

От «семян» до флюида

Давным-давно в основу науки лег здоровый интуитивный принцип: нет дыма без огня, нет дождя без тучи. Сначала должно быть вещество, а уж потом эманация из него, которая и регистрируется. Что-то выходит из магнита и действует на железо вполне определенным образом... Это «что-то» современные ученые именуют магнитным полем, а вот их коллеги 3—4 тыс. лет назад употребляли совсем иные слова. Фалес, например, начинал магниты «душой». Эмпедокл толковал об «истечениях». Платон же, гордясь сложностью своей теории, пояснял, что «божественная сила магнита передается к железу, как вдохновение музы от поэта к слушателю». А чтобы было понятнее, снисходительно добавлял: «...фигуры атомов, истекающих из магнита и железа, так подходят

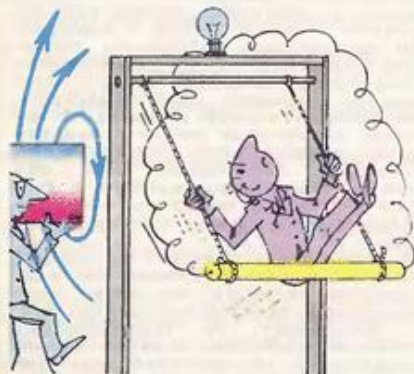
временная фраза в наших учебниках заимствована у Перегрино.

Что же касается теоретической части трактата... Причину магнитного притяжения Перегрино ищет в космосе, ибо небо магнитно, и каждая его точка отражается в магните, в котором рождается подобие неба. И Данте думал так же: «...раздался голос, взор мой понуждая оборотиться, как иглу звезда».

А средневековый схоласт Аверроэс, ничтоже сумяшеся, наделил магнит даром искривлять пространство возле себя сообразно своей форме. Эти искажения («специи») друг за другом, слабея, доходят до железа и влияют на него. Примерно так же думал и медик английской королевы Гильберт. Взявшись изучать свойства толченого магнита, популярного слабительного и успокаивающего средства, он, к счастью, вышел за рамки фармацевтики. В 1600 году появился его фундамен-

тизму — взаимному притяжению» В 1644 году Рене Декарт заселил мир «вихрями тончайшей материи». С помощью придуманных двух спиралеобразных частиц с тремя витками разного направления удалось ответить на все тогдашние 34 вопроса по магнетизму. Сверхтонкая материя Декарта — флюид — текла в магнитах, выливалась наружу и замыкалась между полюсами. А железо притягивалось к магниту по очень простой причине: как пушки в бойницах вдруг направлялись на исприятеля, так и «острия в порах железа» дружно и стремительно выглядывали в сторону приближаемого магнита, что и «сообщало железу то, чего не доставало, чтобы быть магнитом».

С небольшими отличиями говорил о том же магнитном флюиде Гюйгенс, а еще лет через сто Эйнус уточнил: магнитная жидкость грубее электрической и потому с трудом течет сквозь



ПРОБЛЕМЫ И ПОИСКИ

ТЕПЕРЬ ЭТО НАЗЫВАЮТ

В. ОКОЛОТИН, кандидат технических наук

Пожалуй, не будет большим преувеличением сказать, что нет важнее отрасли знаний, чем наука об электромагнетизме. И мы сами, и все вокруг нас состоит из зарядов, которые движутся, излучают, взаимодействуют друг с другом. За счет электрических сил разлетаются столкнувшиеся бильярдные шары, щелочь нейтрализует кислоту и растут деревья. Электромагнитный мир бесконечно глубок, и будет бесконечно изменяться наше представление о нем. Конкретная теоретическая модель развивается, используя резервы внутри себя, пока

друг к другу, что легко сцепляются между собой; ударившись о твердые части магнита или железа, а затем отскочив в середину, они одновременно и связываются между собой, и влекут железо».

