**Электродинамика Ампера**

Марио Льоцци

Одновременно с работами Био и Савара, и даже на несколько месяцев раньше, провел свои теоретические и экспериментальные исследования Ампер. 18 сентября 1820 г. он сообщил Парижской Академии наук о своем открытии пондеромоторных взаимодействий токов, которые он назвал электродинамическими. Точнее говоря, в этом своем первом докладе Ампер назвал эти действия "вольтаическими притяжениями и отталкиваниями", но потом стал именовать их "притяжениями и отталкиваниями электрических токов". В 1822 г. он ввел термин "электродинамический". Ампер был плодовитым и искусным изобретателем неологизмов. Именно ему мы обязаны такими словами, как электростатический, реофор, соленоид, и многими другими.

Говорят, что, когда Ампер зачитал свой доклад об электродинамических действиях токов, один из его коллег по окончании чтения спросил: "Но что же, собственно, нового в том, что вы нам сказали? Само собой ясно, что если два тока оказывают действие на стрелку, то они оказывают действие также и друг на друга". Ампер, захваченный врасплох, не знал, что ответить. Но ему на помощь пришел Араго. Он вынул из кармана два ключа и сказал: "Вот каждый из них тоже оказывает действие на стрелку, однако же они никак не действуют друг на друга". Такой случай, по-видимому, действительно был, потому что Ампер в своей большой работе ("О математической теории электродинамических явлений, однозначно выведенной из опыта") считает нужным заметить, что из опыта Эрстеда нельзя было логически заключить о взаимодействии двух токов, как из действия двух кусков железа на стрелку нельзя сделать вывода об их взаимодействии. Но рассказывают еще и о другом случае. Лаплас присутствовал на первой публичной демонстрации опыта Ампера. Публика уже расходилась, и Лаплас у выхода стал ждать ассистента, Даниэля Колладона; увидев его, он хлопнул его по плечу и, пристально глядя на него, спросил: "А не вы ли это, молодой человек, подталкивали провод?" Сразу же после открытия Эрстеда физикам показалось вполне естественным объяснить его тем, что при прохождении электрического тока через проводник последний становится магнитом. Такое объяснение было принято Араго, который приступил к опыту, исходя именно из этого представления. Оно было принято также и Био, который упорно придерживался его еще много лет. Его придерживались, также Дэви и Берцелиус. Последний уточнял, что каждое поперечное сечение проводника, по которому проходит ток, становится двойным магнитом с противоположными полюсами. Однако Ампер предложил другое объяснение, которое и является самым гениальным его вкладом в науку: не проводник, по которому течет ток, становится магнитом, а, наоборот, магнит представляет собой совокупность токов. В самом деле, говорит Ампер, если мы предположим, что в магните присутствует совокупность круговых токов, текущих в плоскостях, точно перпендикулярных его оси, в одном и том же направлении, то ток, идущий параллельно оси магнита, окажется направленным под углом к этим круговым токам, что и вызовет электродинамическое взаимодействие, стремящееся сделать все токи параллельными и направленными в одну сторону. Если прямолинейный проводник закреплен, а магнит подвижен, то отклоняется магнит; если же магнит закреплен, а проводник подвижен, то движется проводник.

Легко понять, что в то время, в 1820 г., гипотеза Ампера казалась исключительно смелой, и не удивительна, поэтому та сдержанность, с которой она была встречена. Гипотеза Био и Араго казалась куда более правдоподобной. Но когда в 1821 г. Фарадей установил вращение токов в магнитном поле, Ампер заметил, что такой эффект нельзя объяснить никаким распределением магнитиков в проводнике, через который проходит ток; такое распределение могло вызвать лишь силы притяжения или отталкивания, но никак не вращающую пару сил.

Ампер заботился больше о том, чтобы найти опытное подтверждение своей собственной гипотезы, нежели о критике чужих теорий. Он подумал, что если магнит понимать как систему круговых параллельных токов, направленных в одну сторону, то спираль из металлической проволоки, по которой проходит ток, должна вести себя как магнит, т. е. должна принимать определенное положение под воздействием магнитного поля Земли и иметь два полюса. Опыт подтвердил предположения относительно поведения такой спирали под действием магнита, но не совсем ясны были результаты опыта, относящиеся к поведению спирали под действием магнитного поля Земли. Тогда Ампер решил взять для выяснения этого вопроса один-единственный виток проводника с током; оказалось, что виток ведет себя точно как магнитный листок.

