

Реферат на тему
«Джеймс Максвелл»

Оглавление

Введение.....	3
1 Путь к своему открытию.....	4
1.1 Уравнения Ампера.....	4
1.2 Электромагнитное поле.....	6
2 Простая арифметика дифференциала.....	9
Заключение.....	12
Список использованных источников.....	13

Введение

Актуальность темы. Теоретической основой всей электродинамики, в том числе и радиосвязи – единственного вида связи с транспортными средствами, являются уравнения Максвелла. Они опубликованы в его труде «Трактат об электричестве и магнетизме» в 1873 году и по справедливости признаны научным миром самым великим открытием XIX века.

В максвелловские времена были хорошо известны законы взаимодействия зарядов, постоянных токов и магнитов, которые были записаны в интегральной форме и отражали в той или иной степени идеологию «дальнодействия». Максвелл, обобщив известные факты, придал им форму дифференциальных уравнений – появилась непрерывность, появилось «близкодействие». Запись уравнений в такой форме привело к безвозвратному исчезновению «мгновенного действия».

При введении тока смещения и формулировке уравнений электродинамики Максвелл, по-видимому, прежде всего, руководствовался физическими соображениями.

Целью изучения являются достижения Джеймс Максвелл.

Задачами исследования являются:

- рассмотреть путь к своему открытию;
- разобрать простую арифметику дифференциала.

1 Путь к своему открытию

1.1 Уравнения Ампера

Джеймс Клерк Максвелл родился 13 июня 1831 года в Эдинбурге (Шотландия) (рис.1). Как раз в том же году 4 октября английский физик Майкл Фарадей, которому исполнилось ровно 40 лет, открыл знаменитый закон электромагнитной индукции. Это был добрый знак для новорождённого. Судьба будто бы призывала его продолжить дела великого Фарадея. И он продолжил. [4]

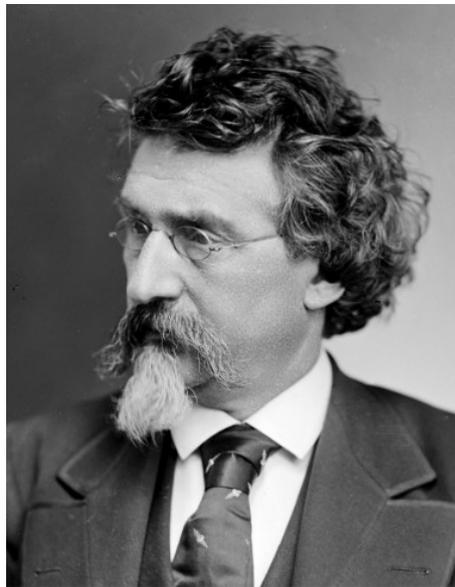


Рисунок 1 - Джеймс Клерк (Кларк) Максвелл

Путь к своему открытию – после семи лет учебы в университетах Эдинбурга и Кембриджа – Максвелл начал с рассмотрения известных законов электричества и магнетизма, записав их в дифференциальной форме, в частности: [2]

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{j} - \text{закон Ампера} (1)$$

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} - \text{закон электромагнитной индукции Фарадея} (2)$$

$$\operatorname{div} \vec{D} = \rho_{\text{э}} - \text{теория Остроградского – Гаусса для электрических зарядов,}$$

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0 - \text{опытный факт} (4)$$

Сомнение вызвал закон Ампера (1), связывающий вектор напряжённости магнитного поля \vec{H} и вектор плотности постоянного тока \vec{j} , где оператор *rot* – от слова «rotor» (вихрь) – указывает, что \vec{H} вращается вокруг \vec{j} по замкнутой линии и часовой стрелке. Это наглядно демонстрирует закон Ампера в интегральной форме: $\int_L \vec{H} d\vec{l} = \int_S \vec{j} d\vec{S} = I$, то есть циркуляция \vec{H} вокруг замкнутого контура L равна току I проходящему перпендикулярно плоскости контура. Сомнение определялось тем, что поскольку дивергенция (div) – мера источника – от любого вектора ротора тождественно равна нулю, то согласно закону Ампера и $\text{div} \vec{j} = 0$. Но это противоречит самому фундаментальному закону физики – закону сохранения заряда, который в дифференциальной форме называют уравнением непрерывности тока \vec{j} : $\text{div} \vec{j} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$, где ρ – объемная плотность заряда, а t – время. Чтобы этого противоречия не было, надо в правую часть уравнения (1) добавить слагаемое, дивергенция которого равна $\frac{\partial \rho}{\partial t}$.