Тогдашний популяризатор науки Тит Лукреций Кар переложил теорию на стихи и обогатил ее доступными для понимания сравнениями: невидимые магнитные семена, вытекающая из магнита, дробит воздух, и в полученную пустоту несется все железное. Честно признаться, среди разнородных предположений того времени мне лично больше по душе объяснение Орфея в песне об Эвридике: «железо тянется магнитом, как невеста к жениху». Ведь эта теория в отличие от других гораздо проще трактовала наблюдаемое явление.

Первый европейский трактат «О магнитах» от 1269 года почти на треть не устарел и сегодня. Автор Пьетро Перегрино учит нас определять полярность магнита, применять компас и намагничивать железо. Если магнит сломать, обе половинки останутся магнитами — эта не-

тальный труд, который сделал придворного медика «дедушкой» электричества и магнетизма. Полагая, что в магнитах, словно в деревьях, целеустремленно бродят соки, он учил, что «магнетическое действие выливается с каждой стороны магнита». Дело в том, что любое притяжение есть противоборство земли и воды. Особые истечения, выходящие из водяного тела магнита, хватают железо и несут к себе, где держат жертву до тех пор, пока не ослабеют. Однако «грехи» Гильберта-теоретика с лихвой искупил Гильберт-экспериментатор. Он проделал 600 опытов, и столь богатый посев не мог не дать плодов. Например, шар, выточенный из магнита, действует на компас, как Земля, значит, наша планета — огромный магнитный шар!

Почитатели Гильберта сразу же перенесли магнетизм Земли на другие планеты. По Галилею, Земля оттого и крутится, что магнитна. По Кеплеру, «магнитные истечения Земли создают около нее магнитные силы, проникающие сквозь все тела», а «гравитация есть сила, подобная магне-

очень мелкие поры. Так и считались эфемерные жидкости полноправными соратниками в целом комплексе флюидов, пригодных на все случаи жизни. Не увидел ничего общего между этими жидкостями и военный инженер Кулон, хотя найденные им законы взаимодействия зарядов и магнитных масс (масс магнитного флюида) по форме идентичны.

Шло время, и незаметно подходил к концу флюидный этап магнетизма. Ученые стали замечать, что удары молнии намагничивают железные предметы. Не давала им покоя и выявленная зависимость силы от квадрата расстояния, общая по форме для масс, зарядов и полюсов магнита. В их головах постепенно, «подспудно» созревала мысль о связи между электричеством и магнетизмом. И вот наконец в 1820 году на лекции профессора Эрстеда слушатели вдруг увидели, как стрелка компаса повернулась поперек провода с током. Был захвачен врасплох и профессор, хотя он уже 8—10 лет ждал чего-то подобного...

На этом знаменательном событии

и завершается начальный, столь затянувшийся этап магнетизма, прошедший под знаком Платона...

Несостоявшееся закрытие

магнетизма

В крошечной тьме незнания, опираясь на интуицию, любознательные мужи гоняли ток по проводам, пытаясь осознать, что же это такое. Появив на магнитную стрелку ток, Эрстед наделал немало хлопот. Во-первых, он как бы превратил электричество в магнетизм, автоматически поставив на повестку дня обратный вопрос: «Как из магнетизма получить электричество?» Во-вторых, он продемонстрировал наличие, как тогда говорили, «поворачивающих сил». До этого все известные тела действовали друг на друга по соединяющей их

чит, притяжение разных полюсов магнитов можно объяснить, посчитав магнит круговым током. Эта идея Ампера давала одну-единственную причину, казалось бы, совсем разным явлениям: взаимодействию токов, тока и магнита, двух магнитов. Мало того, вместе с магнетизмом изгонялись и таинственные «поворачивающие силы» — два кусочка провода с токами всегда действовали друг на друга с силой, направленной по связывающей их линии. Заменяв магнит круговыми токами (а потом, по совету Френеля, совокупностью молекулярных токов), Ампер пришел к выводу, что «всякие допущения существования магнитных жидкостей или магнитных сил, отличных от электрических жидкостей и токов, есть концепция, лишённая оснований». Зачем рассчитывать по току магнитное поле, а по магнитному полю силу его влияния на другой

Вне конкуренции оказался последний, третий путь — путь, предложенный Фарадеем и математически описанный Максвеллом. Электричество и магнетизм объявлялись почти полными равноправными соратниками; они могли взаимно превращаться друг в друга и рассматривались как две стороны одной медали.

