение носителей заряда в проводнике. Проводники бывают первого (металлы) и второго (электролиты, ионизированные газы) рода. Соответственно носителями тока в металлах служат электроны, а носителями тока в электролитах и ионизированных газах ионы. Соответствующие ситуации изображены на рис. П1.1а и рис. П1.1б.

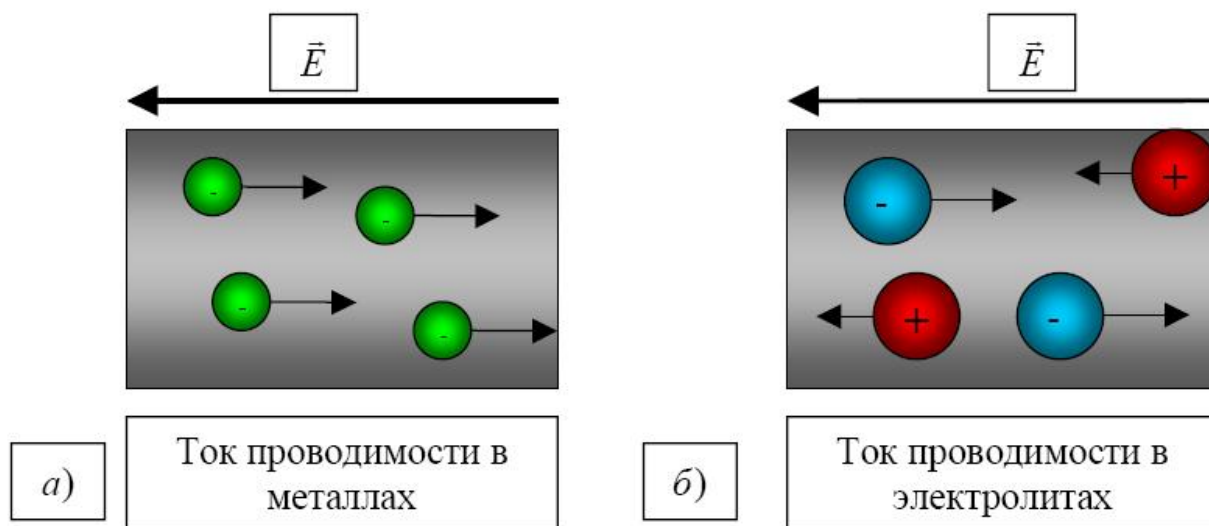


Рис. П1.1. (а, б). Движение носителей тока в проводниках 1-го и 2-го рода

Именно для токов проводимости были исторически первыми сформулированы основные законы тока. Было установлено, что для протекания тока проводимости требуются *носители тока* (заряженные частицы, способные перемещаться) и *электрическое поле E* , заставляющее эти носители двигаться. За *направление* тока условно принимают направление движения *положительных зарядов*.

Количественной мерой электрического тока служит *сила тока I* - скалярная физическая величина, равная количеству заряда dQ , проходящего через поперечное сечение проводника в единицу времени dt :

$$(П1.1) \quad I = \frac{dQ}{dt}.$$

Если сила тока постоянна во времени, то такой ток именуется *постоянным* и для него верно соотношение:

$$(П1.2) I = \frac{Q}{t},$$

где Q - количество заряда, проходящее через поперечное сечение проводника за время t . Токи проводимости при протекании создают ряд эффектов: тепловые, химические, магнитные и т.д.

По мере изучения электрических явлений выяснилось, что *переменные токи*, т.е. токи, чья величина изменяется во времени, способны протекать не только в проводниках, но и в *диэлектриках*. В диэлектриках практически нет *свободных* зарядов, но зато есть заряды *связанные*. Связанные заряды в диэлектриках не могут покинуть диэлектрик и не могут переместиться на макроскопическое расстояние. Однако они способны *смещаться* на микроскопические расстояния от своих равновесных положений под действием электрического поля, что и происходит в переменном электрическом поле. Смещающиеся в противоположные стороны положительные и отрицательные связанные заряды тоже представляют собой ток (рис. П1.2). Такие токи стали называть *токами смещения*. Максвелл распространил понятие токов смещения даже на вакуум, что позволило ему создать теорию электромагнитного поля. Экспериментально установлено, что токи смещения создают магнитное поле, так же, как и токи проводимости. Токи смещения способны, так же как и токи проводимости, вызывать нагрев и ряд других явлений, характерных для токов вообще.

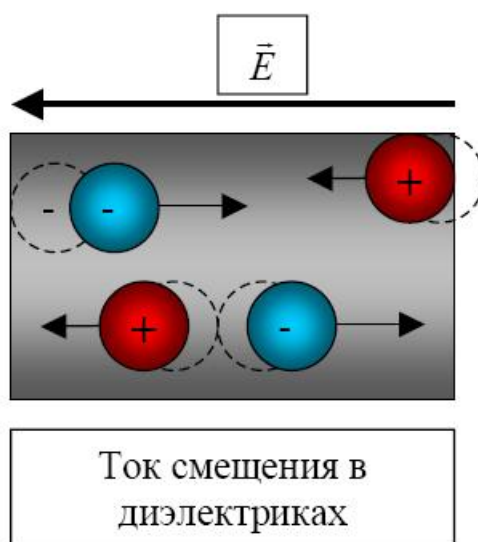


Рис. П1.2. Движение носителей тока смещения в диэлектриках

Представим себе, что в какой-то момент времени в диэлектрике создано электрическое поле. Начинается смещение связанных зарядов диэлектрика. Поскольку расстояния, на которые могут смещаться связанные заряды, весьма невелики по макроскопическим меркам, то и время, в течение которого происходит это смещение, невелико, как правило, оно составляет от наносекунд до микросекунд и носит название *времени релаксации* диэлектрика. Но если пристально рассмотреть краткий промежуток времени между началом смещения зарядов и прекращением смещения, то наблюдатель *не сможет* обнаружить отличий от картины протекания тока проводимости в проводниках второго рода! Т.е. токи смещения вполне можно рассматривать как переменные токи проводимости второго рода. Вот причина, почему токи смещения производят все те же явления, что и токи проводимости: они протекают совершенно так же если рассматривать

малые промежутки времени dt . На этих малых промежутках величина тока I вычисляется по определению (П1.1).

В физике существует и *третий* род токов, менее изученный, чем первые два. Это токи, связанные с *механическим движением заряженных тел*. То есть если вы просто переносите заряженный проводник с места на место, то вы создаёте ток. Такие токи называются *конвекционными* токами. Можно привести много примеров конвекционных токов, включая течение заряженных жидкостей, струи заряженных пылинок в газах, распространение заряженных аэрозолей. В частности, именно конвекционный ток используется в высоковольтных генераторах Ван-дер-Граафа. Вращающийся заряженный диск тоже являет собой конвекционный ток. Один из вариантов конвекционного тока, связанный с механическим перемещением заряженного тела приведен на рис. П1.3.

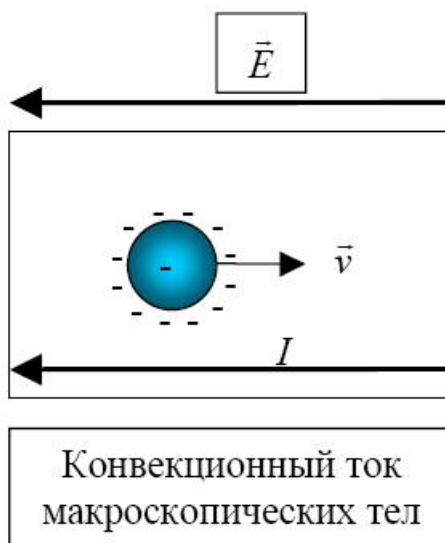


Рис. П1.3. Движение носителя при протекании конвекционных токов

Опытами Роуланда, Рентгена и Эйхенвальда было установлено, что конвекционными токами создаётся магнитное поле, и поле это точно такое же, какое создает ток проводимости той же силы. Большая часть этих экспериментов была поставлена для вращающегося заряженного диска (рис. П1.4а). Используя классическое определение для силы тока, несложно догадаться, что ток заряженного диска будет определяться зарядом Q диска и частотой его вращения f :

$$(П1.3) \quad I = Q \cdot f .$$

В самом деле, если воспользоваться определением (П1.1), а в качестве интервала времени t взять период обращения диска $T = \frac{1}{f}$, то придём к выражению (П1.3). Совершенно аналогичный результат мы получим, если рассматривать вращение компактного заряженного зарядом Q тела по окружности некоторого радиуса R с некоторой частотой f (рис П1.4.б). Обратите внимание на разницу между токами на рис. П1.4а и П1.4б. В первом случае ток через *любое* наперёд заданное сечение *непрерывный* и равен среднему току. Во втором случае всё не так: ток через радиальное сечение траектории отсутствует до тех пор, пока вращающееся тело не коснулось сечения. Когда же оно коснулось, то ток, протекающий через сечение, по величине много больше, чем ток в ситуации П1.4а. Затем, когда тело целиком прошло через сечение, ток снова стал нулевым. И так каждый оборот.

Величина этого «мгновенного» тока, как и величина среднего тока за оборот, изображены на одном графике рис. П1.4б.

До тех пор, пока движение заряженного тела является *регулярным*, не возникает серьёзных проблем с определением величины конвекционного тока, связанного с движением этого тела. Заряд известен, частота регулярных движений известна, следовательно, годится выражение (П1.3). Но как только мы от регулярного кругового движения перейдём к прямолинейному, то немедленно возникнет проблема: как определить величину тока, во-первых, объективно (так, чтобы результат не зависел от воли исследователя), а во-вторых, однозначно (так, чтобы результат был бы всегда один и тот же).

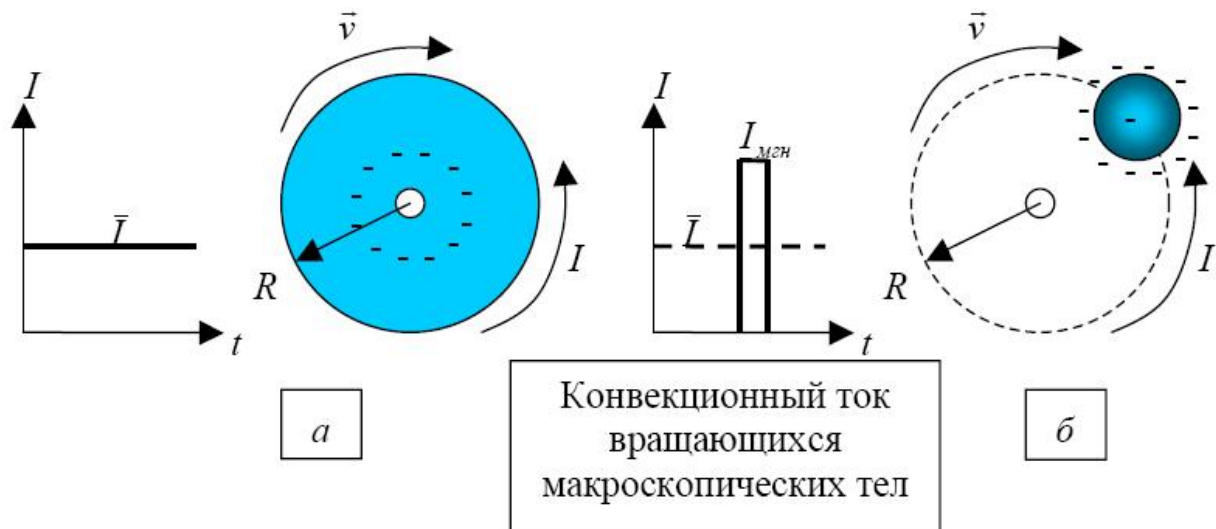


Рис. П1.4 (а, б). Конвекционный ток вращающегося заряженного тела (два случая)

В современной физике этот вопрос не решают, а стараются обойти, используя вместо понятия *величины* тока понятие *плотности* тока. Плотностью тока в проводниках называют физическую величину, определяемую силой тока I , *отнесённой* к единице площади поперечного сечения проводника S_{\perp} :

$$(П1.4) \quad j = \frac{dI}{dS_{\perp}}.$$

Если рассмотреть движение микроскопических зарядов в проводнике первого рода (рис. П1.1а), то силу тока можно выразить как:

$$(П1.5) \quad I = \frac{dQ}{dt} = ne\langle v \rangle S,$$

где n - концентрация носителей тока (электронов) в единице объёма проводника, e - заряд элементарного носителя, $\langle v \rangle$ - *средняя скорость* упорядоченного движения носителей, S - площадь поперечного сечения. Тогда плотность тока j в том же проводнике можно выразить как:

$$(П1.6) \quad j = \frac{dI}{dS} = ne\langle v \rangle.$$

Выражениями (П1.5) и (П1.6) удобно пользоваться, когда концентрация носителей n достаточно велика, чтобы составлять хотя бы несколько электронов в единице объёма. Ситуация изменяется, когда речь идёт об одном-единственном электроне (или любом другом единичном носителе заряда, включая отдельное макроскопическое заряженное тело). Становятся неопределёнными как *статистическое* понятие «концентрация», так и *статистическое* же понятие «средняя скорость».

Однако движущееся в пространстве *единичное* макроскопическое заряженное тело, без сомнения, всё-таки представляет собой некий ток. И этот ток, конечно же, имеет какую-то *конкретную величину* I . Но в физической литературе просто *отсутствует* определение этой величины для данного случая. Это представляется особенно странным, если рассматривать не просто некий «средний ток» через сечение проводника, а мысленно фиксировать мгновенные токи, проходящие через сечение в тот момент, когда его проходит очередной физический носитель заряда. Оказывается, в микроскопическом масштабе «этот средний ток» вовсе не постоянен, а является *импульсным*. Причём величина этих импульсов может на порядки отличаться от средней величины тока за длительный интервал времени. В проводниках второго рода картина будет такой же. И в диэлектриках ток смещения на мелких временных и пространственных масштабах будет выглядеть точно так же! А что такое движение конкретного единичного носителя заряда, как не конвекционный ток?! Таким образом, на поверку оказывается, что:

любой ток, рассмотренный на микроуровне, представляет собой совокупность микроскопических конвекционных токов.

Давайте посмотрим, нельзя ли всё-таки определить величину конвекционного тока I объективно, однозначно и притом так, чтобы это определение позволяло бы получить правильные выражения для токов проводимости (П1.5) и смещения. Для этого вспомним, что любое заряженное тело, кроме заряда Q и скорости своего движения v имеет *размер* r . Рассмотрим пристальнее движение сферического заряженного тела в неограниченной области пространства (рис. П1.5).

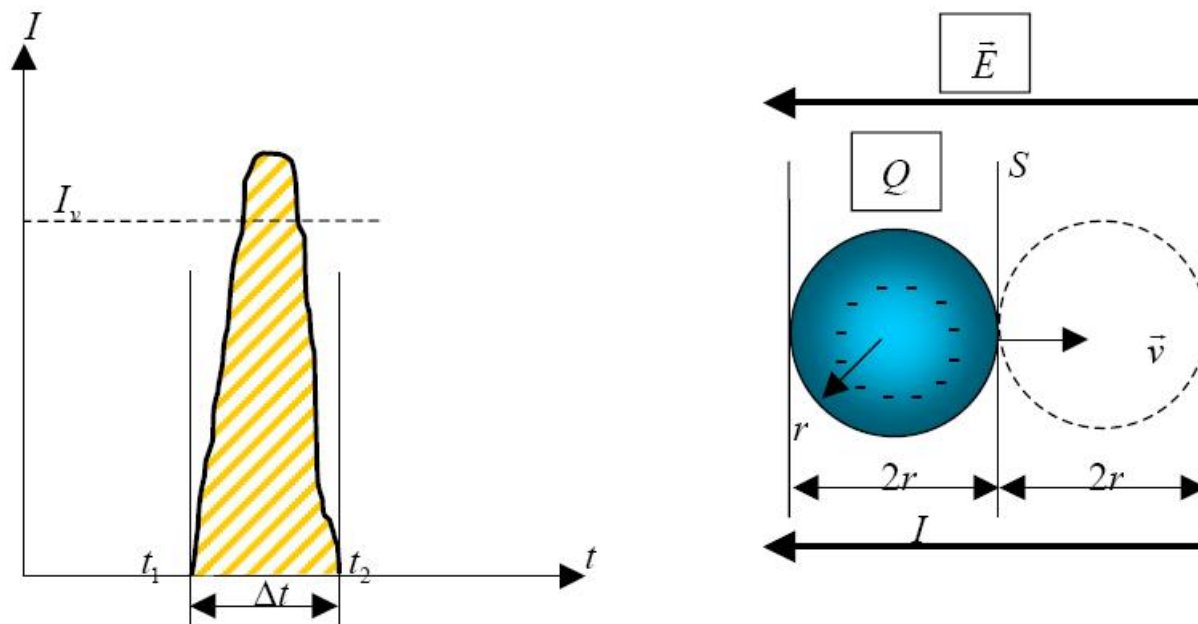


Рис. П1.5. К определению величины конвекционного тока

Мысленно расположим площадку S поперёк движения заряда Q . Пусть тело движется со скоростью v перпендикулярно площадке. В какой момент времени можно сказать, что через площадку протекает ток? В тот момент t_1 , когда заряженное тело коснулось

площадки. И этот ток будет протекать до тех пор, пока всё тело не пройдёт через площадку в момент t_2 (график в левой части рис. П1.5). Получим время $\Delta t = t_2 - t_1$, за которое весь заряд тела прошёл через площадку S :

$$(П1.7) \Delta t = \frac{2r}{v}.$$

Подставим это время Δt в определение тока (П1.1) и получим:

$$(П1.8) I_v = \frac{Qv}{2r}.$$

Вот такой ток I_v представляет собой уединенное заряженное зарядом Q сферическое тело радиуса r , движущееся со скоростью v равномерно и прямолинейно.

