

ОРГАН АКАДЕМИИ НАУК СССР, ГОСУДАРСТВЕННОГО КОМИТЕТА
СОВЕТА МИНИСТРОВ СССР ПО НАУКЕ И ТЕХНИКЕ, ЦП НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА ЭНЕРГЕТИКИ
И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Вклад А.-М. Ампера в учение об электричестве и магнетизме

(К 200-летию со дня рождения ученого)

Канд. физ.-мат. наук ШУШУРИН С. Ф.

В 1975 г. исполнилось 200 лет со дня рождения выдающегося французского физика Андрэ-Мари Ампера. Несмотря на то что Ампер был ученым с широким кругом интересов, несмотря на его оригинальные способности в ряде отраслей — математике, химии, биологии, лингвистике и философии, в историю науки он вошел как физик, необыкновенно гармонично соединивший в себе мастерство физика-экспериментатора с глубиной обобщений и широтой выводов выдающегося физика-теоретика. Ампер был одним из тех, кто внес огромный вклад в создание учения об электричестве и магнетизме — основы одной из ведущих отраслей современной техники — электротехники. Не случайно одна из трех основных электрических единиц — сила тока — названа его именем. В настоящем кратком очерке будут изложены основные результаты исследований Ампера в области электродинамики, которая в основном им и была создана.

А.-М. Ампер родился в Лионе 22 января 1775 г. в семье торговца шелком. Образование он получил, черпая знания из домашней библиотеки отца, рано проявив интерес к математике, ботанике и физике. Большое влияние на него оказала энциклопедия французских просветителей.

Начал свою трудовую жизнь он как учитель, сначала — домашний в Лионе, затем штатный в лицее г. Бург-ан-Бресс. Именно здесь в 1800 г. Ампер начал интересоваться электричеством и магнетизмом, перемежая исследования в этой области химическими опытами, исследованиями в области теории вероятности и математической теории игры. В 1804 г. он переезжает в Париж, где получает назначение на должность наставника по математическому анализу в Политехнической школе. В 1810 г. Ампер становится профессором математического анализа. С осени 1808 г. он занял административную должность главного инспектора университетов, в которой работал до конца жизни. Он умер в

Марселе 11 июня 1836 г. во время очередной инспекционной поездки.

28 ноября 1814 г. Ампер был избран в члены Парижской Академии наук по секции геометрии. Это было признанием его заслуг в развитии теории дифференциальных уравнений в частных производных, теории вероятности, основ молекулярной теории, в исследованиях единства строения животных. В период с 1814 по 1820 г. Ампер занимался математикой и химией. К началу этого интервала времени относится его наиболее значительная работа в области химии: в письме к К.-Л. Бертолле он независимо от А. Авогадро изложил гипотезу о том, что в равных объемах газов содержится одинаковое количество молекул. Эта гипотеза, впоследствии блестяще подтвержденная, получила название закона Авогадро, изредка называемого законом Авогадро — Ампера.

В 1834 г. вышел первый том труда Ампера «Опыт философии наук или аналитическое изложение естественной классификации всех человеческих знаний». Второй том этой книги был опубликован в 1843 г., т. е. после смерти Ампера. Этим трудом Ампер вошел в историю науки как мыслитель, стремившийся к синтезу известных в его эпоху знаний, необходимому для рационального построения программы основных направлений дальнейших исследований. Для упомянутого труда характерен поиск объективной основы классификации, порядка наук, определенного самой природой.

Как известно, К. Маркс и Ф. Энгельс выработали диалектико-материалистические принципы классификации наук, в которых органично сочетались два момента: объективный подход и принцип развития. При этом К. Маркс и Ф. Энгельс критически переработали то ценное и правильное, что было у некоторых из их предшественников, в частности материализм французских мыслителей. Классификация наук Ампера принадлежала к руслу работ дру-

гих французских ученых, например, Сен-Симона, Конта, Жоффруа Сент-Илера и Курно. С точки зрения сегодняшнего дня и критериев материалистической философии классификация Ампера, хотя и является довольно искусственной, все же представляет интерес. Если отвлечься от оригинальной терминологии Ампера, не вошедшей впоследствии в науку, то следует признать, что все составные части его «космологических» и «физиологических» наук присутствуют в современной математике, естественных и технических науках, в медицине. И ведь из всех ученых, занимавшихся классификацией наук, только Ампер предположил, что возникнет «собственно политическая» наука об общих закономерностях процессов управления и связи в организованных системах, которой он дал причудливое название «кибернетика». И действительно, через 100 лет после публикации классификации Ампера родилась методологическая дисциплина, занимающаяся моделированием сложных (по многообразию свойств) объектов естественного происхождения сложными (по расчлененности строения) объектами искусственного происхождения, как правило, орудиями труда (САУ или ЭВМ) — кибернетика.