Активное пространство

Фарадей спас магнетизм, сохранив в новой упаковке старые Платоновы «семена». «Флюиды», «специи» и «тончайшие субстанции» стали называться полем, или — на языке Фарадея — «силовыми линиями». Невидимые линии натянулись в пространстве, словно упругая резиновая сетка, по которой передавалось силовое влияние. Кроме эластичной упругой паутины магнитных линий, вселенная

МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ...

Рис. Ю. Макаренко

не сменится новой, более глубокой, но не обязательно более сложной. Модели магнетизма, которые были до сих пор, занимают всего три ступеньки у подножия нескончаемой лестницы. Их можно условно обозначить именами Платона, Ампера и Фарадея — Максвелла... Вкратце описывая эволюцию этих моделей, автор спорной, но, безусловно, интересной статьи подводит читателя к мысли о том, что приход четвертого этапа развития магнетизма не за горами.



прямой — планета на планету, заряд на заряд, магнит на магнит. Теперь же и рядом с центральными силами фигурировали какие-то боковые. В-третьих, надо было решать: в каком родстве находятся между собой электричество и магнетизм?

Ученые, словно былинные герои, стояли на перепутье трех дорог: или признать токи магнитными творениями, или свести магнитные эффекты к токовым, или считать электрические и магнитные явления самостоятельными, хотя и связанными между собой. Не вдаваясь в историю, можно сказать сразу, что первый путь явно не получил поддержки, хотя такие авторитеты, как Араго, Био, Дэви, Берцелиус, всерьез доказывали, что провод с током есть магнит. Магнитные заряды не обнаружены и поныне, однако сторонников преобладания магнетизма над электричеством можно найти и среди современных ученых.

Второй путь избрал Ампер. Всего два месяца прошло после публикации Эрстеда, а он уже потряс мир предельно логичными тезисами. Два параллельных тока притягиваются; зна-

ток? Силу между двумя токами можно определить сразу, выбросив магнитного «посредника» за ненадобностью. Ведь еще Окам в XIII веке прозорливо предупреждал: «Не следует создавать новые сущности только потому, что найдено новое явление». О том же проповедовал и Ньютон, утверждая, что «природа проста и не роскошествует излишними причинами».

Тем не менее Амперу не удалось перечеркнуть древний миф о магнетизме, несмотря на помощь таких корифеев, как Грассман, Римаи, Ленц, Гаусс, Нейман и Вебер. Тому было, как это видно сейчас, несколько причин. А главная состояла вот в чем. Увлеченный постоянными во времени процессами, Ампер не смог или не успел, в отличие от Фарадея, открыть и объяснить в рамках своей теории, почему изменение тока в одном проводе приводит к наведению тока в другом. В истории не нашлось лиц, которые дополнили бы Амперову методику индукционными разделами, а сам Ампер в последние годы жизни занялся классификацией наук, приготовив для Вилера термин «кибернетика».

затянулась такими же сетками «тяготения», «электростатической индукции» и т. д.

Еще Ньютон прекрасно понимал, что от тела к телу действие должно переноситься каким-то агентом, но сущность этого переносчика — божественная или материальная, его не интересовала. Для последователей Ньютона пространство стало безучастным вместилищем тел и зарядов, действующих (дальнодействующих) друг на друга мгновенно через любые расстояния. Своими «сетками» Фарадей превратил пространство в активную зону, в которую, словно изюм в тесто, вкраплены тела. По существу, исходными в этой мировоззрении были идеи столетней давности, принадлежавшие Роджеру Босковичу. Пространство считалось заполненным

На рисунках:

Магнитное поле превращает механическую энергию в электрическую, при этом не ослабевая, сохраняясь вечно и «даром» принося пользу.

