

УЧЕНИЕ ОБ ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМЕ

Адольф Филиппов

Учение об электрических и магнитных явлениях (электродинамика) имеет длительную историю, полную великих озарений и многих заблуждений. Физика, как наука о процессах в неживой природе, всегда привлекала исследователей. Особый интерес в этой области возник после открытия электрических зарядов и их взаимодействия. Если, например, механика в почти современном виде была создана двумя главными учёными - Галилеем и Ньютоном, то проблемы электромагнетизма изучались множеством исследователей. Причина этого, по мнению автора, связана с тем, что электричество имеет много проявлений и на первых этапах изучения не имело экспериментальной базы. На рис. 1 представлены портреты некоторых исследователей, которые внесли главный вклад в науку об электромагнетизме. Их научная интуиция и экспериментальное мастерство вызывают восхищение и в настоящее время.



Рис.1

Обычно одним из первых исследователей называют Фалеса Милетского (640-564 гг. до н.э.) Он обратил внимание на способность янтаря при трении притягивать мелкие частички и выделил два вида электричества, названных позднее положительным и отрицательным. В науку вошёл термин «электрон», что по-гречески означает янтарь.

М. В. Ломоносов и Б. Франклин экспериментально доказали тождество молнии и электрической искры.

Детальное исследование магнетизма выполнил лейб-медик английской королевы Гильберт (1540-1603 гг.). Им впервые предложено лечение с помощью магнита.

Эти и многие другие исследователи до начала XVIII века считали электричество и магнетизм не связанными явлениями природы. Кроме того, интерпретация результатов экспериментов осуществлялась в рамках электростатики. Такая позиция была тупиковой - создать какие-либо практические устройства (кроме игрушек и демонстрации искровых разрядов) было невозможно.

Ситуация изменилась коренным образом после изобретения Алессандро Вольта (1743-1827 гг.) химического источника тока – батареи "вольтов столб". Этот источник тока позволил изучать электрический ток и в последствии обнаружить органическое единство электричества и магнетизма. Пришло время фундаментальных открытий как в теории (П. Лаплас 1749-1827 гг.), так и в эксперименте. Целая серия феноменологических законов была открыта А. Ампером (1775-1836 гг.), Д. Максвеллом (1831-1880 гг.), М. Фарадеем (1791-1867 гг.), Г. Омом (1789-1854 гг.), Э. Ленцем (1804-1865 гг.), Г. Кирхгофом (1824-1887 гг.), М. Тесла (1856-1943 гг.) и многими другими. На выдающемся вкладе в науку первых трёх гениев мы остановимся позже.

Уместно перечислить фундаментальные законы, установленные этими учёными:

- Закон Кулона о силе взаимодействия двух зарядов,
- Закон электромагнитной индукции Фарадея о связи электрического и магнитного полей. И его же закон электролиза растворов,
- Закон Ампера о взаимодействии двух токов,
- Закон Ома для постоянного тока,
- Закон Джоуля-Ленца о тепловом действии тока,
- Закон Лоренца о силе, действующей на заряд в магнитном поле.

Такой список можно продолжить до времени установления свойств полупроводников и электронно-лучевой трубки телевизоров. А великие уравнения Максвелла позволяют вывести их теоретически.

Десятки выдающихся учёных сделали важный вклад в науку об электромагнетизме. Однако, история науки ставит на главное место в этой области физики Кулона, Ампера, Фарадея и Максвелла. Рассмотрим их жизнь и творчество.

Шарль Огюстен де Кулон



Родился в 1736 году в семье правительственного чиновника. Учился в школе для дворян - самом престижном "Колледже 4 наций", затем окончил Военно-инженерную Академию - лучшее учебное заведение во Франции в XVIII веке. В 1761 году в чине лейтенанта направлен в г. Брест для службы в инженерных войсках, а затем служил на о. Мартиника. В 1781 г. по состоянию здоровья переведён в Париж на должность смотрителя гидросооружений. После Революции 1789 г. Ш. Кулон уходит в отставку и живёт в своём имении в Блуа.

Наряду со службой, Кулон активно занимается научными исследованиями. Область его интересов: механика, теория упругости, теория кручения. За эти работы он избран Членом Академии Наук Франции. Главным итогом его работы служит изобретение крутильных весов, с помощью которых он установил закон взаимодействия электрических зарядов. По этому закону, сила действия между зарядами пропорциональна произведению зарядов и обратно пропорциональна

квадрату расстоянию между зарядами. (Ради исторической справедливости отметим, что этот же закон на более точных весах установил англичанин Генри Кавендиш. Но он, будучи очень богатым, ничего не публиковал и много его важных открытий стали известны только после изучения его архива Максвеллом). По аналогии с законом тяготения Ньютона, Кулон объяснял свой результат с позиций гипотезы дальнего действия, опровергнутой позднее Фарадеем и Максвеллом.