Таким образом обнаружилось непонятное явление: один единственный виток ведет себя как магнитная пластина, а спираль, которую Ампер считал в точности эквивалентной системе магнитных пластинок, вела себя не совсем как магнит. Пытаясь разобраться, в чем тут дело, Ампер с удивлением обнаружил, что в электродинамических явлениях спиральный проводник ведет себя точно как прямолинейный проводник с теми же концами. Из этого Ампер заключил, что в отношении электродинамических и электромагнитных действий элементы тока можно складывать и разлагать по правилу параллелограмма. Поэтому элемент тока можно разложить на две составляющие, из которых одна направлена параллельно оси, а другая — перпендикулярно. Если суммировать результаты действия разных элементов спирали, то результирующая окажется эквивалентной прямолинейному току, идущему по оси, и системе круговых токов, расположенных перпендикулярно оси и направленных в одну сторону. Поэтому, чтобы спираль, по которой проходит ток, вела себя точно как магнит, нужно скомпенсировать действие прямолинейного тока. Этого Ампер, как известно, добился очень просто, выгнув вдоль. оси концы проводника. Но все же существовало различие между спиралью, по которой проходит ток, и магнитом: полюса спирали находились только на концах, тогда как полюса магнита — во внутренних точках. Чтобы устранить и это последнее различие, Ампер оставил свою первоначальную гипотезу о токах, прямо перпендикулярных оси магнита, и принял, что они расположены в плоскостях, находящихся под разными углами к оси.

Сразу же после своих первых электродинамических опытов Ампер решил вывести формулу для величины силы, возникающей между двумя элементами тока, чтобы из этой формулы можно было найти силу, действующую между двумя частями проводников данной формы и положения. Не имея возможности проводить опыты с элементами тока, Ампер в 1820 г. попытался сначала использовать следующий метод: провести тщательные и многочисленные измерения действия двух конечных токов разной формы и положения, затем принять какую-либо гипотезу о взаимодействии двух элементов тока, вывести из нее взаимодействие двух конечных токов и далее модифицировать эту гипотезу до тех пор, пока теоретические и экспериментальные результаты не окажутся в полном соответствии. Это классический путь, многократно испробованный в подобных исследованиях, однако Ампер вскоре убедился в том, что этот способ в данном случае был бы построен на сплошных догадках и желаемые результаты можно получить более прямым путем.

Установив, что подвижный проводник находится точно в равновесии под действием равных сил, вызываемых неподвижными проводниками, размеры и форму которых можно без нарушения равновесия изменять при соблюдении условий, допустимых опытом, Ампер получил возможность непосредственно рассчитать, каково должно быть взаимодействие двух элементов тока, чтобы равновесие при таких условиях действительно не зависело от формы и размеров неподвижных проводников. Он смог успешно применить этот гораздо более узкий критерий, потому что опытным путем было определено четыре случая равновесия, два из которых еще и сегодня приводятся в курсах физики (равенство абсолютной величины сил, действующих на одинаковые токи, текущие в противоположных направлениях; одинаковое действие на прямолинейный подвижный проводник двух неподвижных проводников, прямого и изогнутого, одинаково удаленных и имеющих концы в одних и тех же точках).

Исходя из этих четырех экспериментальных постулатов, Ампер путем довольно сложного доказательства вывел первую из формул электродинамического взаимодействия элементов тока, за которой последовали многие другие формулы, выведенные рядом ученых (Грассманн, Вебер, Риман и др.). Все эти формулы применялись для расчета, и все они подвергались критике. Эти формулы давали величину силы, действующей между двумя элементами тока, в зависимости от сил токов, расстояния между элементами и их взаимного положения.