Покажем, что выражение (П1.8) можно *использовать*, чтобы получить известное выражение для тока проводимости (П1.5). Пусть ток в некоторой трубе с площадью сечения S переносится одинаковыми заряженными телами радиуса r , движущимися вдоль трубы со скоростью v . И пусть концентрация этих заряженных тел в единице объёма трубы равна n . Время прохождения каждого заряженного тела через выделенное поперечное сечение трубы определяется выражением (П1.7). Мгновенный ток, который создаёт каждое такое тело в момент прохождения сечения, определяется по (П1.8). Средний ток, создаваемый телами, проходящими через сечение, будет равен мгновенному, умноженному на отношение времени прохождения сечения одним телом Δt , ко времени T между последовательными актами прохождения тел через сечение:

$$(П1.9) \bar{I}_v = I_v \frac{\Delta t}{T} = \frac{Qv}{2r} \cdot \frac{2r/v}{T} = \frac{Q}{T}.$$

Вычислим среднее время T между последовательными прохождениями носителей сечения. Для этого рассмотрим время, за которое носители заряда, заключенные в объёме трубы $V = l \cdot S$, полностью покинут этот объём, двигаясь со скоростью v , и разделим его на число носителей заряда в объёме:

$$(П1.10) T = \frac{l/v}{l \cdot S \cdot n} = \frac{1}{vSn}.$$

Подставляя (П1.10) в (П1.9), получим:

$$(П1.11) \bar{I}_v = \frac{Q}{T} = \frac{Q}{1/(vSn)} = nQvS.$$

Сравнивая с (П1.5), видим, что это выражение идентично (П1.11). Таким образом, мы не только установили, что все токи являются результатом действия микроскопических конвекционных токов, но и вывели выражение для величины мгновенного конвекционного тока (П1.8), связанного с механическим перемещением сферического носителя заряда. Кроме того, мы убедились в правильности этого выражения, получив с его помощью формулу для тока проводимости (П1.5), совпадающую с классической.

Литература

1. Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. Лекции по физике. 6. Электродинамика М.: Эдиториал УРСС 2004.
2. А. Афанасьев. Электрическая конвекция. Викизнание. http://www.wikiznanie.ru/ru-wz/index.php/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%B2%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F
3. Трофимова Т.И. Курс физики. Учебное пособие для вузов. Издание 9-е, перераб. И доп.- М.: Издательский центр «Академия». 2004.
4. Б. М. Яворский, Ю. А. Селезнев. Справочное руководство по физике для поступающих в вузы и для самообразования. М.: "Наука", 1989.
5. Калашников С. Г. Электричество: Учебн. пособие. — 6-е изд., стереот. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 624 с. - ISBN 5-9221-0312-1.
6. Детлаф А.А., Яворский Б.М., Милковская Л.Б. Курс физики (том 2). Электричество и магнетизм. с.181-182, 329-331. М.: Высшая школа. 1977.

П2. Инерция электрона

Нужно признать, что, несмотря на совместные усилия физиков и философов, математиков и логиков не достигнуто никакого окончательного прояснения понятия массы.

Макс Джемер. Понятие массы в классической и современной физике. М.: Прогресс. 1967 г.

...Самоиндукция влияет на ток в катушке аналогично тому, как влияет инерция на движение тел в механике: она замедляет установление постоянного тока в цепи при его включении и препятствует его мгновенному прекращению при выключении.

Энциклопедия «Кругосвет»

<http://www.krugosvet.ru/articles/22/1002289/1002289a6.htm>

В науке всегда существовало два основных подхода к самой науке: подход, основанный на подгонке математических моделей, позволяющих рассчитывать и прогнозировать, и подход, делающий упор на феноменологическом объяснении. Мы считаем, что феноменологическое объяснение должно предшествовать математизации, а не подменяться ею. При этом количество сущностей, необходимых для построения картины мира, необходимо уменьшать, а не увеличивать. В частности, понятия инерции и массы на сегодняшнем уровне познания уже могут быть объяснены и сведены к понятиям самоиндукции и индуктивности.

Явление инерции движущихся тел, изучаемое физикой три столетия, до сих пор не получило ясного и простого объяснения и фактически принимается в науке в качестве постулата (первый закон Ньютона). Ньютоном же был введён эмпирический закон, связывающий меру инерциальных свойств тела m (массу), силу $\vec{F}_{\text{вн}}$, воздействующую на это тело, и ускорение \vec{a} , приобретаемое телом в результате такого воздействия: $\vec{F}_{\text{вн}} = m\vec{a}$. Согласно же третьему закону Ньютона, тело сопротивляется внешней вынуждающей силе ровно с такой же по величине силой \vec{F} , но направленной противоположно:

$$(П2.1) \vec{F} = -m\vec{a},$$

где знак «минус» подчёркивает, что речь идёт именно о той силе, с которой тело сопротивляется навязываемому ему ускорению.

После открытия основных элементарных частиц учёными было сделано несколько попыток объяснить инерцию и инерционную массу тел, исходя из структуры вещества как совокупности положительных и отрицательных элементарных зарядов. Для этой цели Дж. Дж. Томсон [4], Г. А. Лоренц [1] и другие учёные пытались привлечь электродинамику в надежде объяснить инерцию (и её меру *массу*) *электрическими* явлениями. Первые попытки установить какую-либо простую связь массы элементарных частиц с их зарядом были признаны неудачными, поскольку заряд различных частиц оказался одинаковым по абсолютной величине (например, протона и электрона), а их масса различалась на порядки. Более поздние и более утончённые попытки найти электромагнитное объяснение явлению инерции предпринимали Г. А. Лоренц, О. Хевисайд, М. Абрагам, В. Вин, Дж. Томсон [6], Р. Фейнман [2] и А. Зоммерфельд [3]. Используя понятие электромагнитного поля, рассматривая движущийся со скоростью v электрон и используя различные законы сохранения (в одних случаях закон сохранения энергии, в других механического импульса электромагнитного поля), они установили различные, сходные по структуре, но отличающиеся коэффициентом пропорциональности K , зависимости «электромагнитной

массы» m_0 от заряда q_0 и размера r_0 элементарных частиц. Общий вид этих закономерностей:

$$(П2.2) \quad m_0 = K \cdot \frac{q_0^2}{r_0}.$$

Поскольку выражения, полученные из различных законов сохранения, содержали разные K , то учёные сделали вывод о том, что не удаётся всю массу объяснить электромагнитным образом. Кроме того, на результат влияют априорные предположения о законе распределения заряда электрона (объёмный ли это заряд, поверхностный ли и т.д.). Немалые усилия были сосредоточены также на объяснении «увеличения массы» электронов при высоких скоростях в экспериментах Кауфмана и других. Возникла даже идея, что у электрона есть как электромагнитная масса, зависящая от скорости, так и масса неэлектромагнитного происхождения, не зависящая от неё. На самом же деле использование законов сохранения вообще не является объяснением, поскольку не описывает конкретных физических механизмов, посредством которых осуществлялось бы явление инерции. Попытку ввести в объяснение инерции электрона именно механизм была предпринята Р. Фейнманом [2]. Для этого он использовал представления о фиктивных силах (так называемых «натяжениях Пуанкаре»), которые удерживают электрон от разрыва силами электростатического отталкивания. Попытка оказалась неудачной, поскольку результат, полученный в виде бесконечного ряда, не совпал ни с одной из формул, выведенных ранее из законов сохранения. Кроме того, требовала объяснения сама природа «натяжений Пуанкаре», что не прибавляло физической ясности. Если связывать массу электрона с силами, которые удерживают его от разрыва электростатическим отталкиванием, как это делал Р. Фейнман, то придётся объяснить, как именно устроен электрон и почему он устойчив. К этой задаче физика и сегодня даже не готова приступить. Вот и Фейнман не довёл свою попытку описать механизм инерции до какого-либо законченного результата и с огорчением отметил: «по-видимому, мы допустили глупость — возможность «точечного» электрона действовать на самого себя» [2]. Мы считаем, что электрон, конечно же, не является точечным, и рассматривать модели, в которых электрон не имеет размеров, бесперспективно.

Все предыдущие исследователи сосредотачивали своё внимание на том, какова энергия или импульс движущегося со скоростью v электрона. В их рассуждениях электрон двигался равномерно и прямолинейно, хотя инерция проявляется именно при ускоренном движении. Мы же, в отличие от них, изначально рассмотрев ускоренно движущийся электрон, начали с выяснения физического феномена, механизма, который был бы равно ответственен за инерцию элементарного заряда и за его сопротивление ускорению. В качестве такого механизма нами предлагается хорошо известное явление электромагнитной самоиндукции Фарадея. Многие авторы [2, 7, 8] отмечают удивительное сходство известных механических закономерностей и законов электромагнитной индукции. Некоторые авторы рассматривают это сходство как некий забавный курьёз природы. Другие, например, Р. Фейнман, догадывались о более глубокой связи между этими явлениями. Он отмечал в своих «Лекциях по физике»: «...Поскольку любая катушка обладает самоиндукцией, противодействующей изменению тока, ток в катушке обладает своего рода инерцией... если поставить в соответствие напряжение U от внешнего источника приложенной внешней силе F , а ток I в катушке скорости v частицы, то коэффициент индукции катушки L будет соответствовать массе m частицы». И далее он пишет в сноске: «Возможно, это не просто способ установления соответствия между электрическими и механическими явлениями» [2]. Мы полагаем данное сходство не случайным, но фундаментальным явлением, отражающим глубокую

связь между электромагнетизмом и механикой: в основе *всех* механических явлений лежат явления электромагнитные.

Явление самоиндукции возникает тогда, когда мы пытаемся изменить величину (или направление) протекающего в какой-либо цепи тока I . Заключается оно в том, что при попытке изменить ток в цепи этот ток оказывает сопротивление изменению, выражающееся в появлении ЭДС самоиндукции, действующей против силы, пытающейся изменить ток. Этот закон и был установлен М. Фарадеем для замкнутых токов проводимости, но впоследствии в область его действия были включены также и *токи смещения*, а также цепи, в которых ток смещения замыкается токами проводимости и наоборот. Закон самоиндукции Фарадея устанавливает, что величина *противо*ЭДС U , возникающая в цепи, равна:

$$(П2.3) \quad U = -L \frac{dI}{dt},$$

где L - коэффициент, характеризующий цепь протекания тока и называемый *индуктивностью* или *коэффициентом самоиндукции*, а знак «минус» указывает на то, что эта ЭДС действует против изменения тока.

Если рассмотреть механическое движение электрона как протекание *тока* (приложение П1), то *ускоренное* движение электрона (и любого другого заряженного тела) будет эквивалентно *переменному* току. Токи, связанные с механическим движением заряженных тел (в т.ч. и элементарных частиц), называются *конвекционными*. Работами Г. Роуланда (1879) [9, 13], В. К. Рентгена (1888) [5, 10] и А. А. Эйхенвальда (1903) [5, 11, 13], А. Иоффе [13] было установлено, что конвекционные токи подчиняются *тем же* законам, что и любые другие токи, и вызывают *те же* явления. Следовательно, *переменный конвекционный ток*, связанный с *ускоренным механическим движением электрона* (или другой заряженной частицы), должен вызывать *появление ЭДС самоиндукции*, которая определяется в соответствии с законом самоиндукции Фарадея (П2.3) и, по правилу Ленца, направлена *против* силы, вызвавшей ускорение электрона. Вот это и есть предлагаемая нами феноменология механизма инерции.

Далее мы приведём расчёты, основанные на изложенном феноменологическом подходе, чтобы проиллюстрировать принципиальную возможность создания строгой теории, установим связь между электрическими характеристиками элементарных зарядов и их мерой инерции, т.е. массой. В расчетах мы будем полагать скорости v нерелятивистскими, а ускорения a не слишком большими.

Для начала определим величину конвекционного тока движущегося электрона. Для этого воспользуемся определением силы тока: силой тока I называют количество заряда Q прошедшего через поперечное сечение проводника в единицу времени t :

$$(П2.4) \quad I = \frac{Q}{t}.$$

Поскольку мы в данном случае рассматриваем уединённый элементарный заряд, то величина заряда известна $Q = q_0$. Что можно сказать о времени t ? Мысленно расположим произвольную площадку S поперёк движения электрона. Пусть электрон движется со скоростью v . В какой момент времени можно сказать, что через площадку протекает ток? В тот момент, когда заряженное тело (электрон) коснулось площадки. И этот ток будет протекать до тех пор, пока всё тело не пройдёт через площадку. Полагая это заряженное тело сферой с радиусом r_0 , получим время t , за которое весь заряд тела прошёл через площадку S :

$$(П2.5) \quad t = \frac{2r_0}{v}.$$

Подставим это время t в выражение (П2.4) и получим с учётом $Q = q_0$:

$$(П2.6) \quad I = \frac{q_0 v}{2r_0}.$$

Вот такой ток I представляет собой одиночный электрон, движущийся со скоростью v равномерно и прямолинейно. Это выражение определяет силу конвекционного тока в тех случаях, когда за время прохождения t электрона через поперечную площадку скорость v изменяется мало, т.е. $at \ll v$.

Определим теперь **ЭДС самоиндукции**, наводимой таким током на *сам же электрон* в том случае, когда ток *изменяется*. Подставляя (П2.6) в (П2.3), получим:

$$(П2.7) \quad U = -L \frac{dI}{dt} = -L \cdot \frac{d\left(\frac{qv}{2r_0}\right)}{dt} = -\frac{Lq}{2r_0} \cdot \frac{dv}{dt} = -\frac{Lq}{2r_0} \cdot a,$$

где a - ускорение электрона, L - *индуктивность* электрона. Знак ЭДС определяется **правилом Ленца**, в соответствии с которым самоиндукция всегда направлена *против* причины, вызвавшей изменение тока. Наличие ЭДС означает возникновение

электрического поля $E = \frac{U}{l}$, действующего против силы, ускоряющей электрон. Как видно из (П2.7), сила этого противодействия оказалась прямо пропорциональной ускорению электрона a . Поскольку электрическое поле самоиндукции, как известно из опыта, возникает всегда *вблизи* объекта с меняющимся током (контур, соленоид и т.п.), то для ускоренно движущегося электрона, «длина» которого $2r_0$, напряжённость поля самоиндукции можно оценить как:

$$(П2.8) \quad E = \frac{U}{2r_0} = -\frac{Lq}{4r_0^2} \cdot a.$$

Такое поле будет действовать на заряд q_0 с силой, равной:

$$(П2.9) \quad F = q_0 E = q_0 \cdot \left(-\frac{Lq_0}{4r_0^2} \cdot a \right) = -\frac{Lq_0^2}{4r_0^2} \cdot a.$$

Видим, что структура выражения (П2.9) полностью эквивалентна структуре 2-го закона Ньютона. Сила электрического поля самоиндукции, останавливающая ускоряемый электрон, оказалась пропорциональна величине ускорения, умноженной на некую константу. Сравнивая (П2.9) с силой противодействия ускорению (П2.1), получаем выражение для массы электрона:

$$(П2.10) \quad m_0 = \frac{F}{a} = \frac{Lq_0^2}{4r_0^2}.$$

Т.е. масса оказалась *прямо пропорциональна индуктивности*. Индуктивность же L отрезка проводника длины l в вакууме равна (глава 1, глава 5):

$$(П2.11) \quad L = \frac{\mu_0}{4\pi} l,$$

где μ_0 - магнитная проницаемость вакуума. Поскольку «длина» электрона это его диаметр, т.е. удвоенный радиус $2r_0$, то окончательно получим для массы из (П2.10) с учётом (П2.11):

$$(П2.12) \quad m_0 = \frac{\mu_0}{4\pi} 2r_0 \cdot \left(\frac{q^2}{4r_0^2} \right) = \frac{\mu_0 q^2}{8\pi r_0}.$$

Таким образом, мы предложили и описали простой и понятный электродинамический механизм возникновения инерции заряженных частиц на примере электрона и получили выражение для массы электрона через его заряд и радиус. Поскольку заряд входит в выражение для массы частицы (П2.12) во второй степени, то для положительных зарядов наблюдается то же самое явление противодействия самоиндукции их ускоренному движению. Т.е. явление инерции характерно как для отрицательных, так и для положительных зарядов. Пока электрон движется прямолинейно и равномерно, он представляет собой *постоянный конвекционный ток*, определяемый (П2.6). Для постоянных токов явление самоиндукции не наблюдается. Следовательно, ничто не мешает равномерному и прямолинейному движению электрона. Как только электрон получает ускорение, ток, представляемый движущимся электроном, становится *изменяющимся* во времени, и возникает явление самоиндукции (П2.7), препятствующее ускорению. Это и есть то явление, которое до сих пор называлось *инерцией*.

Полученное нами выражение (П2.12) по своей структуре идентично выражениям вида (П2.2), выведенным предыдущими исследователями *без описания механизма* явления, хотя и отличается от них коэффициентом $\frac{\mu_0}{8\pi}$. Коэффициент этот зависит от представлений о «характерном радиусе» электрона и других элементарных частиц. Из выражения (П2.12) вытекает, в частности, что $r_0 \approx 1.4 \cdot 10^{-15} \text{ м}$. Это ровно вдвое меньше так называемого «классического радиуса электрона» $r_{кл} \approx 2.8 \cdot 10^{-15} \text{ м}$ [12, 13 с.189]. На сегодняшний день неизвестны способы прямого достоверного определения абсолютных размеров электрона и других элементарных частиц, поэтому наши представления об этих размерах хотя и отличаются от принятых в физике, но не противоречат опыту.

Стандартным возражением против изложенных выше взглядов является сомнение в правомерности применения закона самоиндукции Фарадея, изначально выведенного для замкнутых контуров с током, к случаю незамкнутых конвекционных токов. На самом же деле, мы не первые сделали это. Использование малого элемента с током (отрезка тока) в законе Био-Савара-Лапласа [7, 8, 13] является, по сути, утверждением, что все явления, установленные для замкнутых контуров с током, имеют место и для *малых отрезков тока* и более того, они есть суперпозиция явлений, производимых малыми отрезками тока. Нетрудно догадаться, что движущийся электрон и есть малый отрезок тока.

Анализируя предложенный нами механизм инерции и полученное нами выражение для массы, многие оппоненты отмечали, что масса электрона должна зависеть от магнитной проницаемости среды μ , поскольку от неё зависит ЭДС самоиндукции в законе Фарадея. Заметим, что магнитная проницаемость среды есть понятие *макроскопическое*. Поэтому, соглашаясь с вышеприведенным соображением в тех

случаях, когда речь идёт о макроскопических телах, мы, тем не менее, отвергаем его, когда речь идёт об элементарных частицах. Наше возражение основано на знании о структуре вещества. Дело в том, что даже в самом маленьком атоме (атоме водорода) электрон находится так далеко от других ближайших зарядов (тысячи своих радиусов), что их магнитные свойства оказывают на его самоиндукцию ничтожное влияние, какой бы ни была макроскопическая магнитная проницаемость среды в целом.

Вопрос о *массе атома*, который в целом *электронейтрален*, нам также задают настолько часто, что мы специально хотим прояснить и этот момент. На сегодняшнем уровне знаний о строении вещества известно, что размер атома водорода в невозбужденном состоянии порядка $r_H \approx 5.3 \cdot 10^{-11} \text{ м}$, что на *несколько порядков* превышает размеры элементарных частиц ($10^{-15} \div 10^{-18} \text{ м}$). Явления самоиндукции, будь то самоиндукция в соленоиде или самоиндукция элементарных частиц, происходят всегда в *непосредственной близости* от объекта самоиндукции. То есть на расстояниях порядка размеров самого объекта. Значит, самоиндукция электрона есть явление *локальное*, происходящее в окрестностях электрона. И с ним практически никак не связана самоиндукция, например, протона в ядре. Поскольку сила, порождаемая самоиндукцией согласно (П2.9) не зависит от знака заряда, то сила, с которой *атом* сопротивляется ускорению, равна *сумме* сил, с которыми сопротивляются ускорению электрон и протон по отдельности. В тех случаях, когда расстояния в системе частиц *сопоставимы* с размерами самих частиц, полная реакция системы частиц на ускорение будет отличаться от простой суммы реакций самих частиц. Это явление известно как *дефект массы*. Дефект массы всегда обнаруживается в *сложных* системах и является проявлением электромагнитной *взаимоиндукции* частиц, входящих в сложную систему.