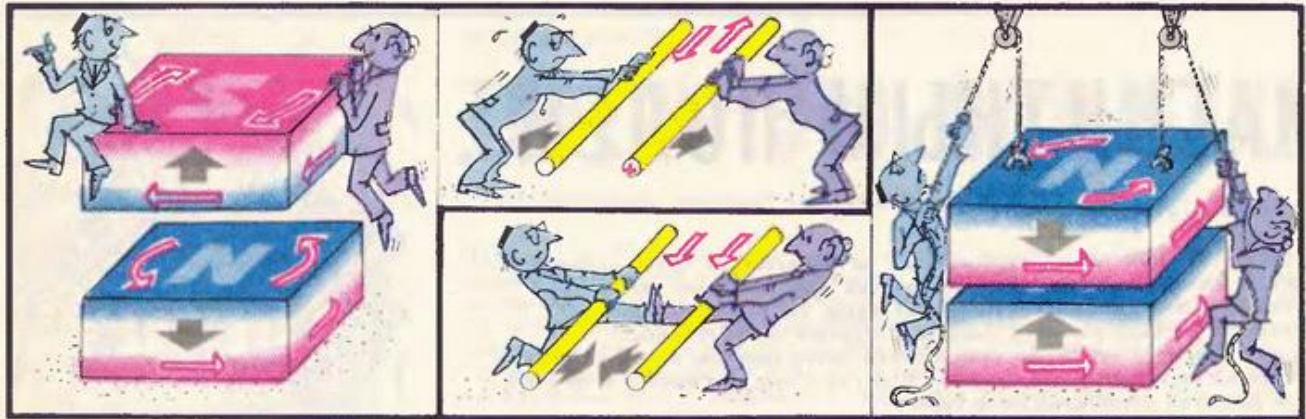
мельчайшими «центрами сил», которые притягивались, пока были далеко, а по мере сближения отталкивались с возрастающей силой, совершая в итоге вечный цикл колебаний. Не отсюда ли идут современные гипотезы о попеременном расширении и сжатии вселенной?

Фарадеевым «могучим даром научного воображения» был глубоко потрясен Эйнштейн. Ведь именно Фарадей распознал, «что в описаниях электрических явлений не заряды и не частицы описывают суть явлений, а скорее пространство между зарядами и частицами». Это положение было решающим, оно было подкреплено точными экспериментами. Например, заряд переставал влиять на другой заряд, спрятанный в металлическую клетку. Неудивительно, что успехи «полевого» воззрения позволяли развивать его до крайностей. «Почему медь проводит ток, а сургуч нет?» — спрашивал Фарадей. Атомы меди и

даже предсказать новы! Например, связанные волны электричества и магнетизма пульсируют, достигая антенны радиоприемника, — это сбывшееся пророчество Максвелла разве не подтверждает правоты Фарадея? Отключается источник, но ток в цепи затухает не сразу — значит, деформированная магнитная сетка, распрямляясь, отдает запасенную энергию току. Почему при включении постоянный ток нарастает как бы с трудом? Он совершает работу, искривляя магнитную паутину мира, которая (как сжатая пружина) запасает энергию и только ждет любой возможности, чтобы распрямиться. Почему появляется ток в проводнике, скользящем в магнитном поле? Потому что он «режется» эластичными магнитными линиями — электроэнергия равна механической работе продавливания провода через упругий часток. Свет — просто-напросто поперечное дрожание электрических и

Уравнения Максвелла пришлось «подремонтировать», а скорость света стала независимой от скорости излучателя и приемника. Несколько позднее было отброшено и представление об эфире, ибо поле перестало нуждаться в особом носителе.