Напомним основной результат творчества Ампера как физика, главные вехи создания им электродинамики.

Начало работ А.-М. Ампера в области электродинамики относится к 1820 г., когда он был уже зрелым ученым: ему исполнилось 45 лет. Он занимал должности профессора математического анализа Политехнической школы, профессора философии и внештатного профессора астрономии факультета естественных наук Парижского университета.

Непосредственным толчком работ Ампера по электродинамике были опыты Г.-Х. Эрстеда, в результате которых обнаружилось, «что магнитная стрелка отклоняется от своего положения равновесия под действием вольтаического аппарата и что этот эффект проявляется, когда контур разомкнут». Опыты были осуществлены в Копенгагене зимой 1819—1820 гг. и возникли под влиянием желания Эрстеда, читавшего лекции по электричеству, гальванизму и магнетизму, более подробно разобраться в излагаемом материале. Отчет об опытах был оформлен Эрстедом в виде брошюры на латинском языке «Опыты по воздействию электрического конфликта на магнитную стрелку», вышедшей в Копенгагене 21 июля 1820 г. Опыты Эрстеда повторил и подтвердил немецкий физик И.-Т. Майер, а затем в Женеве в августе 1820 г. Огюст де ла Рив в присутствии группы естествоиспытателей. Среди присутствовавших был Франсуа-Доминик Араго, выдающийся французский астроном, физик и политический деятель.

4 сентября 1820 г., в понедельник, в день заседаний Парижской Академии наук Араго сделал сообщение об опытах Эрстеда и о воспроизведении их де ла Ривом. После этого академия поручила Араго воспроизвести эти опыты, что им и было сделано 11 сентября. Но еще до следующего понедельника он продемонстрировал опыт Эрстеда Амперу. И сообщение 4 сентября, и частная демонстрация Араго, и заседание 11 сентября произвели на Ампера сильнейшее впечатление. Отложив все дела, он за-

нялся исследованием этого явления и уже 18 и 25 сентября 1820 г. выступил со своими первыми сообщениями об электромагнетизме. Теория электричества и магнетизма, которую Ампер затем разрабатывал в течение ряда лет, в основном была создана им в течение двух недель сентября 1820 г. При этом Ампер, в основном математик, занялся экспериментальной физикой, проведя важнейшие эксперименты на столике, сделанном им собственноручно в своей квартире.

Если Эрстед открыл взаимодействие магнитной стрелки с проводником, подсоединенным к «вольтаической» батарее, то Ампер открыл взаимодействие двух проводников, по которым течет «вольтаический» или «гальванический» ток. Эрстед объяснял обнаруженное им явление столкновением частиц противоположных «электрических жидкостей» — «электрическим конфликтом», Ампер же в принципе связал открытое им явление с течением электричества или с «электрическим током». Последнее понятие, введенное Ампером, не только служило объяснением явления, но и было использовано для его описания: два проводника, по которым текут токи одинакового направления, взаимно притягиваются; два проводника, по которым текут токи противоположных направлений, взаимно отталкиваются. Не используя понятия «электрический ток», очень трудно описать это явление, что показывает насколько Ампером была точно схвачена его сущность.

Ампер предложил считать за направление электрического тока направление движения положительного электричества. В то время положительная и отрицательная электрическая жидкости считались совершенно равноправными. Лишь открытие впоследствии отрицательности катодных лучей и электрона как носителя электричества может с первого взгляда бросить тень на этот выбор. Но тот факт, что предложение Ампера и по сей день общепринято и не вызывает неудобств, свидетельствует в пользу Ампера и против упрощенного понимания процесса «электрический ток» как механического движения зарядов того или иного знака.