Литература

1. Э. Уиттакер. История теории эфира и электричества. Москва. Ижевск. 2001. Перевод с английского.
2. Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. Лекции по физике. 6. Электродинамика. Глава 28. Электромагнитная масса. с.302-311. М.: Эдиториал УРСС 2004.
3. А. Зоммерфельд. Электродинамика. М.: Иностранная литература. 1958. с.377-384.
4. Дж. Дж. Томсон Электричество и материя. Перевод с последнего (5-го) английского издания 1924 г. С. ДАВЫДОВА И Н. ЛИХТГЕЙМА под редакцией проф. А.К. ТИМИРЯЗЕВА и З.А. ЦЕТЛИНА с предисловием проф. А.К. ТИМИРЯЗЕВА и многими приложениями Государственное издательство Москва — Ленинград — 1928.
5. А. Афанасьев. Электрическая конвекция. Викизнание. http://www.wikiznanie.ru/ru-wz/index.php/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%B2%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F
6. М. Джемер. Понятие массы в классической и современной физике. Гл. XI. с.143-159. Перевод с английского. М.: «Прогресс». 1967
7. Трофимова Т.И. Курс физики. Учеб. Пособие для вузов. Издание 9-е, перераб. И доп.- М.: Издательский центр «Академия». 2004. с.267
8. Б. М. Яворский, Ю. А. Селезнев. Справочное руководство по физике для поступающих в вузы и для самообразования. М.: «Наука», 1989. с.305
9. Rowland H. A., Am. Journ. of Science (3), vol. 15, 3 (1878).
10. Rontgen W. C. Ann. d. Phys., T. 35, 1888, S. 264 - 270.
11. Эйхенвальд А. А.О магнитном действии тел, движущихся в электростатическом поле (1904 г.) – В кн.: А. А. Эйхенвальд, Избр. работы. -М.: ГТТИ, 1956, с. 7 - 109.
12. Classical electron radius. Wikipedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Classical_electron_radius

13. Калашников С. Г. Электричество: Учебн. пособие. — 6-е изд., стереот. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 624 с. - ISBN 5-9221-0312-1.

П3. Красное смещение при ускорении. Эксперимент

В настоящей работе описан эксперимент по проверке теоретически предсказанного эффекта инерционного «красного» смещения в акустике. Показано, что зависимость изменения частоты от ускорения, расстояния и скорости распространения возмущений абсолютно такая же, как выведенная в ОТО для красного смещения фотонов в поле ускорения. Разработан практически полезный прибор, позволяющий измерять ускорения относительно воздуха (жидкости).

Относительное изменение частоты от ускорения

Рассмотрим ситуацию, изображённую на рис. П3.1

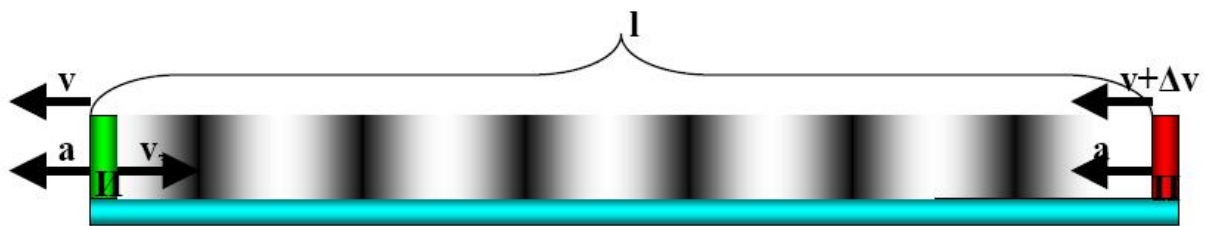


Рис. П3.1. Жёстко связанные приёмник и излучатель звука, движущиеся ускоренно относительно среды

Источник звука I излучает звуковые колебания с частотой f . При этом источник жёстко механически связан с приёмником II (они закреплены на одном основании) и расстояние между ними l . Вся система движется со скоростью v и ускорением a . Скорость распространения звуковых колебаний в среде $v_{зв}$. В некий момент времени t_0 излучатель начал работать. Для того, чтобы звук от источника I достиг приёмника II , потребуется время τ , равное:

$$(П3.1) \quad \tau = \frac{l}{v_{зв}} \text{ [с]}.$$

Поскольку излучённый звук более не связан с источником и приёмником, а связан лишь со средой, предполагающейся неподвижной, то за время τ пока звук «летит» от источника I к приёмнику II , скорость приёмника возрастёт на величину Δv , равную:

$$(П3.2) \quad \Delta v = a\tau = \frac{al}{v_{зв}} \text{ [м/с]}.$$

Длина волны звука постоянна и никак не зависит от движения приёмника. Следовательно, увеличение взаимной скорости звуковой волны и приёмника эквивалентно изменению **частоты** принятого звукового сигнала:

$$(П3.3) \quad \frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta v}{v_{зв}} = \frac{al}{v_{зв}^2}.$$

Эта формула в точности соответствует формуле для инерционного красного смещения, полученного в ОТО, с той разницей, что вместо скорости света стоит скорость звука в среде. Оценим величину изменения частоты Δf при ускорении 10 м/с^2 , длине базы $l = 0.1 \text{ м}$, скорости звука в воздухе $v_{36} = 330 \text{ м/с}$ и частоте ультразвука $f = 40 \text{ кГц}$ (типичная частота для распространённых парковочных ультразвуковых датчиков):

$$(ПЗ.4) \quad \Delta f = \frac{fal}{v_{36}^2} = \frac{40000 \cdot 10 \cdot 0.1}{330^2} = \frac{40000}{108900} = 0.367 \text{ [Гц]}.$$

Видим, что изменение частоты хотя и малое, но вполне *измеримое*.

Техническая реализация измерителя ускорения

Техническая сложность в том, что для измерения столь малого изменения частоты надо наблюдать за сигналом несколько секунд, а за это время уже закончится ускорение (в реальных условиях). Чтобы избежать этого противоречия, следует воспользоваться не частотными, а фазовыми методами. Например, определять сдвиг фазы принятого сигнала относительно излучённого. Понятно, что при изменении частоты принимаемого сигнала на Δf мы будем иметь непрерывно набегающий со временем сдвиг фазы принятого сигнала относительно излученного:

$$(ПЗ.5) \quad \varphi(t) = 2\pi\Delta ft = \frac{2\pi fal t}{v_{36}^2} \text{ [рад]},$$

где расстояние $l = 0.1 \text{ м}$ между приёмником и излучателем, f - несущая частота 40 кГц, a - измеряемое ускорение, t - время.

Поскольку работать с постоянно изменяющимся во времени значением не очень удобно, продифференцируем по времени обе части выражения (3.5) и получим:

$$(ПЗ.6) \quad \frac{d\varphi(t)}{dt} = \frac{d}{dt} \frac{2\pi fal t}{v_{36}^2} = \frac{2\pi fal}{v_{36}^2} \text{ [рад/сек]}.$$

Из формулы (ПЗ.6) непосредственно следует уже блок-схема измерительной установки:

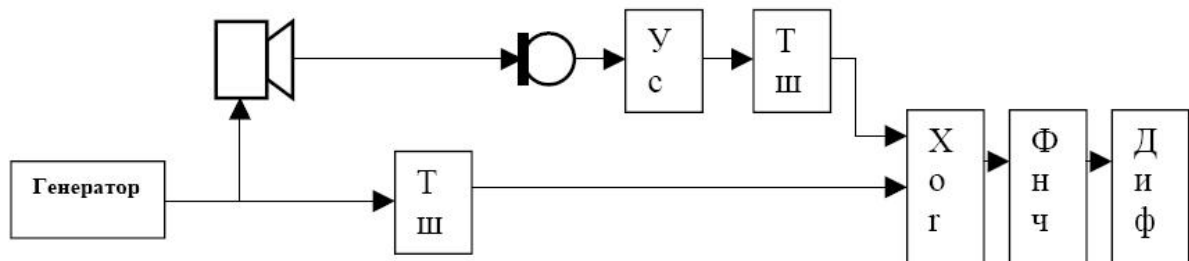


Рис. ПЗ.2. Блок-схема измерительной части прибора

Здесь - **Ус** узкополосный усилитель, **Тш** - триггеры Шмитта, **Хор** - элемент "исключающее ИЛИ", **Фнч** - фильтр нижних частот с частотой среза около 100 Гц (с учётом характерных времён механических перемещений), и **Диф** - дифференциатор.

Прибор работает следующим образом: генератор непрерывно излучает сигнал частоты f (40 кГц), который преобразуется излучателем в ультразвуковые колебания

среды. Сигнал с приёмника усиливается и подаётся на формирователь (схема перехода через ноль, **триггер Шмита**). После триггера сигнал поступает на элемент «исключающее ИЛИ» где сравнивается с аналогичным сигналом, полученным из сигнала задающего генератора. На выходе схемы **Xor** формируются импульсы, длительность которых пропорциональна сдвигу фазы между принятым и излучённым сигналом. Эти импульсы поступают на **ФНЧ**, который полностью подавляет несущую частоту и выделяет только постоянную составляющую, пропорциональную разности фаз. Затем, в полном соответствии с формулой (ПЗ.6), сигнал с выхода **ФНЧ** поступает на дифференциатор **Диф**, на выходе которого формируется сигнал, пропорциональный изменению разности фаз. Когда ускорения нет (система покоится относительно среды), то сигнал на выходе дифференциатора равен нулю, так как сдвиг фаз есть, но он *постоянен*. Как только система приходит в движение с ускорением a , изменяется разность фаз излучённого и принятого сигнала и начинает «дрейфовать» во времени. Именно этот дрейф и выделяется дифференциатором и поступает на выход схемы как сигнал, пропорциональный ускорению. Далее сигнал ускорения может быть оцифрован или визуализирован и использован для анализа и измерений.

Строго говоря, выходной сигнал лишь приближённо линейно зависит от ускорения, поскольку зависимость набега разности фаз от времени на самом деле синусоидальна. Поэтому хорошая линейность возможна лишь на малых временах действия и величинах ускорения. Так, например, при ускорениях около 1 м/с^2 полный период сигнала разности фаз составит около 30 секунд, то есть такие ускорения, длящиеся доли секунды и даже единицы секунд, можно считать всё ещё достаточно малыми и короткими, чтобы выходной сигнал отражал их величину адекватно. Улучшить линейность устройства можно, используя однокристалльную микроЭВМ для анализа выходного сигнала и формирования зондирующих импульсов. В этом случае появляется возможность независимо определять ещё и скорость звука в среде, от точности определения которой зависит точность определения ускорения согласно (ПЗ.6).

Принципиальная схема

Принципиальная схема модели узла измерителя относительного сдвига фаз устройства, выполненная в WorkBench, приведена на рис. ПЗ.3. Усилитель и триггер Шмита на входе тракта приёмника заменены на компаратор мгновенных значений. ФНЧ выполнен в виде простейшей RC -цепочки, дифференциатор выполнен на OU и RC -цепочке с одновременным сдвигом уровня выходного сигнала на середину питания, с целью согласования с микроЭВМ.

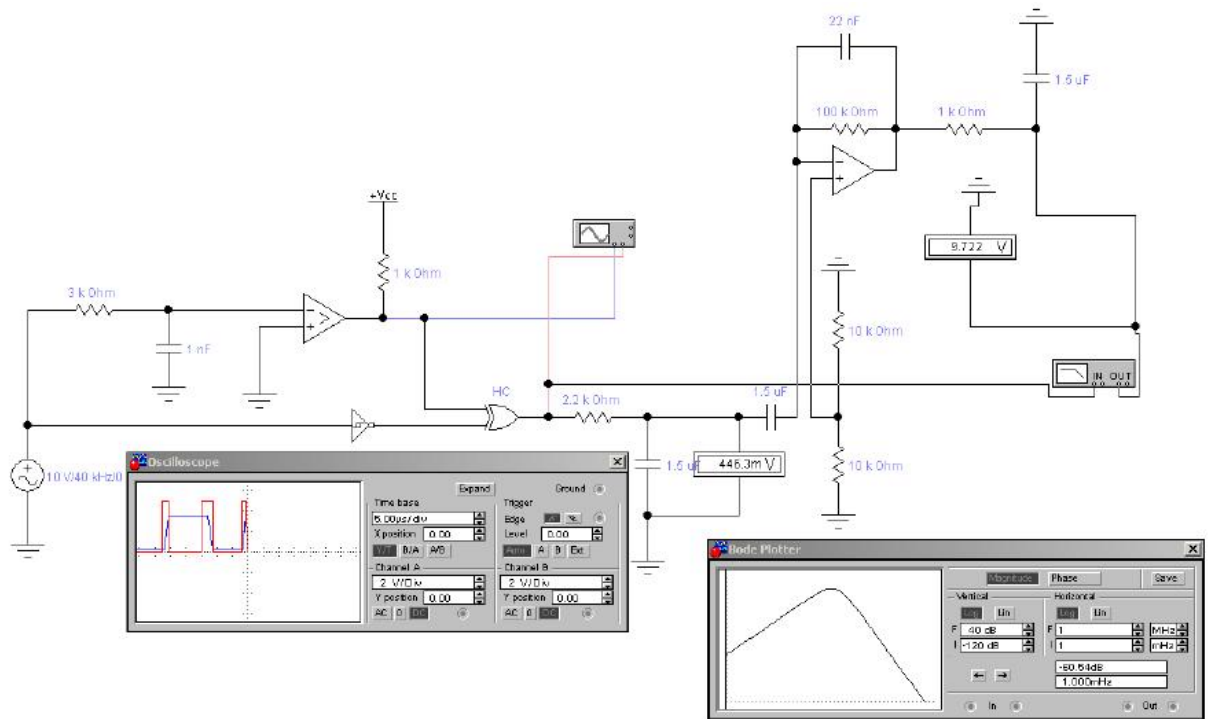


Рис. ПЗ.3. Модель измерителя относительного сдвига фаз с дифференцирующей цепочкой на выходе и постоянным уровнем, для считывания АЦП микроЭВМ.

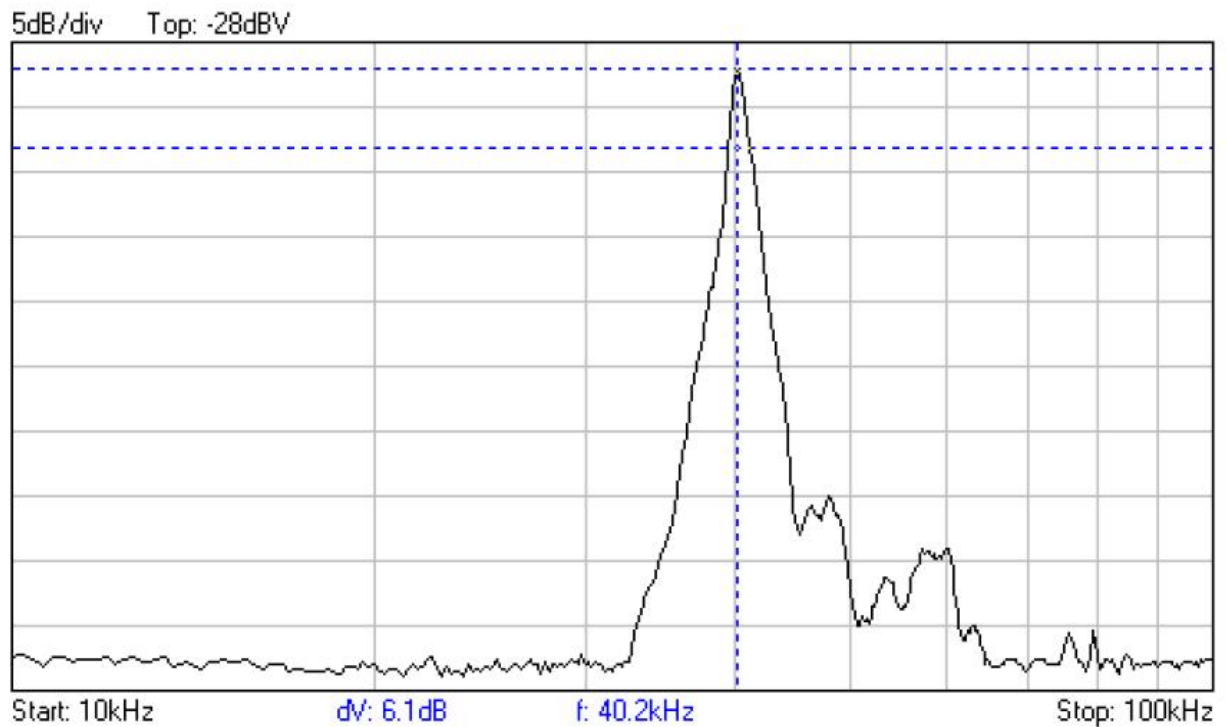


Рис. ПЗ.4. АЧХ сквозного тракта прибора по несущей частоте ультразвука

Для излучения ультразвука использовались излучатель типа МА40Е8-2 (рис. ПЗ.5) и приёмник типа МА40В8RS (рис. ПЗ.6) фирмы muRata с центральной паспортной частотой 40 кГц. Измеренная АЧХ сквозного тракта приведена на рис. ПЗ.4. Ширина полосы по уровню -6 дБ составляет около 2 кГц.

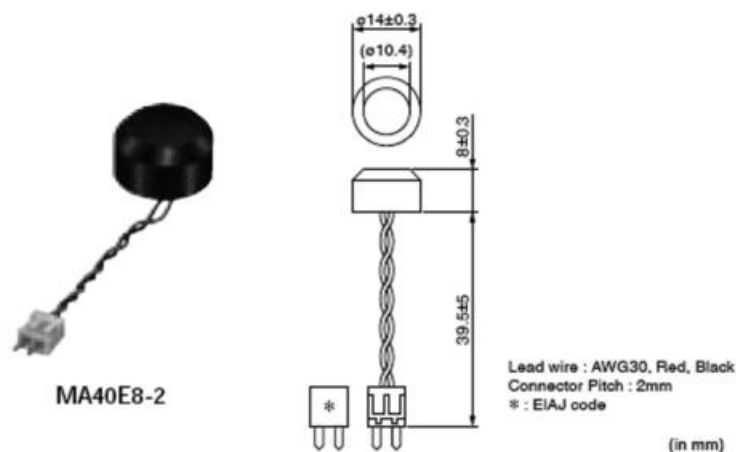


Рис. ПЗ.5. Излучатель ультразвука.