Все эти меры по «спасению» методики неизбежно повлекли за собой некоторые ограничения кругозора ученых. «Хотя мы все время интересуемся состоянием среды, заполняющей поле... мы не можем сказать о нем слишком много», — признался Лоренц и добавил, что «реальной необходимости в этом нет. Ввиду трудностей, к которым приводят эти представления, в последние годы появилась тенденция избегать их вовсе и строить теорию... не высказывая какие-либо определенные и рискованные суждения. Поэтому математические соотношения приобретают исключительное значение». Еще большее предпочтение математике за счет



сургуча разобщены, далеки друг от друга, и, стало быть, определения «проводит» и «не проводит» относятся не к атомам, а к пространству, обволакивающему вещество. Противоречивость свойств пространства (оно то изолятор, то проводник) Фарадей отнес за счет неправильности исходной атомистической теории о независимом существовании тел и пространства. Атомизм пришлось заменить теорией пространства, которое брало на себя все активные функции, не дожидаясь помощи чего-либо другого. Так Фарадей подготовил почву для еще более радикальных взглядов своих последователей.

Согласно Пойнтингу ток переносит энергию вовсе не в проводнике, а вдоль него снаружи. Проводник только мешал полю, как остров посреди реки. Возмущая поток энергии «трением» своих стенок, проводник отсасывал часть энергии, превращая ее в бесполезное тепло. Столь необычные взгляды до сих пор трудно усвоить. Но с их помощью удалось объяснить все известные явления и

магнитных линий, сообщенное им Солнцем. Слюда увеличивает емкость конденсатора, засасывая и сгущая в себе электрическую сетку мира. То же самое продвигает железо с магнитной паутиной.

Время от времени подобную методике объяснения электромагнитных явлений приходится корректировать, но все трудности считались трудностями роста. Уравнения Максвелла годятся для неподвижных тел в неподвижном пространстве. Но лаборатория может перемещаться по Земле, сама Земля крутится вокруг Солнца, а Солнце мчится в Галактике и т. д. Силовые сетки надо было к чему-то привязать, а это рождало множество проблем. Драматические поиски выхода из положения привели в конце концов к такой картине мира: жесткий диэлектрический эфир в пространстве неподвижен, телами не увлекается, но при перемещении сквозь него тела сплющиваются в направлении хода. Работа, затрачиваемая на это укорочение, должна вызывать подток энергии из дальних эфирных зон.

физики сделал Эйнштейн: «...надо допустить, что пространство обладает физическим свойством передавать электромагнитные волны, и не слишком много заботиться о смысле этого утверждения».

Возрождение роли вещества

Отказаться от магнетизма вслед за Ампером трудно, а превратить вещество в тень поля, подобно Фарадею, и вовсе невозможно. От Стони, который предложил термин «электрон» и рассчитал заряд одного иона на примере электролиза, демокритовская эстафета о зернистости сущего пришла к Лоренцу. Забыв свои рекомендации о исужности гипотез, он в мельчайших деталях разработал великолепную гипотезу об электронах. Так же как Фарадей «видел» силовые линии, так же и Лоренц почти осознал «крайне малые электрически заряженные частички, которые в громадном количестве присутствуют во всех весомых телах». Любознательно и обыгрывая возможные