Андре-Мария Ампер (1775-1836 гг.)

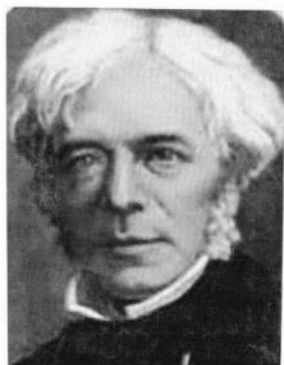


Андре Ампер родился в семье крупного коммерсанта в 1775 году. Он получил прекрасное домашнее образование. С малых лет умел читать и считать, знал латынь. В 18 лет Ампер пережил драму - казнь отца на гильотине в революцию. Это (и после отца - бедность) осталось у него на всю жизнь. В 1805 г. был приглашён на кафедру математики в Политехническую школу, в 1814 г. избран членом Академии Наук, а с 1824 г. - профессором физики Коллеж де Франс, где работал до конца жизни. Научные интересы Ампера охватывали широкий круг проблем математики и теоретической физики. Главными были работы по теории электромагнетизма.

Ампер впервые доказал связь электрических и магнитных явлений, впервые объяснил магнит круговыми молекулярными токами. Он ввёл понятие кибернетика, создал коммутатор и электромагнитный телеграф. За научные заслуги Ампер был избран членом многих академий наук, в том числе Петербургской. Он был дважды женат. От первого брака имел сына Жан Жака, известного писателя и историка литературы. Первая жена Ампера умерла через 6 лет после свадьбы.

Второй брак был неудачным. Умер Ампер в 1836 году в возрасте 61 года.

Майкл Фарадей (1791-1867 гг.)



Майкл Фарадей - великий английский физик-экспериментатор родился в 1791 году в бедной семье кузнеца. Не окончив начальную школу, он с 12 лет работает разносчиком газет и переплётчиком. Судьбоносным было для него посещение лекций профессора Дэви, с которым Майкл в качестве лаборанта совершил научную поездку по странам Европы в 1813-1815 гг., где познакомился с Ампером, Вольты, Гей-Люссаком, Гумбольдтом, изучил французский и немецкий языки.

По возвращении в Англию 30-летний Фарадей начал самостоятельную научную работу в Королевском институте. В 1824 г. был избран членом Королевского общества, а в 1825 г. стал Директором лаборатории института. В научной работе Фарадей проявил исключительную целенаправленность и тщательность. За всю жизнь он выполнил и описал 30 тысяч опытов. Им изобретены вольтметр, электродвигатель, открыты явления электромагнитной индукции, самоиндукции, экстрактоки, изучены законы электролиза растворов.

Фарадей ввёл понятия электрического и магнитного полей, катод и анод, ионы. Фундаментальным было доказательство электромагнитного взаимодействия по силовым линиям поля с конечной скоростью. Этим было предсказано существование электромагнитных волн. Научные заслуги Фарадея были высоко оценены научным сообществом и правительством. Так, королева Виктория подарила его семье особняк с полной оплатой всех затрат по его содержанию. В 28 лет он женился на 20-летней Саре Бернан. Умер в возрасте 75 лет.

Джеймс Кларк Максвелл (1831-1880 гг.)

Джеймс Максвелл родился в 1831 г. в семье шотландского дворянина знатного рода. Его отец - успешный адвокат был разносторонним человеком, увлекался науками, любил

природу. Поэтому Джеймс с раннего детства проявил большой интерес к природе и техническим устройствам. Далее, он окончил Эдинбургский и Кембриджский университеты и до болезни в 1865 году был профессором физики Абердинского университета. С 1865 года жил в родовом поместье.



В 1871 г Максвелл занял место профессора в Кембриджском университете, где создал Кавендишскую лабораторию. Здесь он выполнил целый ряд фундаментальных работ по теории цветов, кольцам Сатурна и по кинетической теории газов. Исследованиями по термодинамике он заложил основы статистической физики. Создал первую в мире цветную фотографию. Однако, главным достижением Максвелла было создание математической теории электромагнетизма. Развивая идеи Фарадея о природе силовых линий электрических и магнитных полей, Максвелл построил фундаментальную систему уравнений, которая и в настоящее время широко применяется в современной физике. В частности, он первым доказал, что свет есть электромагнитное излучение. Высокий

научный авторитет Максвелла позволил ему возглавить построенную герцогом Девонширским (внучатым племянником Генри Кавендиша) лабораторию, которая стала мировым центром физической науки. Позднее её возглавлял Резерфорд и там стажировался П. Капица. Умер Максвелл в 49 лет от рака.