В своем первом докладе Ампер изложил также проект создания гальванических винтов и спиралей (соленоидов и рамок с током по современной терминологии) и указал, что «последние будут производить те же действия, что и магниты». Наконец, им была высказана фундаментальная идея о сводимости всех магнитных явлений к электрическим действиям, которая равноценна тому, что, по мнению Ампера, свойства магнитов вызваны лишь электрическими токами, текущими в плоскостях, перпендикулярных к оси магнитов.

Таким образом, была высказана революционная концепция, пришедшая на смену магнитной разновидности «невесомых», столь характерных для физики XVIII в. Это была идея макроскопической теории, которая впоследствии была разработана Ампером на микроуровне.

25 сентября 1820 г. Ампер выступил со вторым докладом, в котором развил теорию взаимодействия проводников, а также продемонстрировал притяжение и отталкивание двух проводников и магнитное действие спиралеобразных проводников.

Не следует думать, что все в то время восприняли доклад Ампера как важный и революционный. Об этом свидетельствует хотя бы такой эпизод. После второго доклада Ампера один и присутствовавших на заседании категорически заявил, что в докладе нет ничего нового, что не содержалось бы в результатах Эрстеда. Оппонент обосновал свой довод так: если два проводника с током по отдельности взаимодействуют с током, то они и взаимодействуют между собой, явно рассуждая в духе аксиомы: если две величины порознь равны третьей, то они равны между собой. Ампер несколько растерялся и не нашелся, что возразить. Выручил его Араго, который вынул из кармана два железных ключа и показал, что они по отдельности притягиваются магнитом, а друг с другом не взаимодействуют. Следовательно, он показал, что факт взаимодействия двух предметов не вытекает из факта взаимодействия каждого из этих предметов с магнитом и должен быть установлен экспериментально.

Большинство же ведущих физиков с интересом отнеслись к докладам Ампера. В проведении опытов приняли участие О.-Ж. Френель и С. Депрез, ими заинтересовались С.-Д. Пуассон, П.-Л. Дюлон (соавтор закона Пти и Дюлонга), А. Гумбольдт, П.-С. Лаплас.

23 октября 1820 г. на заседании Академии наук Ампер сделал подробное сообщение о дальнейших опытах по изучению законов взаимодействия проводников, несущих электрический ток. Это сообщение, а также ранее и позже доложенные им результаты исследований составляют основное содержание «Труда, представленного Королевской Академии наук 2 октября 1820 г. . .», поэтому «Труд» как бы подводит итоги исследований Ампера в 1820 г.

Ампер дает точное определение, разграничивающее два эффекта: электрическое напряжение и электрический ток. Это разграничение является основой современной науки об электричестве вообще. Интересно, что электрическим напряжением он называет некоторое состояние системы электродвижущих и проводящих тел, а электрическим током — состояние электричества в цепи проводящих и электродвижущих тел. В этом содержится определение напряжения как первичного, как причины, содержащейся в физических телах, а тока — как вторичного, как действия причины.

Осень 1820 г. является и временем рождения такого неотъемлемого от современной физики и техники прибора как амперметр. До Ампера существовали лишь вольтметры, называвшиеся электрометрами и показывавшие, «есть ли напряжение и какова его интенсивность». Ампер предложил прибор, «который показывал бы наличие тока в вольтном столбе или в проводнике, его энергию и направление», называемый ныне амперметром электродинамической системы. Он предложил для него название «гальванометр», которое осталось лишь за амперметрами на малые токи.

В 1809 г. немецкий анатом и физиолог С. Томас Зёммеринг, член Мюнхенской Академии наук, предложил электрический телеграф. Его идея была такова: если сопоставить каждой букве алфавита



пробирку, в которой можно осуществлять на расстоянии электролиз воды, то, осуществляя последний в той или иной пробирке, можно передавать сообщения. Ампер, не зная об идее Зёммеринга, предложил свою идею электродинамического телеграфа. «Ввиду успеха опыта, указанного мне маркизом де Лапласом, можно было бы, взяв столько проводников и магнитных стрелок, сколько имеется букв, и помещая каждую букву на отдельной стрелке, устроить своего рода телеграф с помощью одного вольтова столба, расположенного вдали от стрелок». (П.-С. Лаплас предложил Амперу попробовать отклонять магнитную стрелку электрическим током, протекающим в проводниках, расположенных над и под стрелкой в направлении магнитного меридиана.)