Согласно (3) $\text{div} \frac{\partial D}{\partial t} = \frac{\partial \rho}{\partial t}$, и поэтому Максвелл в правую часть уравнения Ампера добавил $\frac{\partial D}{\partial t}$ – плотность тока смещения, где D – электрическая индукция, равная произведению напряжённости электрического поля E на диэлектрическую проницаемость среды ε : $D = \varepsilon E$. Теперь (1) приняло вид: $\text{rot} \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{j}$. Здесь правая часть – плотность полного тока. В этом случае $\text{div} \text{rot} \vec{H} = 0 = \text{div} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \text{div} \vec{j} = \frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div} \vec{j}$ представляет собой уравнение непрерывности тока – и, следовательно, противоречие снято. Так что очень важная поправка Максвелла $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ следует из уравнения непрерывности тока и теоремы Остроградского-Гаусса (3).

Видно, что с поправкой Максвелла $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ уравнение Ампера по форме сместилось в сторону уравнения электромагнитной индукции Фарадея (2), в

котором B – магнитная индукция, равная произведению H на магнитную проницаемость среды μ : $B = \mu H$. [4]

При $j=0$ уравнение (1) полностью совпадает по форме с уравнением (2), за исключением знака минус, который определяется законом Ленца. В таком варианте, если (2) – закон электромагнитной индукции, то (1) при $j=0$ является законом магнитоэлектрической индукции и в рамке, вращающейся в постоянном электрическом поле, должна по аналогии с законом Фарадея наводиться магнитодвижущая сила.

Как следует из самого смысла коррекции, поправка $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ изменила закон Ампера не только по форме, но и физическому содержанию. Именно эта поправка позволила Максвеллу обнаружить, сравнивая (1) и (2) между собой, что изменяющееся во времени электрическое поле E порождает магнитное поле H согласно (1), а изменяющееся во времени H порождает E согласно (2). Это значит, что электрическое и магнитное поля едины и могут существовать самостоятельно в свободном пространстве, а поэтому уравнения (1) и (2) в электродинамике следует рассматривать вместе.

1.2 Электромагнитное поле

Максвелл пришел к необходимости введения дополнительного слагаемого, тока смещения, с других позиций. Если «наложить электрическое поле на конденсатор, в котором промежуточная среда имеет очень большую диэлектрическую постоянную, то большая часть электрической индукции фактически будет затрачена на разделение зарядов в диэлектрике от одной стороны к другой. Вполне естественно ожидать, что движение этих зарядов будет сопровождаться током – током смещения». Важным обстоятельством явилось то, что Максвелл ввел ток смещения не только для диэлектрика, но и для вакуума, который воспринимался как особая физическая среда – эфир. «Введенное Максвеллом представление о

поляризации вакуума долго служило препятствием к одобрению уравнений Максвелла в научных кругах». Идея тока смещения – центральная идея теории электромагнитного поля. [4]

Электромагнитное поле может существовать в свободном пространстве, а именно надо взять ротор от обеих частей равенств (1) и (2), в результате чего получаются волновые уравнения: [2]

$$\Delta \vec{E} + k^2 \vec{E} = 0, (5)$$

$$\Delta \vec{H} + k^2 \vec{H} = 0, (6)$$

где Δ – оператор Лапласа, а $k = \omega / c$ – волновое число свободного пространства.

Уравнения (5), (6) называются волновыми потому, что их решением становится функция, описывающая волну в свободном пространстве. Но волны распространяются в средах. В 1753 году русский учёный М.В. Ломоносов высказал важнейшее предположение, поддержанное позже, в 1755 году Л. Эйлером, об участии эфира – светонесущей среды – в электромагнитном взаимодействии тел. [1]

Максвелл, анализируя уравнения (1) со своей поправкой и (2), пришёл к ряду принципиальных и, как оказалось, перспективных выводов: [3]

1. Возмущения эфира распространяются в пространстве, образуя электромагнитную волну.

2. Электромагнитные волны поперечны, скорость их распространения зависит от свойств среды. Для вакуума $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

3. Эта скорость близка к скорости света, что является основанием сделать заключение о том, что свет (включая лучистую теплоту) есть электромагнитное возмущение эфира.

4. В среде, где распространяются электромагнитные волны, существует давление в направлении их распространения, равное по величине плотности энергии электромагнитного поля.