Рис. ПЗ.6. Приемник ультразвука

При реализации экспериментальной установки для задания стабильной частоты была использована тактируемая кварцевым резонатором 20 МГц ОЭВМ PIC16F876.

Экспериментальная установка и результаты экспериментов

Экспериментальная установка, изображенная на рис. ПЗ.7, состояла из описанной выше схемы измерительного узла, ультразвукового датчика из жёстко закреплённых компаундом излучателя и приёмника ультразвука, однокристалльной ЭВМ и автономного источника питания. Все компоненты смонтированы на макетной плате, которая подвешивается в качестве маятника либо устанавливается на лабораторном столе. Сигналы, пропорциональные скорости и ускорению установки относительно воздуха выводятся гибкими витыми парами и подключаются к лабораторному комплексу PC SCOPE для записи и анализа результатов. В ходе эксперимента маятник-датчик свободно раскачивался после начального отклонения от вертикали, и осуществлялась одновременная запись сигналов скорости и ускорения в файл. Затем производилась фильтрация и визуализация сигналов в системе Matlab v6.5. Схема подвеса маятника-датчика приведена на рис. ПЗ.10.

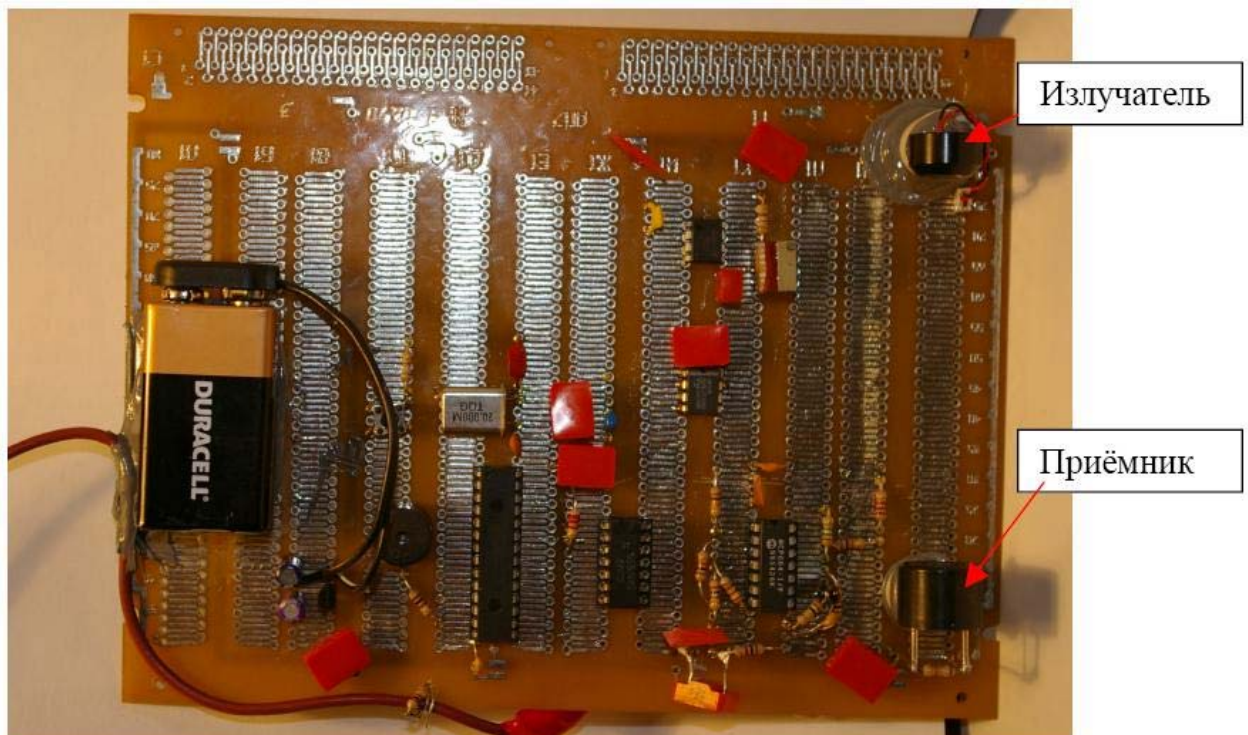


Рис. ПЗ.7. Внешний вид платы маятника-датчика. При экспериментах вся плата целиком, вместе с батарейным источником питания подвешивалась на проводе и служила маятником

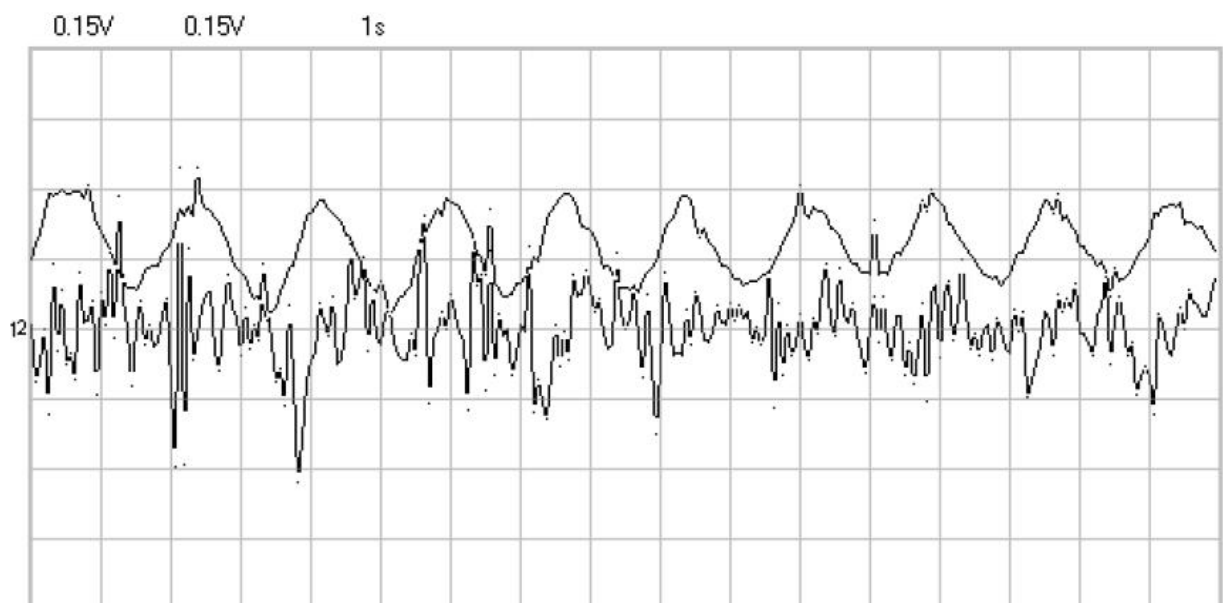


Рис. ПЗ.8. Исходные сигналы скорости (верхний) и ускорения (нижний), полученные в ходе эксперимента с маятником

Сигналы записывались в режиме «Transient recorder» синхронно по каналам скорости и ускорения, затем производилась их математическая обработка.

Исходные сигналы приведены на рис. ПЗ.8, а обработанные - на рис. ПЗ.9.

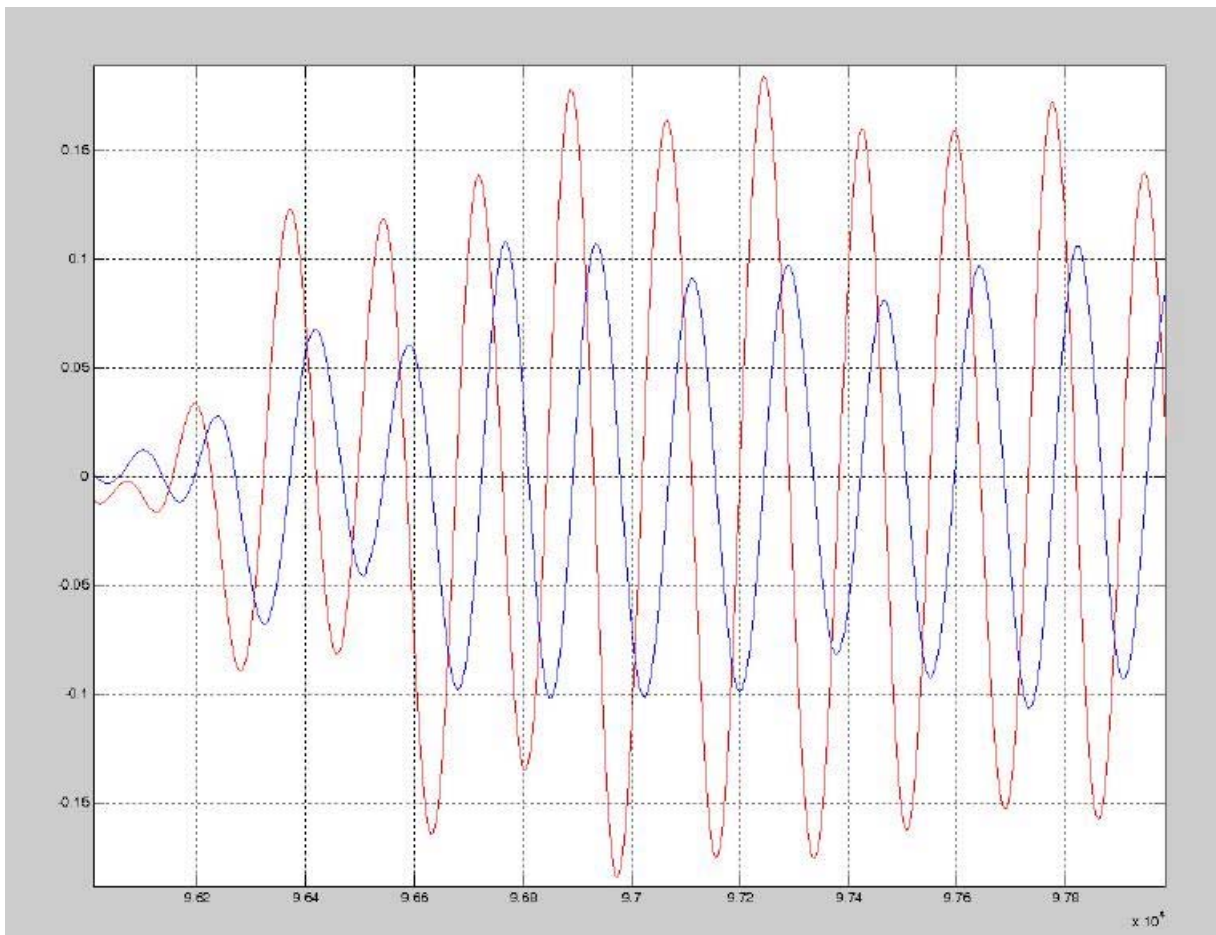


Рис. ПЗ.9. Отфильтрованные сигналы скорости (синий) и ускорения (красный), полученные в ходе эксперимента с маятником.

Видно, что сигналы скорости и ускорения, приведенные на рис. ПЗ.8, сдвинуты на 90 градусов один относительно другого, что и следовало ожидать. Фильтрация ещё более наглядно демонстрирует этот факт на рис. ПЗ.9. Установлено, что при вполне «гладком» механическом движении датчика в воздухе возникают многочисленные мелкомасштабные и кратковременные ускорения, сопоставимые по амплитуде с ускорениями маятника. Они легко отфильтровываются фильтром нижних частот. Кроме того, наблюдается температурный дрейф сигнала (рис. ПЗ.11), связанный с флуктуациями температуры воздуха в лаборатории и вызванными ими изменениями скорости звука.

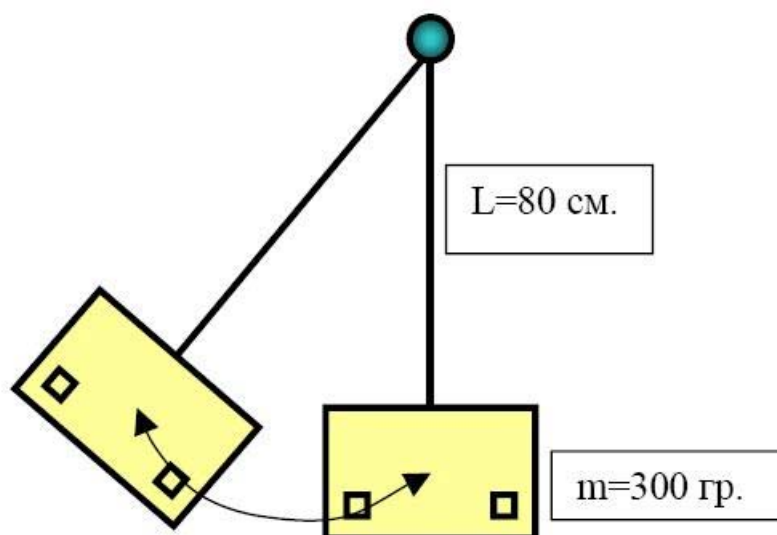


Рис. ПЗ.10. Схема подвеса устройства (маятника-датчика) в эксперименте.

Эти флуктуации носят низкочастотный характер и легко отфильтровываются фильтром верхних частот.

Итак, датчик-маятник подобен математическому маятнику. Период его колебаний:

$$(ПЗ.7) T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

При длине подвеса 0.8 м период оказывается равным 1.8 секунды. На рис. ПЗ.8 видно, что в экране умещаются 9 периодов, соответствующих 17 секундам полного времени. Соответственно измеренный в эксперименте период колебаний маятника получается $17/9=1.89$ секунды, что является неплохим соответствием, учитывая довольно большие габариты и малый вес платы маятника-датчика. В середине процесса затухающих колебаний маятника скорость его движения составляла около 10 см/сек, ускорение около 10 см/с^2 . Это соответствовало амплитудным значениям сигналов скорости и ускорения около 100 мВ. В состоянии полного покоя маятника сигнал помехи в обоих каналах имел амплитуду около 10 мВ. Следовательно, разрешающая способность прибора по скорости не хуже 1 см/сек, а по ускорению около 1 см/с^2 .

Таким образом, мы не только продемонстрировали возможность обнаружения в акустике эффектов, считавшихся релятивистскими, но и разработали прибор, способный измерять скорости и ускорения движения газообразных (жидких) сред относительно датчика.

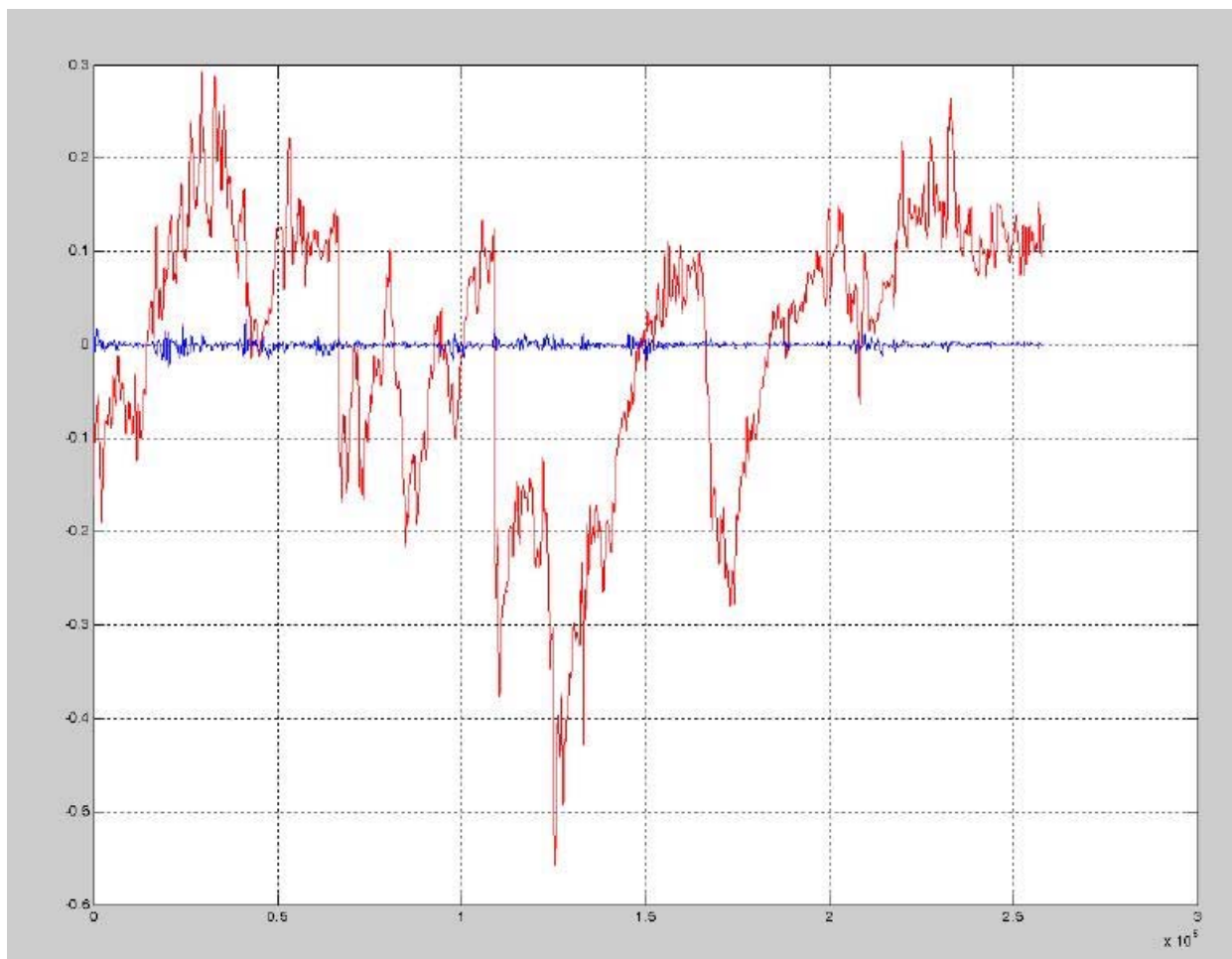


Рис. ПЗ.11. Температурный дрейф скорости и ускорения за всё время эксперимента (около 45 минут). Температура изменялась скачком каждый раз, когда пускали маятник, поскольку при этом двигались люди, открывалась дверь и перемещались значительные массы воздуха

Что касается второй части эксперимента - проверки отсутствия непосредственного влияния тяготения на звук в воздушной среде, то его постановка и результаты выглядят гораздо проще. Датчик устанавливался на открытом лабораторном столе, приподнятом на держателе в первом случае так, чтобы звук шёл сверху вниз, во втором - снизу вверх. До поверхности стола и до потолка было практически одинаковое расстояние с тем, чтобы влияние отражённых от них звуковых волн было бы не только малым, но и по возможности одинаковым. В непосредственной близости от установки были удалены все предметы, могущие вызвать отражение звуковых волн и искажение картины звукового поля. Приведём результаты эксперимента. В первом случае амплитуда на выходе канала скорости была 164 мВ при среднеквадратичном отклонении от этого значения 16,8 мВ. Во втором случае соответственно 155 мВ и 15,1 мВ. Совершенно очевидно, что оба результата статистически одинаковы. С выхода же канала ускорения были получены средние значения 0 мВ в обоих случаях при среднеквадратичных отклонениях 1,4 мВ. То есть статистически достоверный ноль. На наш взгляд, это - ожидаемый результат. Более того, он фактически показывает, каким образом в реальности происходит гравитационное красное смещение фотонов. В самом деле, если в ходе только что описанного эксперимента, вдруг допустить воздуху свободно падать сквозь пол, то он, как и всякое иное тело, будет падать с ускорением свободного падения. Наша установка немедленно зафиксирует наличие ускорения датчика относительно воздуха. Следовательно, вполне закономерно предположить, что эфир (вакуум) свободно падает на гравитирующие тела, и именно это ускоренное движение его относительно испускаемых с поверхности таких тел

фотонов и приводит к «покраснению» последних. Следует отметить для тех, кто пожелает повторить и проверить наши результаты, что температура воздуха влияет на показания приборов существенно и что во всяком помещении существует *вертикальный градиент температуры*, который при небрежном экспериментировании легко ошибочно принять за «гравитационный» эффект.