В ходе теоретических исследований выяснилось, что части одного и того же проводника должны взаимно отталкиваться. Этот факт представлялся Амперу настолько важным, что он счел возможным положить его в основу всей электродинамики и поэтому решил найти ему непосредственное экспериментальное подтверждение. Таковое Ампер получил в сентябре 1822 г. с помощью приспособления, упоминаемого еще в некоторых современных курсах физики. Это сосуд, разделенный перегородкой на два отделения, наполненных ртутью и соединенных подвижным проводником, плавающим в ртути. При прохождении тока по проводнику из одного отделения в другое подвижный проводник смещается.

Из своей формулы взаимодействия элементов тока, рассматривая магнит как систему молекулярных токов, Ампер вывел первый закон Лапласа, а из него способом, описываемым во всех современных учебниках,— закон Био и Савара. Ампер вывел также закон Кулона для магнитостатического взаимодействия двух магнитов, рассматриваемых как две токовые системы.

Другое благоприятное для своей теории обстоятельство Ампер видел в том факте, что незадолго до того выведенная Пуассоном формула для силы действия магнитного элемента на элемент северного или южного флюида совпадает с формулой, получающейся из его теории для очень маленькой замкнутой плоской петли тока. Отсюда сразу же следует, что если замкнутый малый плоский контур тока эквивалентен элементарному магнитику, то, разлагая, как это рекомендуется и сейчас в учебниках, конечный контур на отдельные кольца, можно показать, что замкнутый контур действует точно так же, как элементарные магнитики, которые равномерно распределены по ограниченной этим контуром произвольной поверхности так, что их оси нормальны поверхности. Это знаменитая теорема эквивалентности Ампера.

Ампер понимал, что к тем же проверяемым опытом выводам можно прийти, исходя и из других законов взаимодействия элементарных токов, поэтому особенно подчеркивал другое достоинство своей теории — ее способность сводить к единой причине (взаимодействию двух элементов тока) три вида взаимодействий, кажущихся совершенно различными: магнитостатические, электромагнитные и электродинамические. Но главное достоинство своей формулы (единственной, которая, по его мнению, имеет право называться действительно элементарной) он видел в том, что она изгнала из физики "вращательные силы", сведя все силы природы к взаимодействию частиц вдоль соединяющей их прямой.

Таким образом, в этой большой работе, опубликованной в 1827 г. и охарактеризованной Максвеллом как "совершенная по форме и непревзойденная по точности", Амперу удалось восстановить механистическую концепцию, сильно поколебленную опытом Эрстеда. Но как раз работы того же Максвелла позволили установить, что это всего лишь "заплата".

Вебер положил в основу своей теории электрического тока, рассматриваемого как истинный поток заряженных частиц, электромагнитное действие движущегося заряда; Максвелл также принял эту концепцию. По совету Гельмгольца Роуланд в 1876 г. с помощью классического эксперимента, вызвавшего длительную дискуссию, прекратившуюся практически лишь в 1903 г. благодаря Пуанкаре, доказал, что движущийся по окружности электрический заряд оказывает на магнитную стрелку точно такое же действие, как и круговой ток. Более того, при увеличении скорости заряда растет и сила, действующая на каждый полюс стрелки, т. е. величина силы зависит от скорости заряда. Между тем для механистической концепции характерно объяснение всех явлений силами, зависящими лишь от расстояния между частицами. Опыт Роуланда не только подтверждал существование "вращательных сил", но вводил новый элемент, совершенно чуждый механистической концепции и потому сильно ее поколебавший. Однако вернемся еще раз к работе Ампера.

Оставив в стороне его резкую полемику с Био, полную личных выпадов, мы хотим заметить, что Ампер объясняет, как это он уже делал и в 1821 г., земной магнетизм существованием внутренних токов в земном шаре — это одна из многочисленных и малоудовлетворительных теорий, пытающихся объяснить земной магнетизм.

В 1822 г. Леопольд Нобили подкрепил взгляд Ампера, создав "прибор", состоящий из "...сферического шара, обмотанного металлической проволокой в направлении параллелей, которая соединяется концами с цинковым и медным электродами вольтова столба".

Этот прибор в некоторых курсах физики называют "шаром Барлоу", хотя Барлоу представил его описание в Королевский институт лишь 26 мая 1824 г., т. е. через два года после опубликования статьи Нобили.

Составитель к.т.н Савельева Ф.