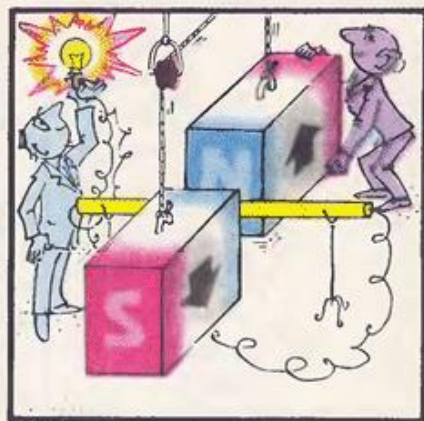
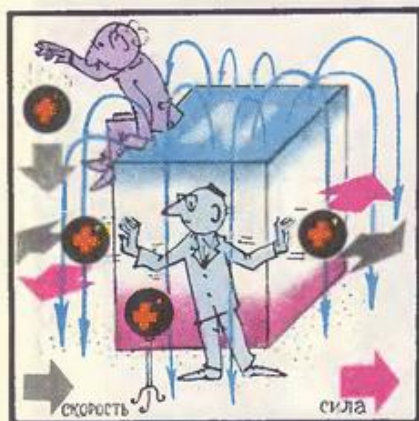
приключения этих мини-шариков, Лоренц бесстрашно усложнил гипотезу. Электроны несли на себе свои поля, излучали энергию при торможении или ускорении, деформировались в блинообразное тело. При этом заряды на их поверхности перераспределяются, а сами «диски» под давлением эфира стремятся отклониться от трассы, что можно пояснить введением двух масс электрона — продольной и поперечной. Это смелое умозрительное построение блестяще подтвердилось! И как жаль, что наглядные модели Фарадея и Лоренца были вынуждены в наше время уступить абстрактным операциям с символами. Справедливости ради добавим, что Фарадей, одной рукой устрояя атомизм, другой его укреплял: ионы несли, как он убедился, некий кратный заряд. В свою очередь, Максвелл первым ввел в обиход термин «молекула электричества»...

легко с первой попытки найти взаимопонимание. Например, при расчете электрических полей и цепей приходится пользоваться совершенно различной терминологией. Зияет пропасть между классическим электромагнетизмом, преподаваемым в технических вузах, и квантовой электродинамикой, дисциплиной университетов. Неодиократное выворачивание электромагнетизма наружу то веществом, то пространством привело к тому, что под переплетом трудов современных авторов соседствуют чуть ли не враждебные методики. Сама же теория напоминает пестрое одеяло, сшитое из разных лоскутков, разными нитками и разными способами. Все реже используются образные представления Фарадея о «силовых трубках» («пучках силовых линий»), их «тяжениях» и «распорах». Убран из пространства за ненадобностью эфир Максвелла. Стойко сохраняют послед-

но, что же такое окружает летящий заряд. Во-вторых, на заряд действует отнюдь не магнитная, а электрическая сила, в создании которой «магнитное поле» и «скорость заряда в магнитном поле» принимают равное участие.

Представьте, что рядом с магнитом находится заряженная частица. Если она неподвижна, со стороны магнита на нее не действует никакая сила. Тронулась с места частица, и появилась сила. И она тем значительнее, чем больше скорость частицы. Мало того, изменится направление движения, изменится и направление силы. Короче говоря, в одной и той же точке около магнита сила может принимать любое значение и любое направление в зависимости от скорости и направления движения частицы. Получается, магнитное поле неизменно, а силовое поле переменное...

Еще идут вялые научные споры о том, реально ли магнитное поле, но



Сейчас, зная даже азы физики твердого тела, мы уверенно называем электрическим током движение зарядов именно в проводнике. С этих позиций весьма неубедительно выглядят доводы Фарадея о сути различия между сургучом и медью и об исключительной роли пространства. Трудно поверить и в то, что заряд вторичен по отношению к первичному электрическому полю. Невольно усомнишься и в теории Пойтинга: энергия переноса зарядов сосредоточена вовсе не в самих движущихся зарядах, а вне их — в магнитном поле, распростершемся в бесконечные дали.

И тем не менее на подобных взглядах базируется все здание современного электромагнетизма!

Призрак, который нас обслуживает

Как и парадоксально, нынешним инженерам, специалистам в разных областях электротехники не так-то

иние рубежи магнитные массы Кулона и формулы «дополевых» теоретиков — сторонников дальнего действия. Силы между токами рассчитываются по Амперу, а введение токов трактуется по диаметрально противоположной методике Фарадея. Энергия тока приравнивается или к энергии движущихся зарядов, или к энергии магнитного поля. Правда, взгляды Пойтинга предпочтительнее, ибо носителем энергии все же считается поле.