Литература

1. Piezoelectric ceramic sensors. Murata Manufacturing Co. Ltd. Cat. No. P19E-8
2. Красное гравитационное смещение. Википедия.
http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%81%D0%BC%D0%B5%D1%89%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5
3. В. В. Майер. Простые опыты с ультразвуком. М.: Наука, 1978.
4. Э. Ангерер. Техника физического эксперимента. М.: Государственное издательство физико-математической литературы. 1962.
5. Г.С. Горелик. Колебания и волны. М.: Государственное издательство физико-математической литературы. 1959.

П4. «Поперечный» сдвиг частот в оптике и акустике

В настоящей работе выяснена подлинная природа частотного сдвига гармонического сигнала при поперечном движении источника сигнала. Показано, что эффект связан с неустранимым **ускоренным** изменением дистанции от источника до приёмника. Именно ускоренность взаимного движения вызывает указанный эффект, независимо от природы исследуемых сигналов. В акустике эффект существует точно в таком же виде, как и в оптике, и не нуждается в постулатах СТО и/или ОТО для своего объяснения.

Относительное изменение частоты от ускорения

Рассмотрим ситуацию, изображённую на рис. П4.1

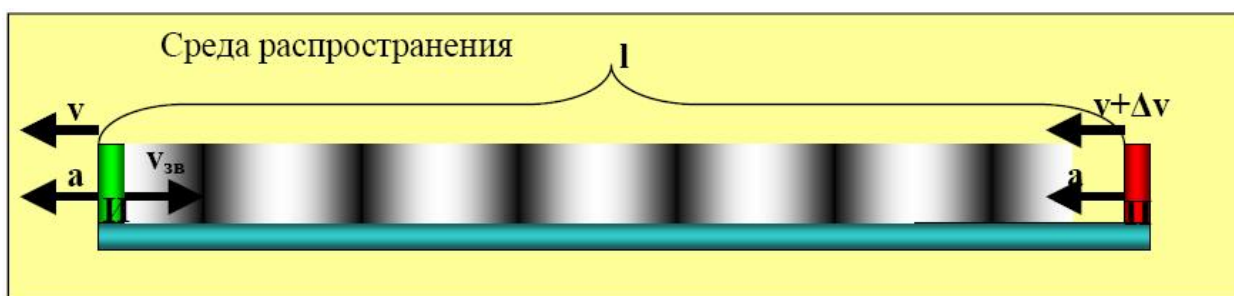


Рис. П4.1. Жёстко связанные приёмник и излучатель звука, движущиеся ускоренно относительно среды

Источник звука *И* излучает звуковые колебания с частотой f . При этом источник жёстко механически связан с приёмником *П* (они закреплены на одном основании) и расстояние между ними l . Вся система движется со скоростью v и ускорением a . Скорость распространения звуковых колебаний в среде $v_{зв}$. В некий момент времени t_0 излучатель начал работать. Для того чтобы звук от источника *И* достиг приёмника *П*, потребуется время τ , равное:

$$(П4.1) \quad \tau = \frac{l}{v_{зв}} \text{ [с].}$$

Поскольку излучённый звук более не связан с источником и приёмником, а связан лишь со средой, предполагающейся неподвижной, то за время τ , пока звук «летит» от источника *И* к приёмнику *П*, скорость приёмника возрастёт на величину Δv , равную:

$$(П4.2) \quad \Delta v = a\tau = \frac{al}{v_{зв}} \text{ [м/с].}$$

Длина волны звука постоянна и никак не зависит от движения приёмника. Следовательно, увеличение взаимной скорости звуковой волны и приёмника в определенном смысле эквивалентно изменению **частоты** принятого звукового сигнала:

$$(П4.3) \frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta v}{v_{зв}} = \frac{a \ell}{v_{зв}^2}.$$

Эта формула в точности соответствует формуле для инерционного красного смещения, полученного в ОТО с той разницей, что вместо скорости света стоит скорость звука в среде. Оценим величину изменения частоты Δf при ускорении 10 м/с^2 , длине базы $\ell = 0.1 \text{ м}$, скорости звука в воздухе 330 м/с и частоте ультразвука 40 кГц (типовая частота для распространённых парковочных ультразвуковых датчиков):

$$(П4.4) \Delta f = \frac{fa\ell}{v_{зв}^2} = \frac{40000 \cdot 10 \cdot 0.1}{330^2} = \frac{40000}{108900} = 0.367 [\text{Гц}].$$

Видим, что изменение частоты хотя и малое, но вполне измеримое. Детально, эксперименты по обнаружению этого эффекта в акустике описаны в приложении П.3. Отметим, что ровно ту же формулу мы получим для случая, когда ни приёмник, ни излучатель не имеют начальной скорости, и даже в том случае, если излучатель, например, неподвижен и ускоренно движется только приёмник.

Геометрия поперечного движения и вывод формулы частотного смещения

Рассмотрим теперь ситуацию, представленную на рис. П4.2

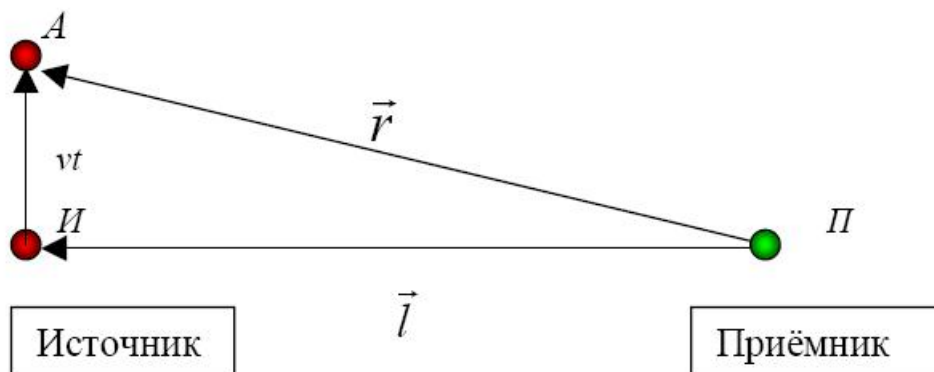


Рис. П4.2. Поперечное движение источника волн относительно приёмника

Пусть источник движется равномерно и прямолинейно со скоростью \vec{v} . В некий момент времени, принимаемый за начало отсчёта времени, он оказывается движущимся перпендикулярно вектору \vec{l} , соединяющему приёмник и источник. Пусть теперь через некоторое время t , в течение которого источник продолжал двигаться равномерно и прямолинейно, он оказывается в новом положении A . Теперь расстояние от положения источника A до приёмника обозначим \vec{r} . Выразим расстояние r от времени t . Очевидно, что по теореме Пифагора о сторонах прямоугольного треугольника:

$$(П4.5) r = \sqrt{l^2 + v^2 t^2} [\text{м}].$$

Теперь определим *ускорение* $a(t)$ источника относительно приёмника путём двукратного дифференцирования расстояния по времени:

$$(П4.6) \frac{d^2 r}{dt^2} = -\frac{v^4 t^2}{(l^2 + v^2 t^2)^{3/2}} + \frac{v^2}{(l^2 + v^2 t^2)^{1/2}} = a(t) [\text{м/с}^2].$$

А теперь устремим время t к нулю, чтобы получить величину ускорения в *начальном* положении источника:

$$(П4.7) \lim_{t \rightarrow 0} a(t) = -\frac{v^4 t^2}{(l^2 + v^2 t^2)^{3/2}} + \frac{v^2}{(l^2 + v^2 t^2)^{1/2}} \Big|_{t=0} = \frac{v^2}{l} [\text{м/с}^2].$$

Видим, что для любого расстояния до источника l ускорение отлично от нуля. Главным возражением против осмысленности только что проделанных выкладок обычно является заявление, что с ростом l ускорение уменьшается до ничтожных величин. Да, это так. Однако взгляните на формулу (П4.3), описывающую относительно смещение частоты сигнала, излучённого ускоренно движущимся источником. Как видите, оно *линейно растёт* с ростом расстояния l . Подставим же выражение для ускорения a из (П4.7) в (П4.3) и получим для относительного сдвига частоты:

$$(П4.8) \frac{\Delta f}{f} = \frac{al}{v_{36}^2} = \frac{v^2}{l} \cdot \frac{l}{v_{36}^2} = \frac{v^2}{v_{36}^2}.$$

То есть относительный сдвиг частот оказался пропорционален *отношению квадратов скоростей источника и распространения сигнала* в среде. И это отношение не зависит от расстояния и *качественно* совпадает с результатами экспериментов, выполненных как в оптике, так и в акустике. Таким образом, «поперечный эффект Доплера» не является специфически релятивистским эффектом, а представляет собой вполне тривиальное следствие нелинейности изменения расстояния до источника от времени при поперечном движении источника в рамках Евклидовой геометрии. Механизм явления совершенно прост: чтобы говорить о частоте волн, необходимо излучить хотя бы несколько периодов, иначе понятия «спектр», «частота», «ширина полосы» просто неприменимы. За то время пока эти несколько периодов излучаются, источник успевает сместиться из положения точной перпендикулярности и приобрести относительно приёмника радиальную скорость $v = at$. Понятно, что *средняя его скорость* за весь этот период будет равна *половине* максимальной (движение было примерно равноускоренным!). Тогда формулу (П4.8) следует откорректировать, помножив на $1/2$.

$$(П4.9) \frac{\Delta f}{f} = \frac{\frac{1}{2} al}{v_{36}^2} = \frac{1}{2} \frac{v^2}{l} \cdot \frac{l}{v_{36}^2} = \frac{1}{2} \frac{v^2}{v_{36}^2}.$$

Напомним, что в соответствии с известным релятивистским выражением для поперечного эффекта Доплера:

$$(П4.10) \frac{\Delta f}{f} = 1 - \sqrt{1 - \frac{v^2}{v_{36}^2}}.$$

При малых скоростях сравнительно с v_{36} выражения (П4.9) и (П4.10) дадут практически одинаковый результат. На рис. П4.2а приведены графики зависимости относительного сдвига частот от скорости перпендикулярного движения. Красным цветом изображена

зависимость по формуле (П4.9), чёрным - по формуле (П4.10). Видим, что при скоростях меньших половины скорости распространения волны, отличия весьма незначительны.

«Однако, мы рассмотрели *не все* явления, в данном случае приводящие к «сдвигу» частот. **Вторым фактором**, который следует непременно учитывать при рассмотрении «поперечного Доплера», является **абберация звука** (света). Звук от движущегося источника распространяется под некоторым *углом* к вектору l на рис. П4.2. Абберацию звука оценить несложно из простых соображений. Пока звук распространяется от источника к приёмнику время $\tau = l/v_{3g}$, источник успевает сдвинуться на некоторое расстояние $v\tau$. То есть нарушается перпендикулярность движения и образуется продольная компонента скорости (направленная вдоль \vec{r}). Можно показать, что при малых относительных скоростях движения эта продольная проекция v_r будет иметь величину:

$$(П4.11) \quad v_r = \frac{v^2}{v_{3g}}.$$

Тогда связанный с ней *линейный эффект Доплера* примет значение:

$$(П4.12) \quad \frac{\Delta f}{f} = \frac{v_r}{v_{3g}} = \frac{v^2}{v_{3g}^2}.$$

То есть имеет ту же структуру и порядок величины, что и эффект связанный с ускоренностью изменения расстояния между источником и приёмником. Эффекты абберации следует обязательно учитывать при постановке *экспериментов*, иначе результат будет весьма далёким от реальности. В случае звука всё более-менее просто, поскольку мы можем легко отметить момент именно перпендикулярного движения источника. В случае со светом всё сложнее, поскольку информация о «моменте перпендикулярности» дойдёт до нас не быстрее, чем сам излучённый свет.

Графики на рис. П4.2а получены при помощи следующего м-скрипта в среде Matlab 6.5:

```
v=[1:299];
f1=v.^2/c^2;
f2=1.-sqrt(1.-v.^2/c^2);
plot(v,0.5*f1,'r',v,f2,'k');
grid on;
```

Физический смысл того, что максимальный частотный сдвиг по формуле (П4.9) составит не более 50%, весьма прозрачен: когда радиальная проекция скорости источника от нулевой достигнет предельной скорости v_{3g} , частота принимаемого сигнала будет равна нулю. Однако **средняя** частота между нулём и f есть, разумеется, $f/2$. После достижения предельной радиальной скорости говорить о *перпендикулярном* Доплере уже невозможно, так как источник уже движется строго радиально.

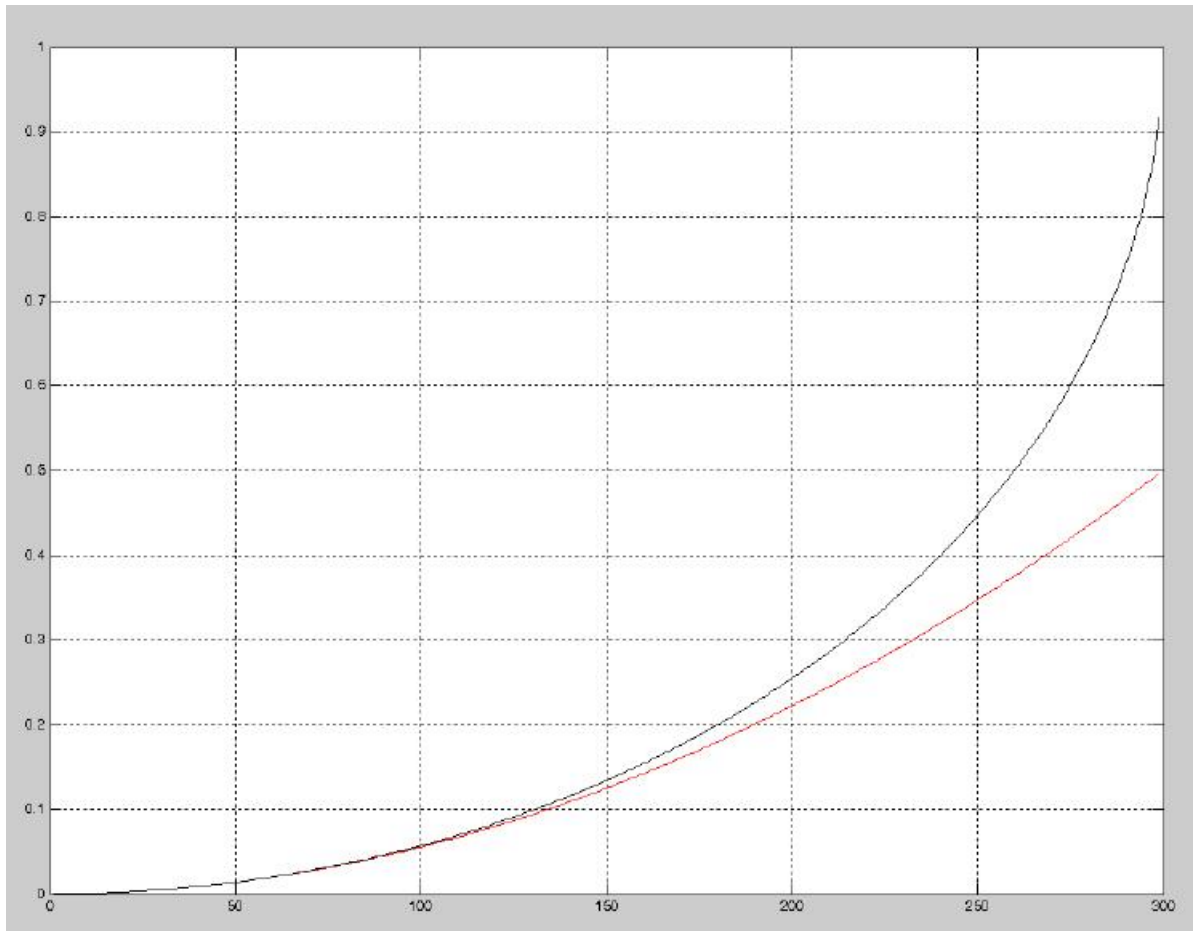


Рис. П4.2а. Сопоставление выражений (П4.9) и (П4.10) для поперечного релятивистского эффекта Доплера

Геометрия кругового движения и "проверки ОТО"

Рассмотрим теперь случай, когда источник и приёмник движутся по круговым орбитам. Случай имеет практическое значение, так как некоторые так называемые «проверки ОТО» производились при помощи спутников, в т. ч. находящихся на геостационарных орбитах.

На рис. П4.3 изображён случай, когда источник расположен в центре, а приёмник совершает равномерное круговое движение вокруг него на заданном расстоянии r .