30 октября 1820 г. на заседании Академии наук Ампер доложил о своих исследованиях ориентирования электрических токов под действием земного шара. Это исследование вошло в качестве параграфа в упомянутый выше «Труд». Построив два прибора, он экспериментально установил, что проводник с током ведет себя в магнитном поле Земли так же, как магнитная стрелка. Этот факт был объяснен им как взаимодействие проводника с «электрическими токами земного шара», что было первой формулировкой его отказа от концентрации магнитных жидкостей в глобальном масштабе. По некоторым косвенным данным можно судить, что Ампер был убежден в существовании подобных токов и предполагал их термоэлектрическое происхождение.

В январе 1821 г. Ампер впервые поставил вопрос о возможности объяснения магнетизма путем введения предположения о том, что электрические «токи распределены во всей массе вокруг каждой из . . . частиц». По его же свидетельству эта идея была подана ему О.-Ж. Френелем. Так родилась знаменитая гипотеза Ампера о том, что магнитные, в частности, ферромагнитные свойства физических тел обусловлены наличием замкнутых электрических токов внутри молекул вещества тела.

Подробное рассмотрение магнитных явлений с позиции этой гипотезы было дано Ампером в январе 1822 г. в ответе на письмо в научный журнал нидерландского физика ван Бека.

В июле 1821 г. Ампер поставил опыт, который, по его мнению, косвенно доказывал, что «электрические токи существуют в магнитах вокруг каждой отдельной частички». Эти токи существуют вокруг частичек в железе, никеле и кобальте еще до намагничивания, но направлены во всевозможные стороны и не оказывают никакого результирующего магнитного действия. Намагничивание происходит тогда, когда действие магнита или проводника сообщает всем этим токам одинаковое направление, в результате чего их действия складываются. Вот так сам Ампер излагал теорию намагничивания на основе гипотезы молекулярных токов.

В то время в физике господствовала теория, объяснявшая способы намагничивания постоянных магнитов на основе гипотезы и наличия магнитной жидкости одного рода. Теория была разработана петербургским академиком Ф.-У.-Т. Эпинусом в его знаменитом «Опыте теории электричества и магнетизма», вышедшем в 1759 г. Согласно его теории магнитная мягкость веществ объяснялась как следствие наличия свободы вращения частиц тела, что приводит к неупорядоченности молекулярных токов после устранения причин намагничивания. Ампер же считал, что магнитное взаимодействие токов может объяснить лишь размагничивание тела, но не его намагничивание, которое должно вызываться магнитным действием извне.

Эта концепция позволила также Амперу в несколько общих чертах предсказать наличие явлений диамагнетизма и парамагнетизма. Об этом свидетельствуют слова самого Ампера: «... можно надеяться возбудить до некоторой степени магнетизм в тех телах, которые до сих пор, казалось, не могут быть намагничены, если применить более энергичные средства для того, чтобы ориентировать электрические токи в этих телах в определенном направлении».

Позднее молекулярные токи вводились О. Хевисайдом под названием «мысленные токовые элементы». В 1822 г. М. Фарадей выступил против гипотезы Ампера, основываясь на результатах собственных опытов. Ампер в том же году показал, что опыты Фарадея не опровергают его гипотезу, а наоборот подтверждают. Впоследствии стремление исследователей к более прямому обнаружению молекулярных токов привело к исследованию магнитомеханических явлений. В 1909 г. С. Барнет обнаружил намагничивание ферромагнитного тела вращением его в отсутствие магнитного поля, а в 1915 г. А. Эйнштейн и В. де Хаас установили факт вращение намагничиваемого ферромагнитного тела.

Если попытаться сформулировать общую оценку значения гипотезы Ампера, то можно сказать, что она покончила с концепцией магнитных жидкостей и явилась предпосылкой развития электронной теории магнетизма.