Даже в определении магнитного поля нет единодушия. Примерно каждый шестой из авторов многочисленных учебников считает, что магнитное поле — это то, что окружает летящий заряд. Каждый пятый называет поле особым состоянием пространства, особым физическим процессом или особым видом движения материи. Остальные же авторы дают более «солидную» формулировку, сводя магнитное поле к долю сил, которые действуют на движущийся (в поле) заряд или на электрический ток. Все эти определения внушают сомнения. Во-первых, совсем не очевид-

но, постепенно утверждается мнение, что, хотя физического смысла оно не имеет, пользоваться этой абстракцией удобно.

Существование и характеристики магнитного поля принципиально зависят от наблюдателя. Около заряда можно зарегистрировать магнитное поле любой величины, если двигаться мимо него (заряда) с различной скоростью. Надуманное маг-

На рисунках:

Магниты притягиваются или отталкиваются, как токи одинакового или разных направлений — предположил Ампер.

Одно и то же магнитное поле порождает разные силы в зависимости от скорости заряда, поэтому магнитное поле не может быть силовым.

Один и тот же заряд порождает в одной и той же точке пространства магнитное поле любой величины и направления.

Магнитного поля в зоре нет, а провод реагирует на каждый магнит по отдельности (парадокс Бьюли).

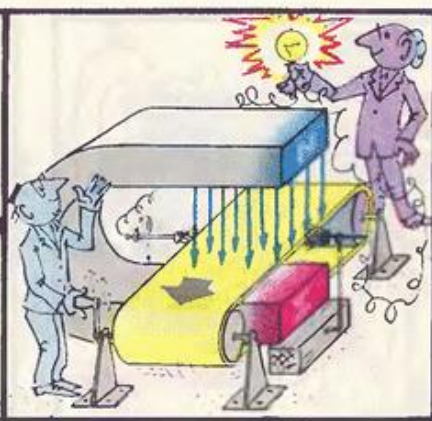
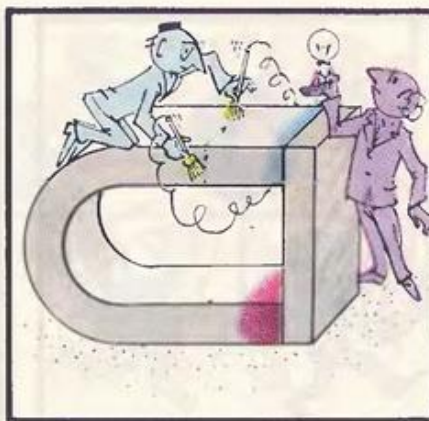
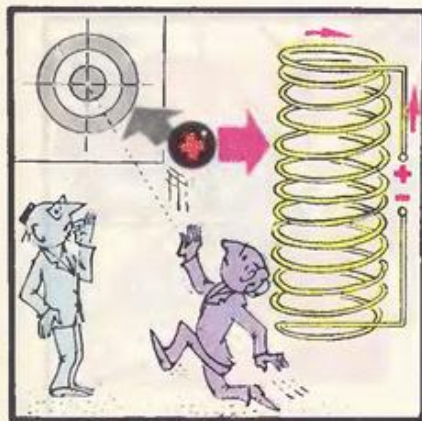
нитное поле не может ни запастись энергией, ни производить работу... А что, если поступить так: просто объявить электромагнитное поле единым, но принимающим разную форму в зависимости от нашей точки зрения? Увы, электрическое и магнитное поля при этом вступают в «неравный брак». Они соотносятся между собой как, скажем, «расстояние» и «время» или даже «мощность» и «сила»! Участники электромагнитного тандема далеко не равноправны, ибо, оперируя с ними, приходится прибегать к совершенно разным методикам.