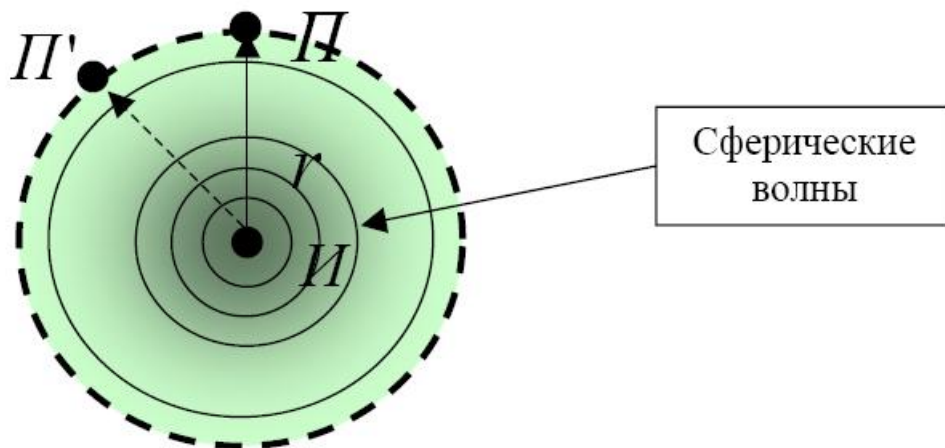


Рис. П4.3. Круговое движение источника и приёмника, источник в центре

Пусть источник I непрерывно излучает сферические волны. Например, акустические или оптические. Совершенно очевидно из геометрии рисунка П4.3, что за время t , пока испущенный источником фронт сферической волны достигнет радиуса r , приёмник Π повернётся в положение Π' . Но при таком повороте (с сохранением расстояния до центра) движущийся приёмник «коснётся» волнового фронта *ровно в тот же* момент времени, что и при неподвижном приёмнике. Следовательно, в точке приёма движущегося приёмника мы будем наблюдать ту же фазу и частоту волны, что и при неподвижном приёмнике. То есть, несмотря на то, что ускорение приёмника не равно нулю, тем не менее, никакого эффекта частотного сдвига наблюдать не должно. Картина совершенно изменяется, как только мы *выносим источник из центра* окружности и располагаем его на некотором расстоянии l от центра. Именно такая ситуация имеет место при экспериментах со спутниками (рис. П4.4).

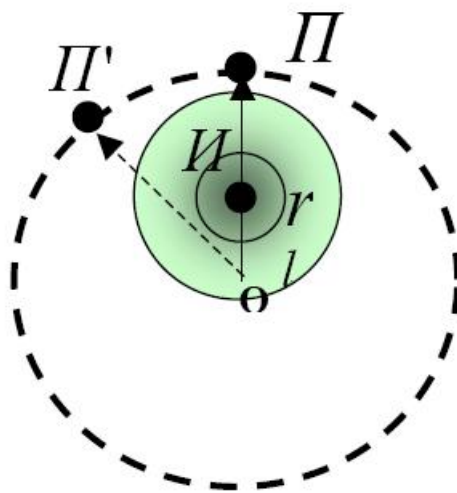


Рис. П4.4. *Круговое движение источника и приёмника, источник расположен на радиусе*

Видим, что приёмник Π при повороте вокруг центра окружности O в положение Π' **удаляется** от фронта сферической волны, испущенной источником I . То есть приёмник должен воспринимать как минимум другую *фазу* волны, а возможно и более низкую частоту, чем та, которая испущена источником. В случае, когда источник I почти неподвижен (спутник *не* на геостационарной орбите), то очевидно, что будет меняться не только фаза, в которой приёмник принял волну, но и частота в силу того, что приёмник постоянно удаляется от источника. В случае геостационарной орбиты эффекты, скорее всего, ограничатся изменением фазы принимаемого сигнала на некую постоянную величину.

Необходимо отметить, что из вышесказанного следует довольно-таки общий вывод о том, что *ускорения, различные по своей природе и наблюдаемые в различных ситуациях, вообще говоря - различны*. То есть производят различные эффекты. Нельзя при анализе ускоренных движений бездумно пользоваться результатами, полученными при существенно других условиях, чем изучаемые. Так, например, выражение (П4.3) для частотного сдвига в ускоренной системе, приведенной на рис. П4.3, оказывается неприменимо.

П5. Движущееся поле. Прибор и эксперимент

Введя понятие движения поля и применяя его для создания физической картины мира, мы разработали *метод* измерения скорости движения поля и построили *прибор*, измеряющий эту скорость. Прибор и метод разработаны для *магнитного* поля, хотя мы понимаем, что в реальности магнитного поля, как самостоятельного объекта, не существует. Тем не менее в целях наглядности весьма удобно пользоваться представлением о самостоятельно существующем «магнитном поле». Можно воспользоваться для создания прибора непосредственно определением, введенным в главе 1. Предложенная там процедура предполагает фиксацию величины напряжённости поля в какой-то момент времени и затем, через фиксированный интервал времени, быстрый поиск той координаты, в которой обнаруживается то самое значение напряжённости поля, которое было ранее зафиксировано. Для мысленных экспериментов и рассуждений такая процедура вполне удобна, так как мысленно мы можем перемещаться и измерять напряжённости с любой скоростью, вплоть до бесконечной. На практике же это невозможно, поэтому требуется модифицировать процедуру измерения скорости движения поля с целью получения достаточной точности при простой технической реализации прибора. К счастью, модификация метода оказывается почти очевидной.

Используемый в приборе метод предполагает расположение двух датчиков магнитного поля (датчики Холла, например) на небольшом фиксированном расстоянии R друг от друга (рис. П5.1).

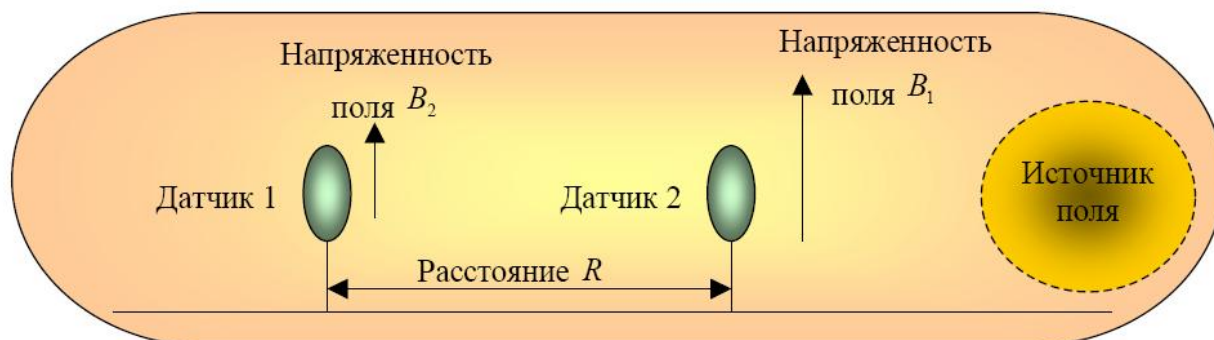


Рис. П5.1. Расположение датчиков в методе измерения скорости движения поля

Показания первого (ближнего к источнику движущегося поля) датчика фиксируются с интервалом Δt в регулярные моменты времени t_i и обозначаются как B_1 . Показания второго датчика снимаются синхронно с показаниями первого и обозначаются как B_2 . Обе величины запоминаются. Далее обе напряжённости измеряются с высокой частотой (много большей, чем $1/\Delta t$) и сравниваются с запомненными величинами. Если напряжённость увеличивается, то через некоторый интервал времени Δt_B величина напряжённости на втором датчике достигает запомненной величины B_1 . Если же напряжённость уменьшается, то, наоборот, величина на первом датчике достигнет запомненной ранее величины B_2 . Поскольку нам неизвестно априорно будет напряжённость поля уменьшаться или увеличиваться, то мы делаем и то и другое одновременно, прекращая измерения как только величина поля, хотя бы на одном из датчиков, достигнет запомненной ранее величины «противоположного» датчика. При этом мы получаем информацию о том, нарастает напряжённость поля или же убывает. И о

временном интервале Δt_B , за который поле «прошло» расстояние между датчиками, равное R . Нетрудно догадаться, как теперь определить скорость движения поля v_B :

$$(П5.1) \quad v_B = \frac{R}{\Delta t_B}.$$

Можно заметить, что в предложенном методе мы заменили поиск в пространстве «поиском» во времени. В рамках наших представлений это возможно, поскольку движение полей мало чем отличается (за исключением особых случаев) от движения механических объектов. Остаётся определить, что делать, если равенство напряжённостей в описанной выше процедуре не достигнуто за время Δt . Один из вариантов - объявить, что скорость в этом случае пренебрежимо мала и назначить её равной нулю. Например, если расстояние между датчиками равно 1 см, а время $\Delta t = 0.1$ с, то минимальная измеряемая скорость составит 0.1 м/с. Теперь, измерив скорость, следует вывести её из измерительного прибора в виде, например, уровня напряжения U_v . В соответствии с описанной процедурой был разработан и изготовлен прибор - измеритель скорости движения магнитного поля (рис. П5.2).

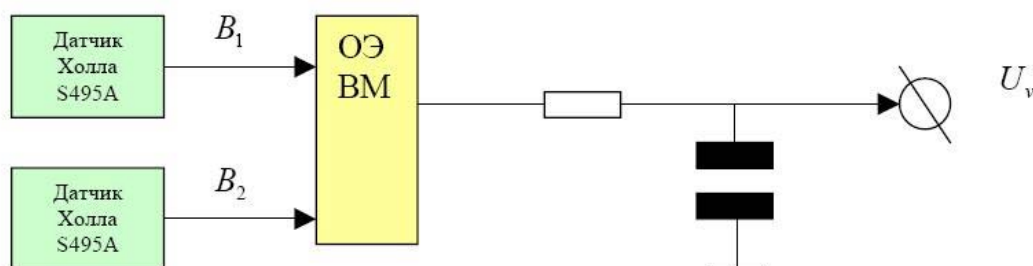


Рис. П5.2. Блок-схема измерителя скорости движения магнитного поля

Построив прибор, мы провели два наглядных эксперимента, показывающих, что переменное магнитное поле является движущимся полем. В первом эксперименте мы расположили постоянный магнит в виде маятника, подвесив его на тонком длинном рычаге, способном двигаться только в одной плоскости (рис. П5.3а). Отклонив магнит на не слишком большую величину, отпускаем его и снимаем показания на выходе прибора. Магнитное поле постоянного магнита движется вместе с самим магнитом, следовательно, скорость движения поля должна быть равна просто механической скорости движения маятника относительно прибора. Поскольку колебания маятника хорошо поддаются расчету и изменения его скорости от времени известны, сравниваем эксперимент с расчетом. Видим (Рис. П5.4а), что изменения скорости движения поля от времени носят почти синусоидальный характер, что и следовало ожидать.

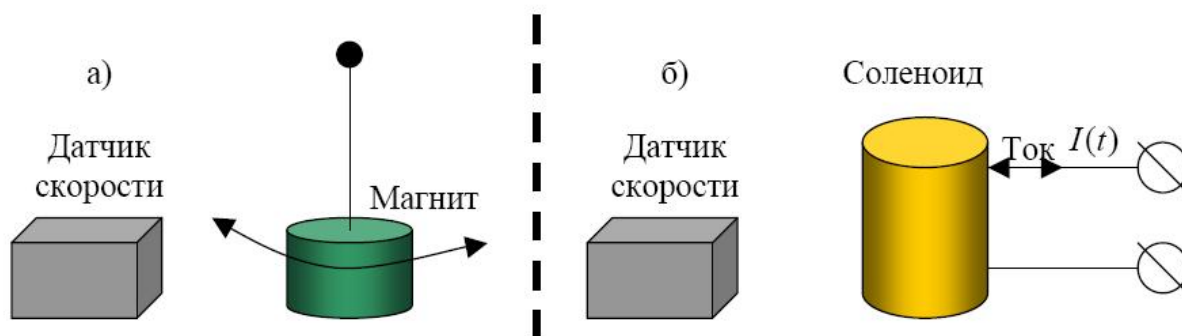


Рис. П5.3. Схема экспериментов с измерителем скорости движения поля

Во втором эксперименте мы заменяем маятник с постоянным магнитом на неподвижный соленоид с синусоидально меняющимся током $I(t)$ (Рис. П5.3б) и вновь снимаем показания прибора.

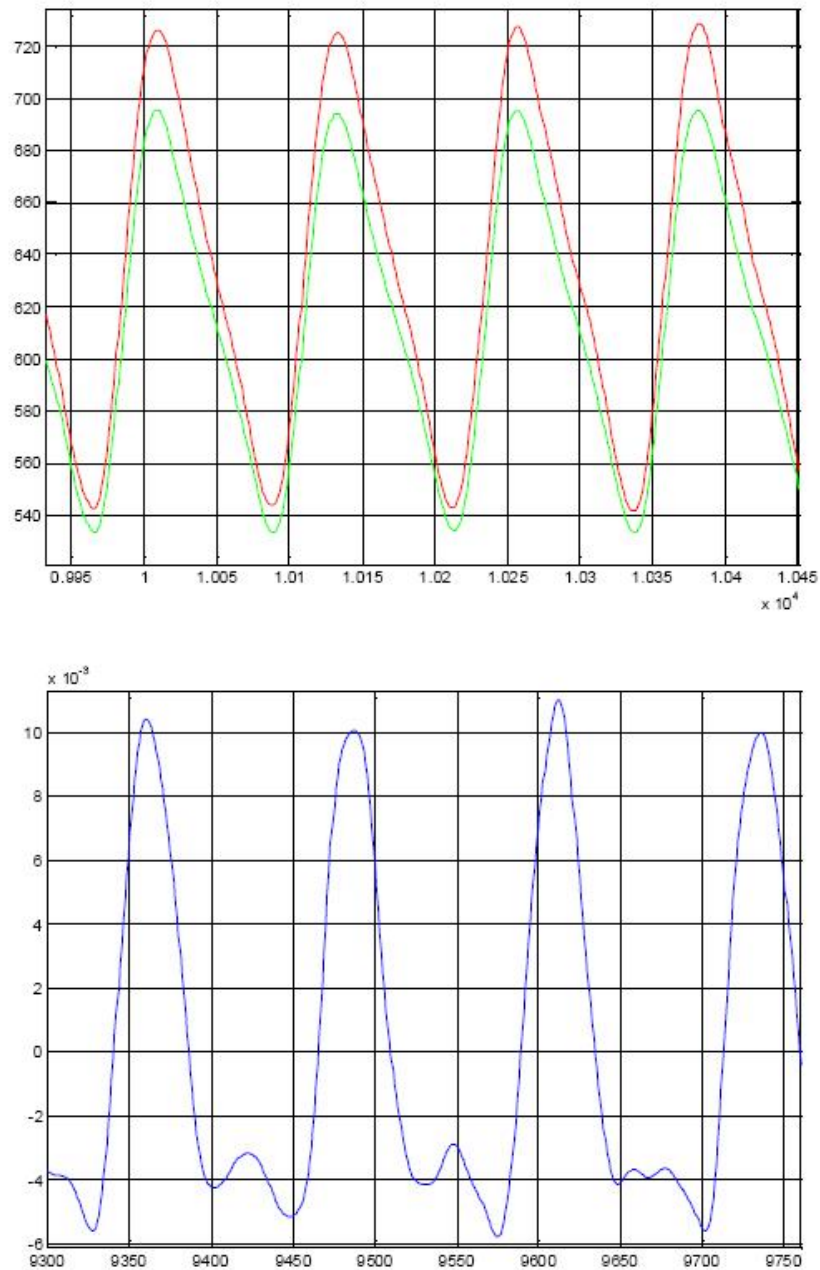


Рис. П5.4а. Результаты экспериментов с измерителем скорости движения поля для случая механических колебаний подвешенного магнита. Вверху показания разнесённых датчиков магнитного поля от времени, внизу значения скорости. Скорость ограничена

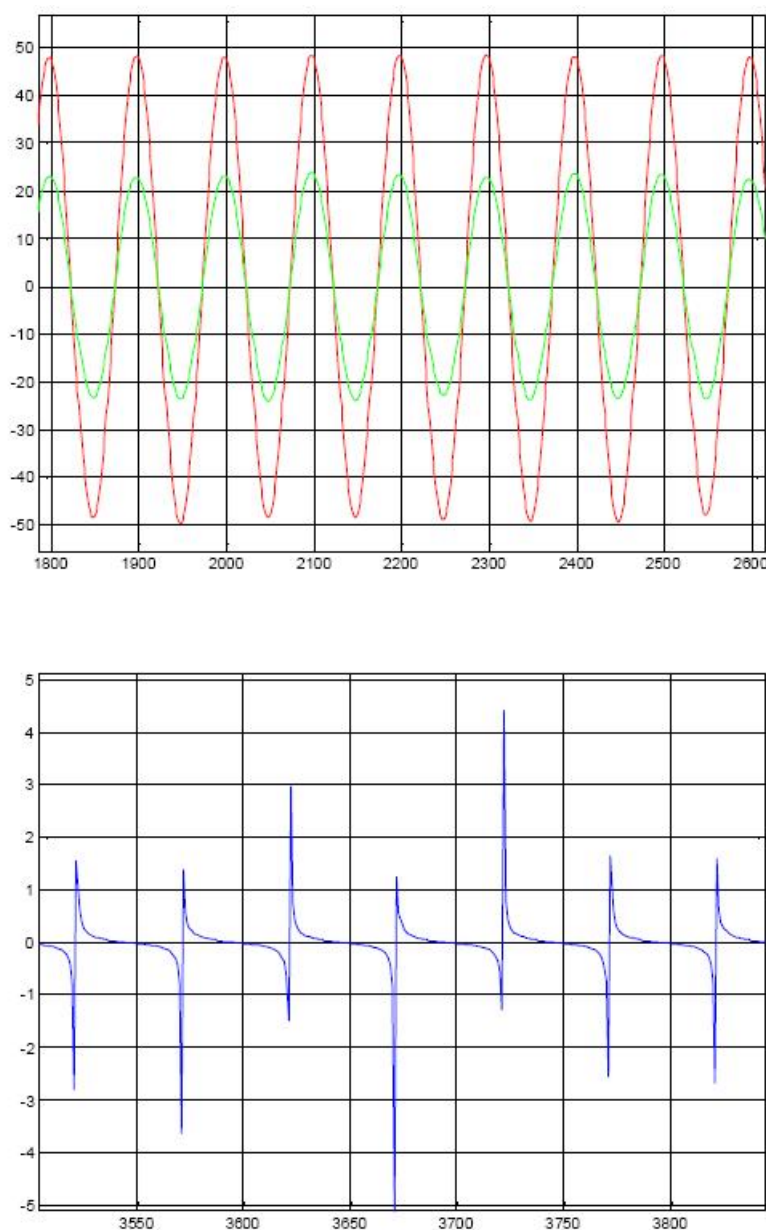


Рис. П5.46. Результаты экспериментов с измерителем скорости движения поля для случая неподвижного соленоида с переменным током. Вверху показания разнесённых датчиков магнитного поля от времени, внизу значения скорости. Скорость периодически «устремляется в бесконечность»

Видим (рис. П5.46), что график изменения скорости движения поля от времени вполне соответствует соотношению:

$$(П5.2) v_B \sim R \frac{\dot{B}}{B} \sim \frac{\sin(\omega t)}{\cos(\omega t)} \sim \tan(\omega t).$$

Таким образом, прибор, верно определяющий скорость движения поля в случае простого механического движения источника поля, показывает, что переменное во времени поле даже неподвижного источника также обладает скоростью, зависящей от времени, т.е. движется.