Так Максвелл впервые в мире определил структуру света как электромагнитное колебание. До него учёные всего мира в течение полутора веков не могли этого сделать. Тем самым Максвелл со вершил одно из величайших обобщений – электричества, магнетизма и света на основе (1) и (2).

Если обе части равенства (1) умножить на E , а (2) – на H и взять их разность, то получим выражение: [2]

$$\operatorname{div}[\vec{E} \vec{H}] = -\left(\frac{\vec{H} \partial B}{\partial t} + \frac{\vec{E} \partial \vec{D}}{\partial t}\right) - \vec{j} \vec{E} \quad (7).$$

Векторное произведение $[\vec{E} \vec{H}]$, называемое вектором Пойтинга \vec{P} , указывает направление распространения электромагнитной волны – перпендикулярно плоскости, в которой находятся векторы \vec{E} и \vec{H} , то есть в поперечной плоскости.

Реальные электромагнитные волны были получены впервые в мире в 1888 году немецким физиком Г. Герцем с помощью изобретённого им вибратора на основании уравнений Максвелла (1-6). Ученый экспериментально показал, что электромагнитные волны обладают теми же свойствами, что и свет: отражением, преломлением, поляризацией и пр. В процессе эксперимента с электромагнитными волнами Герц попутно открыл фотоэффект, который затем был исследован русским учёным А.Г. Столетовым и теоретически обоснован А. Эйнштейном. [1]

Однако русский учёный А.С. Попов 7 мая 1895 года в Санкт-Петербурге впервые в мире продемонстрировал действующую систему беспроводной связи. В передатчике Попова использовался прерыватель – прообраз амплитудного модулятора, когда низкочастотные сигналы преобразуются в высокочастотные и опасение Герца снимается. Сегодня без радио, без телевидения (ТВ) немислим прогресс человечества. ТВ изобретено тоже в России в 1907 году Б.Л. Розингом на базе фотоэффекта и радиоволн.

2 Простая арифметика дифференциала

Максвелл, используя в дифференциальной форме уравнения Фарадея и Ампера вместе со своей знаменитой поправкой $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$, дал повод уравнения (1-4), применяемые в едином блоке, называть собственным именем. К этим четырем уравнениям, записанным в практической системе единиц СИ, добавляют материальные уравнения: [2]

$$\vec{D} = \varepsilon \vec{E}; \vec{B} = \mu \vec{H}; \vec{j} = \sigma \vec{E},$$

где σ – электропроводность среды.

Видно, что уравнения Максвелла – это дифференциальные уравнения в частных производных по времени и координатам, так как операторы векторного анализа rot , div и др. – пространственные производные.

Надо заметить, что уравнения (3) и (4) – это теорема Остроградского Гаусса для электрической D и магнитной B индукций. Поэтому их можно объединить в одно: [2]

$$\text{div} \vec{G} = \rho(3)^1,$$

где $G=D$ при или B при $\rho=0$.

В этом случае вместо четырех уравнений будет три: (1), (2), (3).

Кроме того, уравнения (3) и (4) есть основание рассматривать как следствие уравнений (1) и (2). Действительно, если из (1) и (2) взять дивергенцию, а затем проинтегрировать по времени и учесть для (1) уравнение непрерывности, а для (2) факт, то получим (3) и (4). Поэтому можно считать два первых уравнения Максвелла основными, а остальные – вспомогательными.

Любая задача электродинамики решается с помощью уравнений Максвелла и использования граничных и начальных условий. Кстати, граничные условия получены тоже с помощью уравнений Максвелла. Они – основа волновой оптики. С их участием удалось количественно подтвердить волновой принцип Гюйгенса, сформулированный ученым еще 1,5 века тому назад. Хотя в природе и нет магнитных зарядов и токов, но замкнутая рамка с электрическим током эквивалентна магнитному диполю, перпендикулярному плоскости рамки. Эта эквивалентность имеет место на расстояниях много больших размеров рамки. В свою очередь магнитный диполь эквивалентен элементу проводника с магнитным током. Так появляются магнитные заряды и токи, которые со знаком «минус» вводят в уравнения (2) и (4) соответственно. [3]

Теперь уравнения Максвелла стали симметричными. При этом отдельно их составляют для магнитных зарядов и токов. Потом получая нужные характеристики, в частности граничные условия. Из них следует, что \vec{H} можно представить плотностью электрического тока, а \vec{E} – плотностью магнитного тока. Тогда любая точка пространства с радиоволнами, характеризуемая вектором Пойтинга, эквивалентна двум диполям Герца – электрическому и магнитному, которые взаимно перпендикулярны и служат источником вторичных радиоволн, распространяющихся в направлении вектора Пойтинга. [1]