30 ноября 1820 г. на том же заседании, на котором Ампер изложил результаты своих опытов о воздействии магнитного поля Земли на электрические токи, Ж.-Б. Био сделал сообщение об опытах,

проведенных им совместно с Ф. Саваром, в которых изучалось действие длинного прямолинейного проводника, по которому протекал ток, на магнитную стрелку. Ж.-Б. Био обладал опытом измерения напряженности магнитного поля Земли. Он разработал собственную методику измерений и осуществил в августе 1804 г. во время подъемов на воздушном шаре вместе с Л.-Ж. Гэй-Люссаком ряд измерений на различных высотах.

После открытия Г.-Х. Эрстеда Био использовал свой опыт измерения напряженности геомагнитного поля, в частности, осуществил при некоторых измерениях компенсацию магнитного поля Земли. Поскольку Био был твердым сторонником концепции магнитных жидкостей, он пытался использовать альтернативно полученный им закон для подкрепления своей теоретической концепции. Био и Савар установили обратно пропорциональную зависимость действия тока на любой полюс магнита от расстояния между током и магнитом.

Ампер же сосредоточил свое внимание на установлении количественного закона притяжения или отталкивания малых отрезков проводников, по которым протекают электрические токи. Если Био и Савар установили закон взаимодействия в интегральной форме, то Ампер стремился установить закон в дифференциальной форме. Уже 4 декабря 1820 г. на заседании Академии наук он указал, что сила взаимодействия обратно пропорциональна квадрату расстояния между отрезками. Впоследствии Ампер обобщил форму этой зависимости, получившей название закона Ампера.

В связи с тем, что судьба закона Ампера сложилась неудачно по сравнению с судьбой эквивалента этого закона — закона Био — Савара — Лапласа, полезно привести его точную форму. Закон Ампера — это выражение функциональной зависимости силы взаимодействия между двумя малыми проводниками длиной ds и ds' , по которым протекают токи i и i' соответственно, в виде:

$$\frac{ii'dsds'(\sin\vartheta\sin\vartheta'\cos\omega+0,5\cos\vartheta\cos\vartheta')}{r^2},$$

где r — длина прямой, соединяющей середины проводников; ϑ и ϑ' — углы между этой прямой и прямыми, проходящими через проводники; ω — двугранный угол, образуемый плоскостями, проведенными через проводники и через прямую, соединяющую их середины.

Био в свою очередь поставил тоже вопрос о законе взаимодействия частицы магнитной жидкости и малого элемента проводника с током, т. е. попытался извлечь из своего интегрального закона дифференциальную форму, надеясь поставить под сомнение закон Ампера, а вместе с ним и концепцию молекулярных токов. Проведенный Био и Саваром анализ показал, что сила взаимодействия элементов проводника и магнитной жидкости обратно пропорциональна кубу расстояния между ними. П.-С. Лаплас от полученных Био и Саваром экспериментальных результатов пришел к другому выводу, а именно, к обратной пропорциональности силы взаимодействия от квадрата расстояния. Его расчет не был нигде опубликован, о нем известно лишь из упоминаний в курсе экспериментальной физики Био и в монографии Ампера.

В 1822 г. Ф. Савари (не путать с Ф. Саваром!) показал, что закон Био — Савара — Лапласа полностью согласуется с законом Ампера. Но истории учения об электромагнетизме было угодно использовать в качестве одного из уравнений теории электромагнитного поля Максвелла не закон Ампера, а закон Био — Савара — Лапласа, по сути дела ему эквивалентный. Лишь при установлении международной системы единиц измерения физических величин СИ предпочтение было отдано закону Ампера как основы для определения единицы силы тока.

Стоит остановиться особо на мастерстве Ампера как физика-экспериментатора. Для исследования вопросов, его интересовавших, он создал ряд несуществовавших до него приборов или, лучше сказать, экспериментальных установок. Многие идеи, реализацией которых они являются, прочно вошли в электротехнику и в технику физического эксперимента.

В зале Мюнхенского музея шедевров науки и техники, в шкафу, украшенном портретом А.-М. Ампера, хранятся невзрачные проволочные контуры, висащие и вращающиеся в чашечках со ртутью, с помощью которых они соединены с источниками тока. Именно при изучении поведения этих «проволочных паутин» выросла мощная и красивая наука о связи электрических и магнитных явлений — электродинамика, сыгравшая огромную роль в дальнейшем развитии физики и породившая плеяду технических наук: электротехнику и радиотехнику со всем их обширным потомством.