На рис. П5.6 приведена фотография прибора, использовавшегося для вышеописанных экспериментов.

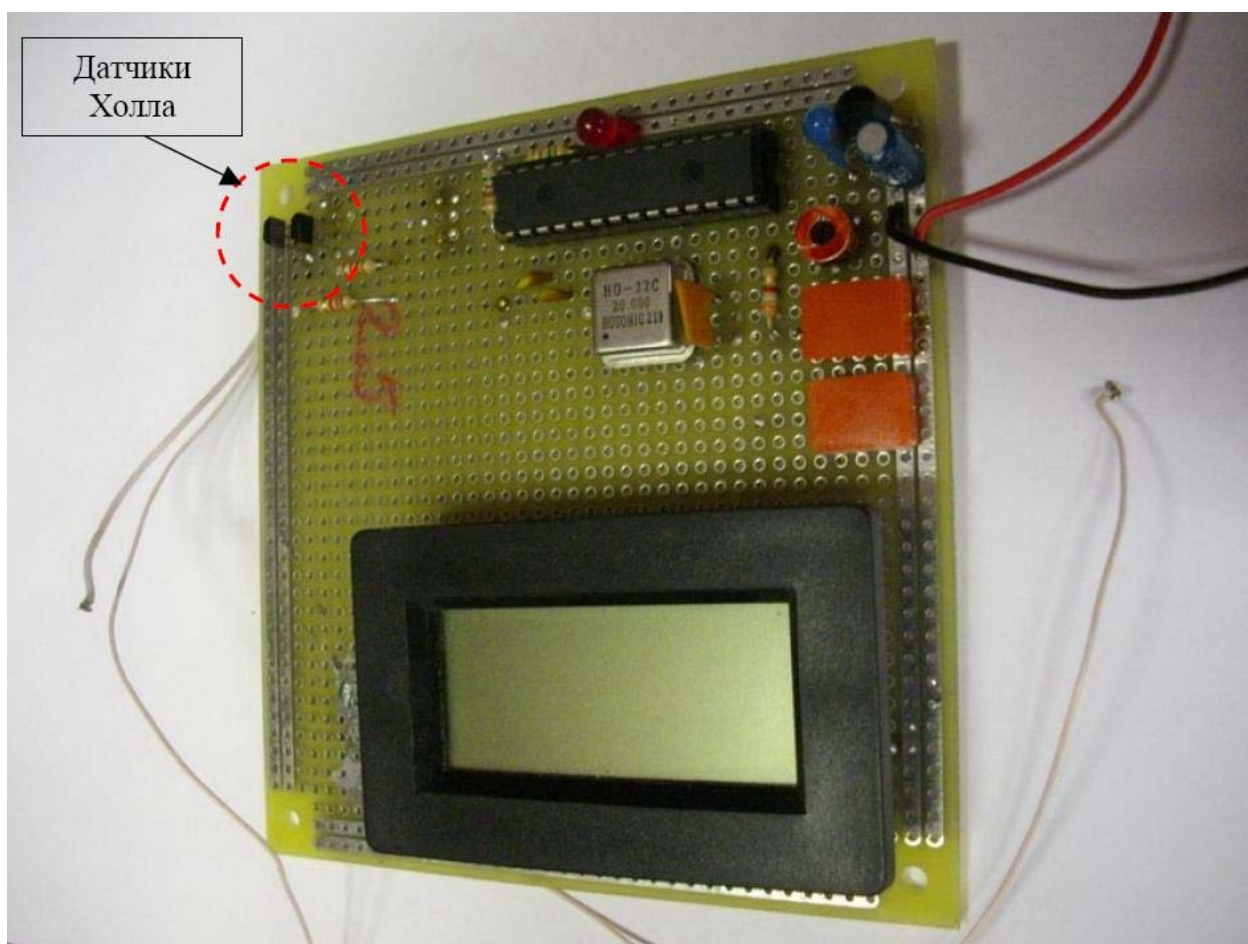


Рис. П5.5. Фотография действующего макета датчика скорости движения магнитного поля. Цифровой дисплей при работе отображает расстояние до источника магнитного поля

П6. Гравитация? Это очень просто!

Гравитация есть универсальное взаимодействие, в которое, как считается, вступают все весомые тела во Вселенной. Сила F_g этого взаимодействия прямо пропорциональна произведению масс m и M взаимодействующих тел и обратно пропорциональна квадрату расстояния R между ними (П6.1). Это выражение носит название «**Закон тяготения Ньютон**»:

$$(П6.1) F_g = \gamma \frac{mM}{R^2}.$$

Коэффициент пропорциональности γ в СИ равен $6.67 \cdot 10^{-11} [\text{Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2}]$. Впервые эта постоянная получена экспериментальным путём в 1798 году Г. Кавендишем. В настоящее время считается, что эта постоянная универсальна и отражает объективные свойства нашей Вселенной. Поскольку видимая нами Вселенная заполнена, в основном, **вакуумом**, то, можно сказать, что гравитационная постоянная есть одно из *свойств вакуума*, подобно тому, как другие его свойства отражают универсальная электрическая и магнитная постоянные. То, что постоянная тяготения отражает свойства именно вакуума, а не зримой нами материи подтверждает тот факт, что величина этой постоянной в рамках точности человеческих экспериментов *не зависит от присутствия или отсутствия вблизи измерительной установки даже очень больших масс*. Проще говоря, опыты, позволяющие измерить эту постоянную, проведенные в открытом космосе, и опыты, проведенные на Земле, дают одинаковые результаты. Считается, что гравитация не экранируется ничем и более того, даже "чёрные дыры" гравитируют, точно так же, как и любые другие тела во Вселенной. Не обнаружено никаких "гравитационных зарядов", так же, как не обнаружено никаких "гравитационных волн" за всё время научного изучения вопроса о природе гравитации. Такое поведение гравитации заставляет учёных полагать, что она есть особое, выделенное, не похожее ни на что физическое явление. В рамках одних теорий гравитация связывается с особым гравитационным *полем*, окружающим любые материальные тела. В рамках других теорий (в частности, ОТО) отрицается наличие какого-либо специфического поля, а взаимопритяжение гравитирующих тел объявляется *геометрическим свойством пространства* (заполненного, как мы помним, всё тем же **вакуумом**!). На сегодняшний день, как и во времена Ньютона, нет **никаких** внятных объяснений явления тяготения тел, которые сводили бы гравитацию к уже известным явлениям и вскрывали бы физический **механизм** взаимодействия тел.

Для понимания механизма возникновения такого явления, как гравитация, необходимо чётко осознать ряд известных фактов. *Во-первых*, следует вспомнить и постоянно учитывать тот факт, что **все массивные тела состоят из астрономического количества микроскопических зарядов**. *Во-вторых*, следует учесть, что **среда, в которую погружены все эти микроскопические заряды, является физическим вакуумом**. Этот так даже тогда, когда вокруг гравитирующих тел имеется, например, атмосфера. Всё дело в том, что расстояния между элементарными частицами как в газах, так и в жидкостях и в твёрдых телах настолько огромны по сравнению с размерами самих частиц, что, в любом случае, частицы, хотя бы потенциально способные повлиять на те, которые мы будем рассматривать, находятся безумно далеко (на расстоянии миллионов их радиусов). Поэтому мы и не будем их учитывать. А раз так, то явление тяготения должно определяться только **свойствами элементарных заряженных частиц**, из коих состоят тела, и **свойствами физического вакуума**, в которое эти частицы погружены. Ограничимся пока только рассмотрением протонов и электронов, из которых и состоит самое распространённое во Вселенной вещество, **водород**. Что нам известно о свойствах

элементарных частиц? Прежде всего, частицы имеют *заряд*. Кроме того, они имеют *размеры*. Эти размеры весьма и весьма малы, порядка 10^{-15} [м] и менее. Заряженные частицы таких размеров, согласно законам электростатики, создают вблизи себя поля огромной *напряжённости* и с огромным *градиентом напряжённости*. А что нам известно о самом вакууме? Нам твёрдо известно, что вакуум является практически идеальным *диэлектриком* с диэлектрической проницаемостью, равной $8.85 \cdot 10^{-12}$ [пф/м]. Все известные науке диэлектрики подвержены одному хорошо известному электрическому *явлению*: они *втягиваются в область более сильного электрического поля*. Как установлено в рамках электростатики, сила \vec{F} , с которой диэлектрики втягиваются в область более сильного поля, прямо пропорциональна поляризации диэлектрика \vec{P} умноженной на градиент напряженности поля и \vec{E} объём диэлектрика V :

$$(П6.2) \vec{F} = V \cdot \vec{P} \cdot \text{grad}(\vec{E}).$$

Следовательно, если допустить у физического вакуума в сверхсильных полях хотя бы ничтожно малую, но отличную от нуля поляризацию (а это давно развивающаяся физическая теория, например, А. Б. Мигдал «Полризация вакуума в сильных полях и пионная конденсация», УФН, 1977, ноябрь), то придётся признать, что и *вакуум должен втягиваться в элементарные заряды*. Подобно тому, как притягиваются пылинки и шерстинки к наэлектризованной синтетической одежде. И подобно тому, как притягиваются железные опилки к магниту. Но вакуум вблизи элементарных зарядов не есть «чистый» вакуум. Он, так сказать, «отягощён» электрическим полем этих зарядов. Как мы показали в работах, посвящённых инерции, инерционные свойства присущи именно электрическому полю. Следовательно, *электрическое поле* вблизи элементарных зарядов *имеет массу*. С общепринятых сегодняшних физических позиций можно было бы сказать, что электрическое поле имеет энергию, а, следовательно, имеет и массу, согласно соотношению Эйнштейна $E = mc^2$. Удельная плотность энергии электрического поля дана во всех учебниках физики и составляет $\frac{\epsilon_0 E^2}{2} V$. Значит, некую удельную плотность массы имеет и тот самый физический вакуум, отягощенный полем, который испытывает втягивание в область более сильного поля. Масса выделенного объёма поля V будет равна, соответственно $\frac{\epsilon_0 E^2}{2c^2} V$. А коль скоро на имеющий *массу* объект действует *сила*, то он должен прийти в движение с некоторым *ускорением*:

$$(П6.3) F = ma \Rightarrow a = \frac{F}{m}.$$

Ускорение это по самой своей природе всегда будет направлено к заряду, вне зависимости от его знака. Таким образом, мы приходим к выводу, что *вакуум, находящийся вблизи элементарных зарядов, приходит в ускоренное движение*. Если таких зарядов много в одной области пространства, то вакуум придёт в более ускоренное движение вблизи этой области, поскольку «втягивающие» действия всех зарядов сложатся. В астрономических телах, суммируясь, это ускорение достигнет привычных для нас величин, именуемых *ускорениями свободного падения*. Такова феноменология механизма, приводящего вакуум вблизи элементарных зарядов в ускоренное движение.

Можно исчислить ускорение a , которое приобретает вакуум вблизи элементарного заряда, например, вблизи электрона:

$$(П6.4) \quad a = \frac{F}{m} = \frac{V\vec{P}grad(\vec{E})}{\frac{\varepsilon_0 E^2}{2c^2}V} = \frac{2\vec{P}grad(\vec{E})}{\mu_0 \varepsilon_0^2 E^2}.$$

Поскольку электрическое поле любого сферического заряда имеет хорошо известную форму $E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$, то $grad(E) = \frac{d}{dr} \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = -\frac{2q}{4\pi\varepsilon_0 r^3}$. И нам остаётся лишь определить, какова же поляризация вакуума \vec{P} . Поляризация любого диэлектрика определяется, как $P(E) = \varepsilon_0(\varepsilon - 1)E$ и считается линейно зависящей от напряжённости электрического поля, разумеется, в тех случаях, когда *относительная диэлектрическая проницаемость* $(\varepsilon - 1)$ этого диэлектрика не зависит от напряжённости. В нашем случае диэлектрическая проницаемость вакуума зависит от напряжённости E_0 электрического поля вблизи *поверхности* заряда, радиус которого r_0 . Именно эта зависимость и носит название *явления поляризации* вакуума. Ну, а коль скоро мы приняли стандартную гипотезу простейшей (линейной) зависимости относительной диэлектрической проницаемости вакуума от напряжённости электрического поля, то, следовательно, $P(E) = \eta\varepsilon_0 E_0 E$. Здесь константа η имеет смысл потенции вакуума к поляризации в электрическом поле и мы называем её *поляризуемостью* вакуума. Теперь мы можем вычислить выражение П6.4:

$$(П6.5) \quad a = \frac{2\vec{P}grad(\vec{E})}{\mu_0 \varepsilon_0^2 E^2} = \frac{\eta c^2 q}{\pi \varepsilon_0 r_0^2}.$$

Итак, можете видеть сами, что ускорение эфира (вакуума) вблизи заряженной элементарной частицы оказывается *квадратично* убывающим с расстоянием от частицы, что и являет собой *содержание закона Всемирного тяготения Ньютона*. Кроме того, это ускорение обратно пропорционально радиусу r_0 элементарной частицы, точно так же как и инерционная масса. Что внушает нам догадку о том, как будет выглядеть введённая нами постоянная η , когда мы с ней, наконец, разберёмся. А разобраться несложно, поскольку нам известна гравитационная масса, например, электрона. Гравитационная напряжённость на поверхности электрона g и будет равна ускорению свободного падения $g = \frac{F_m}{m}$. Отсюда уже очень несложно получить выражение для константы

$$\eta = \gamma \cdot \frac{q}{8c^4} = 1.647 \cdot 10^{-64} [M/B].$$

Как видите, величина крайне малая, так что вряд ли её можно измерить в каких-либо прямых экспериментах. Впрочем, кто знает, возможно и найдётся когда-нибудь такой талант, который сумеет это сделать. Осталось определить гравитационную массу электрона:

$$(П6.6) \quad m_0 = \frac{q}{8c^4} \frac{c^2 q}{\pi \varepsilon_0 r_0} = \frac{\mu_0 q^2}{8\pi r_0},$$

и увидеть, что она в точности *равна* той *инерционной массе*, которую мы определили в работах по инерции. Таким образом, изложенная теория ускорения вакуума вблизи зарядов позволяет вывести как *закон Всемирного тяготения*, так и *принцип эквивалентности масс* как простые *следствия*.

Ранее, в работах, посвященных инерции, мы показали, что ускоренное движение заряда относительно окружающего его вакуума вызывает явление *самоиндукции*, которая «тормозит» ускоряемый заряд и *воспринимается* наблюдателем, как сила инерции. Поскольку в силу самого принципа относительности неважно, заряд движется относительно окрестного вакуума или сам вакуум движется ускоренно относительно заряда, то в нашем случае возникает всё то же знакомое явление самоиндукции. Только на сей раз самоиндукция *воспринимается* не как инерционность заряда, а как его «притяжение» к другому заряду. Если некое пробное тело, состоящее из элементарных зарядов, находится вблизи другого такого же тела, то возникнет *взаимодействие*. Каждый элементарный заряд каждого тела в рассматриваемой паре будет вызывать ускоренное движение вакуума вокруг себя, а каждый элементарный заряд другого тела будет, пребывая в этом ускоренно движущемся вакууме, испытывать силу самоиндукции, направленную к первому телу. И наоборот. В результате *возникнет силовое взаимодействие двух систем зарядов с участием вакуума*, несмотря на полную суммарную электронейтральность этих систем. Это силовое взаимодействие и воспринимается нами как загадочная *сила гравитации*. Можно и так сказать, что тяготение есть весьма малое отклонение поведения зарядов от закона Кулона, обусловленное диэлектрическими свойствами самого физического вакуума, в коем эти заряды находятся. Невозможность *экранирования* гравитации вытекает из очевидной *невозможности остановить движение вакуума*.

Итак, с тяготения и гравитации, наконец, сняты последние покровы таинственности, и вы можете теперь ясно видеть простую электрическую сущность этого явления.

