

маленькими магнитиками, на них будет действовать магнитная сила. Можно ввести формальную характеристику такой силы — ввести силу, действующую в каждой точке на «пробный магнит» — *магнитную напряженность*. Магнитная сила изменяет форму траектории движущегося электрического заряда. Она направлена перпендикулярно направлению его движения, и работу над зарядом не совершает.

Мы не можем ввести магнитный потенциал, в точности подобный электрическому потенциалу, потому что изолированные электрические заряды есть, а изолированных магнитных зарядов нет. Мы уже говорили, что нельзя разделить северный и южный полюса магнита. Ломая магнит, мы получаем меньшие магнитики. И у каждого — два полюса. Поэтому-то в присутствии электрических зарядов (покоящихся или движущихся) электрическое и магнитное поля выступают неравноправно. С разными точками пространства нельзя связать скалярные величины, разность которых определяет работу магнитной силы по перемещению магнитного заряда из одной точки в другую. Нельзя это сделать уже прежде всего потому, что нет изолированных магнитных зарядов. Для электрических зарядов эта работа равна нулю. Нужна другая характеристика, определяющая поворот движущегося в магнитном поле заряда. А поворот характеризуется не только величиной, но и направлением в пространстве. Характеристика искривления траектории заряда, движущегося в магнитном поле, должна быть величиной векторной, обладающей и числовым значением, и направлением в пространстве.

Как мы скоро убедимся, во всех практических приложениях электромагнетизма мы имеем дело с непотенциальными электрическими полями, описываемыми так же, как и магнитные поля.

Электромагнитная индукция

Если ток является источником магнитного поля, то не может ли магнитное поле быть источником тока? Постоянное магнитное поле вызывается постоянным током. Не может ли постоянное магнитное поле вызывать ток? Задавшись этим вопросом, Фарадей поставил опыт с двумя проводниками, намотанными по спирали на единый железный сердечник. По-

стоянный ток протекал по одному проводу, создавая в сердечнике магнитное поле. Но такое постоянное магнитное поле не создавало тока во втором проводе. Долгое время поиск электрического действия магнитного поля был безрезультатным. Неожиданно для себя Фарадей заметил, что в момент включения или выключения тока в первом проводе во втором проводе ток появляется. Так было установлено, что электрическим действием обладает не постоянное, а переменное во времени магнитное поле. Включение тока через спираль вызывало появление переменного магнитного поля в сердечнике, что в свою очередь вызывало появление тока во второй спирали. Было открыто явление *электромагнитной индукции*. Изучая это явление в разных аспектах, Фарадей вводит понятие «магнитных кривых». «Под магнитными кривыми я понимаю линии магнитных сил, хотя и искаженные соседством полюсов; эти линии вырисовываются железными опилками; к ним касательно располагались бы магнитные стрелочки», — так определил их Фарадей. Сегодня мы назовем их *магнитными силовыми линиями*. В противоречии с традицией Фарадей придает физический смысл формальному понятию силового поля. То, что было принято рассматривать только как формальное описание дальнего действия, Фарадей рассматривает как реальную физическую среду. Широко известное и до Фарадея любопытное свойство железных опилок выстраиваться вдоль направления действия магнитной силы становится в руках Фарадея мощным инструментом исследования свойств этой среды. «Экспериментатор, желающий изучать магнитную силу посредством проявления ее магнитными силовыми линиями, поступил бы произвольно и опрометчиво, отказавшись от самого ценного средства, от употребления железных опилок. Пользуясь ими, он может многие свойства этой силы, даже в очень сложных случаях, тотчас показать наглядно, может проследить глазом различные направления силовых линий и определить относительную полярность, может наблюдать, в каком направлении сила эта возрастает, в каком убывает, а в сложных системах может определить нейтральные точки, или места, где нет ни полярности, ни силы, даже если они встретятся внутри сильных магнитов». В статье «О физическом характере линий магнитной силы» Фарадей пишет: «Что

касается важного вопроса, подлежащего рассмотрению, то он заключается только в том, имеют ли линии магнитной силы физическое существование или нет». Ответ Фарадея — положительный. Во введении к своему «Трактату об электричестве и магнетизме» Максвелл писал: «Фарадей своим мысленным взором видел линии сил, проходящие через все пространство там, где математики видели центры сил, притягивающиеся на расстоянии. Фарадей видел среду там, где они не видели ничего, кроме расстояния. Фарадей искал источник явлений в реальных процессах, происходящих в среде. Они же были удовлетворены тем, что нашли его в действующей на расстоянии силе, приложенной к электрическим флюидам».

Но интуитивно ясные соображения Фарадея не могли убедить его современников. Одно дело — его экспериментальные результаты, другое — теоретическая интерпретация. «Я заявляю, что с трудом могу себе представить, чтобы кто-нибудь, кто практически и количественно знает совпадение наблюдений и вычислений, основанных на законе действия на расстоянии, мог хотя бы мгновенно колебаться в выборе между этим простым и точным действием, с одной стороны, и чем-то столь неясным и неопределенным, как линия сил, с другой стороны», — утверждал известный ученый Эри в своем письме, датированном 1855 г. Это мнение разделяло большинство физиков, стремившихся объяснить электромагнитные явления на основе законов действия на расстоянии. Требовалось перевести качественные соображения Фарадея на математический язык, на язык уравнений, что и было сделано великим шотландцем Джеймсом Кларком Максвеллом.

Электромагнитное поле

Итак, в середине XIX в. выявились два противоположных подхода к описанию электромагнитных явлений. Встал вопрос о том, действуют ли магниты или заряженные тела непосредственно на расстоянии, или существует некоторая среда, передающая магнитное воздействие одного магнита (или провода с током) другому, от одного электрически заряженного тела другому.