Диаграмма направленности такого источника является однонаправленной в виде кардиоиды, что и подтверждает принцип Гюйгенса количественно. В теории антенн рассматривается не точка, а бесконечно малая площадка с вектором Пойтинга, называемая элементом Гюйгенса. Это – основа расчёта рупорных и других поверхностных антенн, хотя и нет в природе магнитных зарядов и токов. И тут ещё один элемент диалектики. [3]

Уравнения Максвелла позволяют получить теорию цепей. Тем не менее теория с самого начала завоёвывала свои позиции с большим трудом,

поскольку к ней относились скептически многие учёные того времени и вот почему.

Тогда господствовал принцип относительности Галилея – один из важнейших законов всей классической физики. Уравнения, не изменяющиеся при преобразовании Галилея, называются инвариантными, и они справедливы, как, например, уравнения механики Ньютона. Уравнения Максвелла – не инвариантны относительно преобразований Галилея, что и было основанием для скептицизма. [1]

Физики XIX века вслед за Максвеллом считали, что электромагнитные волны распространяются в особой среде, подобно тому, как звуковые волны распространяются в воздухе. Поэтому предполагали, что уравнения Максвелла справедливы в координатной системе, связанной с эфиром. В связи с этим надо было установить, увлекается ли эфир движущимися в нём телами или остаётся неподвижным относительно абсолютно покоящегося пустого пространства.

Опыт Майкельсона показал, что наблюдения не только над механическими, но и электромагнитными явлениями, производимыми внутри системы тел, не могут обнаружить её поступательного равномерного движения. Поэтому принципы относительности и постоянства скорости света послужили исходными положениями для построения частной теории относительности, которая начинается с преобразований Лоренца, переходящих при малых скоростях в преобразования Галилея. Свои открытия голландец сделал при изучении трансформационных свойств уравнений Максвелла, поэтому они инвариантны относительно преобразований Лоренца. [3]

Заключение

Поправка Максвелла – основа его уравнений – получена в результате обобщения закона Ампера на случай переменных токов с учетом закона сохранения заряда и теоремы Остроградского-Гаусса. Первое и второе уравнения Максвелла являются основными.

Уравнения Максвелла явились мощным толчком к созданию и обоснованию теории относительности, одной из самых значимых теорий XX века. Она исходит из того, что для распространения света (электромагнитных волн) не требуется никакой материальной светонесущей среды (эфира), свет может распространяться даже в вакууме.

Заметим, что в истории физики стык XIX и XX веков был самым продуктивным, весьма богатым на открытия и изобретения. Сюда можно отнести и другие области физики, которыми занимался Максвелл, давая очень плодотворные результаты. В кинетическую теорию им были введены «распределение Максвелла» и «статистика Максвелла-Больцмана», изобретён «диск Максвелла». Он нашёл термодинамический парадокс, много лет не дававший покоя физикам – «дьявол Максвелла». Его перу принадлежат изящные исследования по устойчивости колец Сатурна, за что он получил академическую медаль и стал признанным лидером математических физиков.

Кроме того, Максвелл создал множество небольших шедевров на самые разнообразные темы – от осуществления первой в мире цветной фотографии до разработки способа радикального выведения с одежды жирных пятен.

Но главная память о Максвелле, вероятно, единственном в истории человеке, в честь которого наука зафиксировала столько именных названий: «уравнения Максвелла», «электродинамика Максвелла», «поправка Максвелла», «ток Максвелла» и, помимо прочего, «максвелл» – единица магнитного потока в системе CGS.

Список использованных источников

1. Бордонская Л.А., Серебрякова С.С. К 150-летию создания Джеймсом Клерком Максвеллом теории электромагнитного поля. // Ученые записки Забайкальского государственного университета. - 2015. № 3 (62). - С. 143-148.
2. Волков А.А. Истоки и величие уравнений максвелла. // Мир транспорта. - 2011. Т. 9. № 2 (35). - С. 176-182.
3. Гусякова О.И., Левин Ю.И. Джеймс Клерк Максвелл: две знаменательные даты. // Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. - 2014. Т. 22. № 6. - С. 108-126.
4. Томилин К.А. Уравнения электродинамики у Дж.К. Максвелла и Г. Герца. // В сборнике: Исследования по истории физики и механики 2016-2018. Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН. Москва. - 2019. - С. 481-515.