Полный список использованной литературы

1. П.А.Жилин. Реальность и механика. Труды XXIII школы-семинара. Анализ и синтез нелинейных механических колебательных систем. Институт проблем машиноведения. Санкт-Петербург, 1996.
2. В.Захаров. Тяготение от Аристотеля до Эйнштейна. Бином. Серия «Лаборатория знаний». М.: 2003.
3. Голин Г.М. Хрестоматия по истории физики. Классическая физика. Мн.: Выш. школа, 1979.
4. Т.И.Трофимова. Курс физики. 9-е издание. – М.: Издательский центр «Академия», 2004 г.
5. Б. М. Яворский, Ю. А. Селезнев. Справочное руководство по физике. Для поступающих в вузы и для самообразования. М.: "Наука", 1989 г.
6. Сборник «Альберт Эйнштейн и тория гравитации». М.: «Мир», 1979 г.
7. Г. Соколов, В. Соколов. Специальная теория относительности может быть опровергнута экспериментально. <http://www.wbabin.net/sokolov/sokolovr.pdf>
8. Википедия. Общая теория относительности.
http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D1%89%D0%B0%D1%8F_%D1%82_%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8
9. ЖУРНАЛ АМЕРИКАНСКОГО ОПТИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА Том 43, номер 8, Август, 1953 ДВОЙНЫЕ ЗВЁЗДЫ И СКОРОСТЬ СВЕТА Пэрри Мун, Массачусетский Технологический Институт, Кембридж, Штат Массачусетс и Домина Эберле Спенсер, Университет Коннектикута, Storrs, Штат Коннектикут (Поступило 25 марта, 1953) <http://btr.nnov.ru/moon.html>
10. Г. Соколов, В. Соколов. Сущность специальной теории относительности <http://www.wbabin.net/sokolov/sokolov9r.pdf>
11. В. И. Ганкин, Ю. В. Ганкин. Как образуется химическая связь и как протекают химические реакции. ИТХ. Институт теоретической химии. Бостон. 1998 г.
12. Б.И.Спасский, А.В. Московский. О нелокальности в квантовой физике. УФН. Т.142. вып. 4. 1984. Апрель.
13. А. П. Мартыненко. «Вакуум в современной квантовой теории» Соросовский образовательный журнал, т.7, N 5., 2001 г.
14. А.Н.Матвеев. Электричество и магнетизм. М.: Высшая школа. 1983.
15. Владимир Петрович Карцев. «Магнит за три тысячелетия». 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1988..
16. Научно-образовательный Центр ФТИ им.А.Ф.Иоффе <http://link.edu.ioffe.ru/physica5/14>
17. Униполярная индукция. Википедия.
http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%BD%D0%B8%D0%BF%D0%BE%D0%B%D1%8F%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B8%D0%BD%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F
18. Розенбергер Ф. История физики. - М.; Л.: ОНТИ, 1937.
19. Гальвани А., Вольта А. Избранные работы о животном электричестве. - М.; Л.: ОГИЗ, 1937.
20. Белькинд Л. Д. Андре-Мари Ампер. М.: Наука, 1968.
21. Двайт Г.Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы. М.: Наука, 1978.
22. Золотухин В.А. О природе электромагнетизма.
<http://www.ntpo.com/physics/opening/25.shtml>

23. Николаев Г.В. Современная электродинамика и причины ее парадоксальности. Экспериментальные парадоксы электродинамики.
<http://bourabai.narod.ru/nikolaev/electro05.htm>
24. Энциклопедия "Кругосвет". Статья "КАНТ, ИММАНУИЛ".
<http://slovari.yandex.ru/dict/krugosvet/article/e/e8/1011683.htm?text=%D0%BA%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%BF%D0%BE%D0%BD%D1%8F%D1%82%D0%B8%D1%8F%20%D1%81%D0%B8%D0%BB%D1%8B&encid=krugosvet&encid=krugosvet>
25. G. A. Miller, "Charge Densities of the Neutron and Proton," Phys. Rev. Lett. 99, 112001 (2007).
26. Э. Уиттакер. История теории эфира и электричества. Москва. Ижевск. 2001. Перевод с английского.
27. С. Гордюнин. Идеальные проводники и кинетическая индуктивность. Квант 1996/N4. с.40.
28. Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. Лекции по физике. 6. Электродинамика. Глава 28. Электромагнитная масса. с.302-311. М.: Эдиториал УРСС 2004.
29. Бредов М.М., Румянцев В.В., Топтыгин И.Н. Классическая электродинамика. М.: Наука, 1985. с.101
30. А. Зоммерфельд. Электродинамика. М.: Иностранная литература. 1958. с.377-384.
31. Владимир Жданов. МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ Энциклопедия «Кругосвет» <http://slovari.yandex.ru/dict/krugosvet/article/9/92/1011706.htm>
32. Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А. Расчет индуктивностей: Справочная книга. - Л. Энергоатомиздат, 1985.
33. Э. Уиттакер. История теории эфира и электричества. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». 2001. Перевод с англ.
34. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика в десяти томах. Том 8. Электродинамика сплошных сред. стр. 96-102
35. Википедия. Статья ГРАВИТАЦИОННАЯ ПОСТОЯННАЯ.
http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F
36. Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. Фейнмановские лекции по физике. Часть 5. Электричество и магнетизм. с.209, 207-211
37. Большая советская энциклопедия. Статья "Поляризация вакуума".
<http://slovari.yandex.ru/dict/bse/article/00061/33700.htm>
38. Об эфирном ветре. Библиотека Мошкова. 1999. <http://n-t.ru/tp/iz/ev.htm>
39. Современные теории эфира. <http://www.scorcher.ru/art/theory/air/air.php>
40. Википедия. Статья "Эфир (физика)".
[http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D1%84%D0%B8%D1%80_\(%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0\)#.D0.9C.D0.BE.D0.B4.D0.B5.D0.BB.D0.B8.D1.8D.D1.84.D0.B8.D1.80.D0.B0](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D1%84%D0%B8%D1%80_(%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0)#.D0.9C.D0.BE.D0.B4.D0.B5.D0.BB.D0.B8.D1.8D.D1.84.D0.B8.D1.80.D0.B0)
41. Дж. Максвелл. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. М., 1954
42. Thomas Valone, Ph.D. Harnessing the Wheelwork of Nature. Tesla's Science of Energy. Kempton, IL. ISBN 1-931882-04-5
<http://www.college.ru/physics/courses/op25part2/content/chapter2/section/paragraph1/theory.html-top>
43. Г.Н.Берман. Циклоида. Об одной замечательной кривой и некоторых других, с ней связанных. М. Наука. 1980.
44. Б.А.Арбузов, А.А.Логунов. Строение элементарных частиц и связи между различными силами природы. УФН. Т.123. вып. 3. Ноябрь 1977 г.

45. Википедия. Элементарная частица.
<http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86%D0%B0>
46. G. A. Miller, "Charge Densities of the Neutron and Proton," Phys. Rev. Lett. 99, 112001 (2007).
47. Энциклопедия "Кругосвет". Статья "Атомного ядра строение"
http://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/fizika/ATOMNOGO_YADRA_STROENI_E.html
48. К.Ленг. Астрофизические формулы. Часть 1. Издательство "Мир". Москва. 1978. с.328.
49. Википедия. Атом водорода
http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%82%D0%BE%D0%BC_%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B0#.D0.AD.D0.BD.D0.B5.D1.80.D0.B3.D0.B5.D1.82.D0.B8.D1.87.D0.B5.D1.81.D0.BA.D0.B8.D0.B9_.D1.81.D0.BF.D0.B5.D0.BA.D1.82.D1.80
50. Ю.К.ЗЕМЦОВ, К.В.БЫЧКОВ. КУРС ЛЕКЦИЙ ПО АТОМНОЙ ФИЗИКЕ
http://heritage.sai.msu.ru/ucheb/Zemcov/Part_3_Hydrogen/Chapter_13/Chapter_13.htm
51. Лабораторная работа 1.5 В.Ж.Мадирбаев стр. 2, 5 и 6
[http://www.phys.nsu.ru/atom/text/Labwork\(atom\)1-5.pdf](http://www.phys.nsu.ru/atom/text/Labwork(atom)1-5.pdf)
52. CODATA recommended values of the fundamental physical constants: 1998*,† Peter J. Mohr and Barry N. Taylor National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland 20899-8401
53. Атом водорода. Линейчатые спектры. "Мир Физики"
http://www.fizmir.org/bestsoft/9_3.htm
54. А. Зоммерфельд. Электродинамика. ИИЛ. Москва. 1958.
55. В. Смайт. Электростатика. Электродинамика. ИИЛ. Москва. 1954.
56. MFJ-259В. Руководство пользователя.
http://ftp.qrz.ru/pub/hamradio/schemes/tnc/MFJ-259b_Manual.pdf
57. Velleman PCS500 Руководство пользователя. <http://www.chip-dip.ru/library/DOC000076522.pdf>
58. Velleman PCG10 Руководство пользователя
http://www.signal.ru/UserManual_PCG10-K8016.pdf
59. Л.А.Бессонов. Теоретические основы электротехники. Москва. "Высшая школа" 1996 г.
60. Материалы по ЕН-антеннам. <http://www.eh-antenna.net/def.htm>,
<http://www.ehant.qrz.ru/book.htm>
61. Э.Беньковский, З.Липиньский. Любительские антенны коротких и ультракоротких волн. Москва. Радио и связь. 1983. Перевод с польского.
62. В. Коробейников. Новый вид электромагнитного излучения? <http://n-t.ru/tp/ts/nv.htm>
63. Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. Лекции по физике. 6. Электродинамика М.: Эдиториал УРСС 2004.
64. А. Афанасьев. Электрическая конвекция. Викизнание. http://www.wikiznanie.ru/ru-wz/index.php/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%B2%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F
65. Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. Лекции по физике. 6. Электродинамика. Глава 28. Электромагнитная масса. с.302-311. М.: Эдиториал УРСС 2004.
66. Дж. Дж. Томсон Электричество и материя. Перевод с последнего (5-го) английского издания 1924 г. С. ДАВЫДОВА И Н. ЛИХТГЕЙМА под редакцией проф. А.К. ТИМИРЯЗЕВА и З.А. ЦЕТЛИНА с предисловием проф. А.К.

- ТИМИРЯЗЕВА и многими приложениями Государственное издательство Москва — Ленинград — 1928.
67. М. Джемер. Понятие массы в классической и современной физике. Гл. XI. с.143-159. Перевод с английского. М.: «Прогресс». 1967
68. Rowland H. A., Am. Journ. of Science (3), vol. 15, 3 (1878).
69. Rontgen W. C. Ann. d. Phys., T. 35, 1888, S. 264 - 270.
70. Эйхенвальд А.А.О магнитном действии тел, движущихся в электростатическом поле (1904 г.) – В кн.: А. А. Эйхенвальд, Избр. работы. -- М.: ГТТИ, 1956, с. 7 - 109.
71. Classical electron radius. Wikipedia.
http://en.wikipedia.org/wiki/Classical_electron_radius
72. Калашников С. Г. Электричество: Учебн. пособие. — 6-е изд., стереот. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 624 с. - ISBN 5-9221-0312-1.
73. Piezoelectric ceramic sensors. Murata Manufacturing Co. Ltd. Cat. No. P19E-8
74. Красное гравитационное смещение. Википедия.
http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%81%D0%BC%D0%B5%D1%89%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5
75. В.В.Майер. Простые опыты с ультразвуком. М.: Наука, 1978.
76. Э. Ангерер. Техника физического эксперимента. М.: Государственное издательство физико-математической литературы. 1962.
77. Г.С. Горелик. Колебания и волны. М.: Государственное издательство физико-математической литературы. 1959.
78. Ацюковский В. Общая эфиродинамика. М.: Энергоатомиздат, 2003.
79. Репченко О.М. Полевая физика или как устроен Мир? <http://www.fieldphysics.ru/>
80. В.Поляков. Секрет простых регенераторов 20-х годов. “Схемотехника” №7, 2006г.
<http://nice.artip.ru/?id=doc&a=doc93>
81. Л.В.Кубаркин. Одноламповый регенератор. М.:И-во МГСПС "Труд и книга". 1929 г.
82. Справочник радиолюбителя. Под ред. Инж. И.Кляцкина и инж. А.Шнейдермана. Изд-во ИНКП. М.:1931 г.
83. А.С.Пресман. Сантиметровые волны ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКВА 1954 ЛЕНИНГРАД
84. Ред. И.И.Боргман, Новые идеи в физике. Непериодич. Изд. Сборник второй. Эфир и материя. Из-во «Образование», СПб, 1911 г.

Послесловие

*...Я бы отдал тысячу тайн природы,
которые мог бы при случае разгадать,
за одну, которую вырвал у неё, несмотря на препятствия,
пусть бы и с угрозой для собственной жизни.
Н. Тесла. Мои изобретения.*

Если уж Вы дочитали эту книгу до Послесловия, то позвольте для начала выразить Вам наше восхищение. Мы прекрасно знаем, как трудно читать текст, в котором более одного-двух новых и непривычных представлений. Хотя мы и старались, чтобы новыми были не сами представления, а всего лишь способы их применения, обойтись совсем уж без новых понятий не удалось. К таковым мы относим такое новое качество, усмотренное в категории *движения*, как *устранимость/неустранимость*, такое качество флуктуаций эфира (вакуума, плenums), как *согласованность/несогласованность*, такое качество поля, как способность к *механическим движениям*. Мы осознали, что не только скорости, но и ускорения всегда относительны. Кроме того, мы предприняли ряд принципиальных *деклараций*: декларировали существование диэлектрического эфира, заявили, что поле есть возмущенное состояние эфира и что оно не исчерпывается ни напряженностями, ни потенциалами. Мы заявили, что одно поле *не может уничтожить* другое поле, даже если нам *кажется*, что это в каких-то случаях происходит. Мы приняли, что никаких принципиальных ограничений на *скорость* распространения возмущений сам эфир не имеет, кажущееся ограничение возникает оттого, что вся *зримая и воспринимаемая* нами *материя* создана *единообразно*, и ей *изначально* присуще *внутреннее движение* со скоростью, равной *скорости света*, и именно поэтому нам *кажется*, что в Природе существует ограничение по скорости. На самом же деле просто та материя из которой сделаны мы сами и ближайшее к нам Мироздание. И это не означает, что чуть подальше от нас материя не может быть другой, содержащей другую внутреннюю скорость движения. Построив концепцию *диэлектрического эфира*, мы показали, что из движущегося возмущенного диэлектрического эфира состоят элементарные заряды, а следовательно, и вся остальная материя. Мы показали, что между веществом и полем нет никакой границы и что элементарные частицы находятся, так сказать, *снаружи* себя, а не внутри. Показали, что само пространство, в котором разыгрывается вселенская драма эволюции, заполнено, а по сути и создаётся, теми самыми полями, которые «снаружи» каждой материальной частицы этого мира. Мы продемонстрировали, что инерция материи сводится к Фарадеевой самоиндукции элементарных частиц, попутно демистифицировав и сами представления об индукции. Выяснили, за что же именно «цепляется» та частица, которую пытаются ускорить - за сам эфир, а следовательно, за все остальные материальные частицы Вселенной. Мы установили, что тяготение материальных тел обусловлено отличной от нуля поляризуемостью эфира, его способностью приходить в *движение* и всё той же самоиндукцией элементарных частиц, что позволило нам *вывести* (а не просто постулировать) принцип эквивалентности масс, а также вывести все законы Ньютона. Выяснено, что же за явление такое «электромагнитная волна» и чем это явление оказывается на самом деле. Описана сущность такого понятия, как «заряд», и сведена к особому, круговому роду движений возмущенного эфира, т.е. к *криволинейным токам смещения*. Из этих представлений *выведен* закон Кулона, что сводит электростатические взаимодействия элементарных частиц к взаимной индукции круговых токов смещения. Показан путь, каким можно успешно изучать элементарные частицы, ядра и атомы, не отказываясь от здравого смысла и многовековых достижений классической физики, не опираясь на шаткие, скороспелые и зачастую противоестественные идеи квантовой механики и релятивистских теорий. В конечном итоге мы свели все взаимодействия к одному роду: индукционным взаимодействиям между движущимися фрагментами электрически возмущенного эфира. В определенном смысле мы осуществили мечту

механики свести всё многообразие явлений к движению. Об этом мечтали Томсон, Ленард, Гельмгольц и многие другие. Только это оказалось не движение какой-либо привычной материи, но движение самого эфира (вакуума, *плenums*), из которого создано всё сущее. Так что мечта механики осуществилась, но свела саму механику к электродинамике эфира. Поистине, мечтать опасно! То, что мы привыкли воспринимать как «реальность», есть лишь узкая полоса эфирных движений из всего многообразия возможных. Быть может, когда-нибудь мы научимся заглядывать дальше этой полосы, и, кто знает, останемся ли мы при этом людьми? Поистине, мир сотворен из «пустоты», ибо его больше не из чего делать. И сами мы оказываемся лишь лёгкой рябью на её величественном лике.

По мере возможности мы *иллюстрировали* материал простыми опытами, которые можно поставить, не имея специального высокотехнологичного оборудования. Однако мы хотим сказать тем людям, которые будут пытаться найти какие-то новые опытные подтверждения или, наоборот, опровержения наших идей и воззрений: обратитесь в первую очередь к *уже существующим* экспериментам. Большая часть опытов, которые мы хотели бы поставить - уже выполнены, причём на высоком профессиональном уровне. Их надо лишь суметь найти и рассмотреть под нужным углом зрения. Ибо человек склонен видеть только то, что он ожидает увидеть. Отделяйте факты от описаний. Это не всегда легко сделать, некоторые описания так глубоко внедрены в наше сознание, что некритично воспринимаются как факты. Но если у вас будет твёрдое намерение отделить факты от описаний и восприятий, то вы, в конце концов, сможете это сделать. Мы хотим сказать, что те или иные эксперименты - это не главное в книге, хотя они иногда представляются нам интересными. Главное - это другой взгляд на привычные понятия и факты. Другая система воззрений. Она тоже не является конечной истиной, но она может дать Вам шанс проскользнуть в щель между двумя описаниями и, возможно, увидеть мир таким, каков он есть: таинственным и прекрасным.

Всякое стоящее чего-то знание проходит через три стадии усвоения: «это полный «бред!», «в этом что-то есть...» и, наконец, «да я всегда именно это и говорил!». Если Вам сейчас кажется, что прочитанное является ужасающим бредом - просто попробуйте прочесть ещё раз. Дело в том, что тот процесс обучения, которому мы все подверглись и подвергаемся, загоняет нас в замкнутый круг представлений, по которому можно бегать бесконечно ни разу не увидев в безбрежной и таинственной окружающей нас Вселенной ничего нового. Этой книгой мы просто пытаемся выдернуть хоть кого-то из этого бессмысленного круга. Мы настаиваем, что времена феерических открытий М. Фарадея, Г. Кавендиша или Н. Тесла не прошли. Мир по-прежнему полон тайн и неисчерпаем. Знание наше по-прежнему ничтожно мало. Каждый из вас может прикоснуться к таким потрясающим откровениям, что никакой фантазии не хватит это описать. Надо лишь сделать усилие, надо всего лишь *увидеть* эту возможность. И не бойтесь быть дилетантами, памятуя, что именно дилетанты построили Ноев ковчег. А профессионалы построили «Титаник».

Теперь, достроив, хотя бы и вчерне, здание наших представлений мы обращаем свой взгляд назад и видим, сколь многократно и сколь близко подходили великие исследователи прошлых лет к тем идеям и понятиям, которые мы дерзнули здесь изложить. Фарадей и Максвелл, Ленард и Томсон, Герц и Гельмгольц, Лоренц и Ритц - все они не раз и не два стояли буквально на пороге того мировоззрения, которое мы изложили. Они высказывали буквально те же мысли, которые, ещё ничего не ведая об их трудах, выражали и мы. О том, что заряд это вихревое (кольцевое) движение в эфире. Что инерция есть явление самоиндукции эфирных токов. Что есть только одна зримая материя - возмущенный эфир. Что есть только один вид энергии - энергия движущегося эфира. Что тяготение имеет эфирно-электрическую природу. Что свет не волна. Что микромир построен по тем же законам, что и макромир, ибо Вселенная не ведаёт наших людских масштабов. Что существуют-таки мгновенные взаимодействия, обеспечивающие

однородность зримой Вселенной, впрочем, возможно, не переносящие энергии. Что элементарные частицы это поле, заполняющее всё вокруг и не имеющее «пограничных столбов». И так далее, и так далее. Многие из этих людей заплатили здоровьем и самой жизнью за мимолетный взгляд в ту тьму непознанного, что окружает нас. Почему же только сейчас пришло время и явился шанс услышать их слова и связать воедино и воскликнуть «Эврика!»? Да и многим ли сей шанс представился? Увы, мы можем лишь предполагать и втайне надеяться дожить до ответов. Всё зависит от того Великого Духа, который, как писал Н. Тесла, «шепотом говорит с избранными»...

Экклезиаст ещё в библейские времена писал: «...во многая мудрости многая печали, и кто умножает познания - умножает скорбь...». Мы не умножали знания. Мы старались умножить *понимание*. А против этого не возражает даже Святое Писание! Так что, дорогой читатель, если мы, хоть на йоту, помогли Вашему пониманию, то наш долг исполнен и труды не напрасны.

Санкт-Петербург 07 ноября 2004г. - 02 июня 2009 г.

И. Мисюченко



ПІСЬМІ ВІД ПІСЬМ

Історія

Свято-Петрівська
2009 г.