Л. Д. Белькинд пишет: «Экспериментируя, Ампер пользовался разнообразными приемами и аппаратурой, начиная с простых комбинаций проводников или магнитов и кончая построением довольно сложных приборов». Ампер не делал сам детали своих установок, идея создания которых принадлежала ему, он заказывал их мастерам-механикам, но изготовление вспомогательных деталей, монтаж и эксперимент — все это делалось лично Ампером, вообще работавшим практически без помощников. Кроме упоминавшегося выше гальванометра, важнейшую роль в становлении теории Ампера сыграл прибор, получивший название «станок Ампера», на котором он исследовал взаимодействие двух проводников. Ампер создал соленоид, т. е. проводник, имеющий (в буквальном переводе) форму трубки или канала и называвшийся им, правда, по-другому — электродинамический цилиндр, действие и поведение которого оказались совершенно аналогичными действию и поведению прямого магнита. Для исследования действия магнитного поля Земли (МПЗ) на магнитную стрелку Ампер создал два прибора. В основе первого лежало изучение воздействия МПЗ на расположенный в вертикальной плоскости контур, имеющий форму окружности, а в основе второго — действие МПЗ на прямоугольный контур, лежащий в экваториальной плоскости.

Ампер решил, выражаясь современным языком, проблему узла контакта подвижных токоведущих элементов и источника тока в приборе. Этим решением была идея и реализация ртутного контакта, сыгравшего огромную роль в развитии электротех-

ники вообще. Наконец, Ампер создал астатическую магнитную стрелку, решив тем самым проблему компенсации действия МПЗ.

Что касается методики измерений, то Ампер является автором нулевого метода измерений, нашедшего широкое применение как в области электрических измерений, так и за ее пределами.

Дальнейшие этапы развития работ Ампера по электродинамике представляют следующую последовательность.

1821 г. Ампер посвятил экспериментальным исследованиям теории магнетизма. Обобщающий труд по теории магнетизма остался незаконченным и неизданным, но в 1822 г. он изложил свои взгляды по этому вопросу в ответе на письмо ван Бека. В этом же году Ампер опубликовал «Сборник наблюдений по электромагнетизму», состоящий из его работ, работ других авторов — сторонников его теории — и снабженный примечаниями работ М. Фарадея, придерживавшегося других взглядов. В 1823 г. Ампер выпустил в свет брошюру «Конспект теории электродинамических явлений...», в которой изложил свои взгляды более подробно (в частности, на вопрос о природе взаимодействия), чем он это сделал в предыдущих работах.

Главным трудом Ампера, подытожившим его более чем шестилетние исследования в области электродинамики, явилась «Математическая теория электродинамических явлений, исключительно выведенная из опыта» (1826 г.). Ампер предполагал написать вводный труд к этой «Математической теории», в котором было бы подробно изложено описание экспериментальных установок и «история открытий в их последовательности». Но этому плану не было суждено осуществиться. Поэтому в опубликованной работе изложены лишь результаты и не всегда прослеживается путь индуктивного обобщения опытных данных в теорию, очень изящную с точки зрения логической последовательности.

И названием труда, и замечаниями в тексте Ампер подчеркивает, что его труд выполнен на уровне описания явлений, что он излагает в весьма общем виде эмпирические закономерности, не стараясь объяснить их, не пытаясь проникнуть в их механизм (в других работах он сделал немало для подобного проникновения). В целом же «Математическая теория» представляет собой блестящий образец исследования в области теоретической физики, которое было превзойдено лишь теорией Максвелла. Как писал Я. Г. Дорфман, теория Ампера «представляет собою выдающийся вклад в теорию электричества и магнетизма в эпоху между появлением «Теории электричества и магнетизма» Ф. -У. -Т. Эпинуса и опубликованием «Трактата об электричестве и магнетизме» Дж. К. Максвелла».

При написании статьи были использованы следующие источники: Ампер А.-М. Электродинамика. Изд. АН СССР, 1954; Белькинд Л. Д. Андре-Мари Ампер (1775—1836). М., «Наука», 1968; Tricker R. A. R. Early Electrodynamics. The First Law of Circulation, Oxford, 1965; Brown Th. M. The Electric Current in Early Nineteenth—Century French Physics. — «Historical Studies in the Physical Sciences», v. 1, 1969.