Таковы этапы жизненного пути основоположников науки об электричестве и магнетизме. Фундаментальное значение их работ можно резюмировать следующим:

- Работы Фарадея, Ампера, Максвелла доказали единство электричества и магнетизма.
- Электрическое взаимодействие определяется не силами дальнего действия, а силами поля с конечной скоростью. Этим выводом была устранена гипотеза мирового эфира, как субстанции переноса сил дальнего действия.
- Было предсказано существование электромагнитных волн, распространяющихся со скоростью света. Спустя полвека это было экспериментально доказано Герцем.
- Свет является электромагнитными волнами.
- Электрический ток есть движение зарядов под действием электрического поля. Он обладает энергией, способной переходить в тепло, в механическую работу, в химические процессы. Носители тока в разных телах различны (электрон ещё не был открыт, а учение об ионах не создано).
- Сформулированные Максвеллом уравнения электродинамики имеют универсальный характер и применимы как в классической, так и в атомной и ядерной физике.

Роль феноменологических законов электромагнетизма огромна.

Их практическое использование породило современный мир электронных коммуникаций, автоматики, робототехники и множества других технических устройств. Но, пожалуй, самым главным достижением науки служат уравнения электродинамики Максвелла.

Уравнения Максвелла представляют собой математическое выражение идей Фарадея о силовых линиях электрического и магнитного полей и их взаимодействия. Историки науки утверждают, что представленная здесь система уравнений записана в удобном для понимания виде Хэвисайдом (полагают, что знаменитая формула Эйнштейна о связи энергии и массы также получена Хэвисайдом). Уравнения Максвелла обычно записываются в двух формах - дифференциальной и интегральной. Обе формы имеют одинаковый смысл.

Дифференциальная форма

Интегральная форма

$$\begin{array}{ll}
 \nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} & \oint \vec{E} \cdot d\vec{a} = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0} \\
 \nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} & \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\int \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{a} \\
 \nabla \cdot \vec{B} = 0 & \oint \vec{B} \cdot d\vec{a} = 0 \\
 \nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} & \oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{enc} + \mu_0 \epsilon_0 \int \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \cdot d\vec{a}
 \end{array}$$

1-е уравнение показывает, что источником электрического поля могут быть не только заряды, но и изменяющееся во времени магнитное поле.

2-е означает, что магнитные поля могут возбуждаться либо движущимися зарядами (токами), либо переменными электрическими полями.

3-е уравнение — это постулат Максвелла о создании электрических полей зарядами в любых средах.

4-е говорит о том, что магнитное поле (в отличие от электрического) не имеет ни начала, ни конца, а замыкается само на себя в виде вихря.

Если воспользоваться известными из векторного анализа теоремами Стокса и Гаусса, то можно представить систему уравнений Максвелла в дифференциальной форме. При непрерывном распределении зарядов и токов в пространстве обе формы уравнений эквивалентны.

Представленные уравнения записаны для вакуума. Для любой среды вводятся так называемые материальные уравнения. Они связывают напряжённость электрического поля E с электростатической индукцией D и напряжённость магнитного поля H с магнитной индукцией B . В системе СИ эти уравнения имеют вид:

$$D = \epsilon E \quad \text{и} \quad B = \mu H \quad (D, E, B \text{ и } H - \text{векторы}).$$

Электрическая постоянная ϵ и магнитная постоянная μ в системе СИ соответственно равны:

$$\begin{array}{l}
 \epsilon = 8,85418781 \times 10^{-12} \text{ Фарад/м,} \\
 \mu = 1,25663706 \times 10^{-6} \text{ Генри/м.}
 \end{array}$$

Вместе со скоростью света в вакууме ($c=299792458$ м/с) они относятся к числу мировых констант, имеющих фундаментальное значение в естествознании. С нашей точки зрения, законы объективного мира были бы другими при других численных значениях этих констант.

Ещё раз стоит подчеркнуть, что роль теоретических и прикладных исследований в электродинамике огромна. Их быстрая (по историческим меркам) реализация определила техническую революцию цивилизации. При этом человечество не только получило сказочные средства коммуникации, но и изменилось в социально-психологическом плане. Однако, о последнем выводе нам лучше расскажут психологи и социологи.

Автор выражает искреннюю благодарность к.ф.-м.н. М. Филиппову за тщательное редактирование статьи.

Источники

1. Шустов М. А. История электричества. Directmedia, М. Берлин, 2019, с. 568.
2. Ревко П. С. Введение в историю науки и техники. Таганрог 2010, с. 268.
3. Боданис Д. Электрическая Вселенная. Изд. Колибри, 2009, с. 384.
4. Карцев В. П. Приключения Великих уравнений. Просвещение, М. 2007, с. 176.
5. Льюис М. История физики. Мир М. 1970, с. 464.