Можно еще спорить об убедительности доводов, связанных с определениями, но как быть с результатами простейших опытов? Магнитное поле обладает не только определенной интенсивностью, но и направлением, как вода в реке. Совместим две встречные магнитные «реки» одной

скорость изменения во времени магнитного потока, протекающего через петлю. Но, оказывается, даже столь простое правило в кое-каких случаях буксует. В книгах таких авторитетов, как Поль Фейнман, Бертинов, Кемпфер, перечисляются эти случаи: отсутствие проводов контура, индуцированные напряжения в толще проводника и т. д. В свое время Фарадей считал, что совершенно неважна причина изменения магнитного потока через петлю: то ли контур выдвигается из реки, то ли река иссыкает. Сейчас другое дело. «Эти возможности, — говорит Фейнман, — неразличимы в формулировке правила. Тем не менее для объяснения правила мы пользовались двумя совершенно разными формулами. Мы не знаем в физике ни одного другого такого примера, когда простой и точный общий закон требовал бы для своего настояще-

однако ясно: теория магнетизма не имеет права быть несовершенной. Слишком много научных зданий построено на магнитном фундаменте, и он должен быть безупречен.

Мне лично кажется целесообразным, например, такой путь. При жизни Фарадей и Ампер не смогли объединить свои усилия: мешало разное язычество, плохие переводы научных публикаций, несодинаковое знание математики и, конечно, отсутствие столь налаженного сегодня сотрудничества ученых разных стран. Фарадей сделал в интересующей нас области практически два крупнейших открытия: открыл взаимную индукцию и роль среды, на перенос действия через которую нужно время. Почему бы не попробовать доработать Амперову электродинамику на базе Фарадеевой методики?



силы в одном русле. Теоретически они должны как бы погасить друг друга. Однако на практике это происходит далеко не всегда...

Между двумя магнитами, повернутыми друг к другу одноименными полюсами, находится провод. Магнитное поле в зазоре уничтожено. Однако, если сдвинуть магниты в разные стороны, в проводе наведется такой ток, словно бы поля магнитов и не думали вычитаться. А с 1926 года известен другой парадокс. Снаружи очень длинной катушки с током магнитного поля нет, поля отдельных витков как бы компенсируют друг друга. Тем не менее на частицу, летящую мимо соленоида, действует сила. Невольно начинаешь верить, что магнитное поле, словно призрак, обладает мистическими свойствами. Да, иедаром в квантовой электродинамике стараются заменить магнитное поле некоторым другим, что эквивалентно негласному замещению методики Фарадея — Максвелла методикой Ампера.

Еще один вопрос. Подсчитать наведенное в проводочной петле напряжение просто — достаточно найти

го понимания анализа в терминах двух разных явлений. Обычно столь красивое обобщение оказывается исходящим из единого глубокого основополагающего принципа. Но в этом случае какого-либо особо глубокого принципа что-то не видно».

Можно привести примерю дюжину подобных несообразностей, уловок, недомолвок и неясностей в современном магнетизме, говорить о которых в научных кругах иногда считается чуть ли не дурным тоном. Однако хватит примеров. И так уже понятно: в магнитном платье электротехники довольно много прорех. Вот вот раздастся голос сказочного андерсеновского мальчика, что король-то голый...

Что же делать?

Однажды кто-то из знаменитостей сказал, что для превращения гипотезы в теорию она должна объяснять все факты, а для гибели теории достаточно одного сбоя. Конечно, не следует сгущать краски,

Настало время, когда ученые должны взяться за выполнение долгосрочного социального заказа из двух этапов: создание новой, непротиворечивой теории электричества и на ее основе разработка гаммы новых, высокоэффективных электроустройств. При этом можно с полным основанием считать, что такой шаг поможет не только тем, кто сделал магнетизм своим рабочим инструментом.

Каждый рубль, затраченный на магнетизм, отзовется сотнями рублей в самых различных отраслях науки и техники.

На рисунках:

Снаружи очень длинного соленоида магнитного поля нет, а оно все равно действует, сбивая заряд с траектории.

Можно «сцепить» магнитный поток (в железе) с петлей, но лампочка не загорится, хотя это положено по правилу. И наоборот, — магнитный поток в проводочном контуре отсутствует, а лампочка горит.