

М.И. Баранов

МАЙКЛ ФАРАДЕЙ И ЕГО НАУЧНЫЕ ЗАСЛУГИ ПЕРЕД ЧЕЛОВЕЧЕСТВОМ

Наведено короткий нарис з всесвітньої історії електрики, який пов'язане з основними фундаментальними досягненнями великого англійського фізика Майкла Фарадея у області електромагнетизму.

Приведен краткий очерк из всемирной истории электричества об основных фундаментальных достижениях великого английского физика Майкла Фарадея в области электромагнетизма.

ВВЕДЕНИЕ

О великом английском физике-экспериментаторе Майкле Фарадее, его важных научных достижениях и их влиянии на развитие науки об электричестве и магнетизме было написано достаточно много и весьма обстоятельно. В этом ряду публикаций о М. Фарадее, прежде всего, следует назвать статью "Фарадей" его современника, выдающегося английского физика-теоретика Джеймса Максвелла, вышедшую из печати в известном английском журнале "Nature" (сентябрьский номер за 1873 год) через шесть лет после смерти М. Фарадея [1]. Заметным событием в популяризации научного наследия М. Фарадея стала статья известного советского физика-теоретика, академика АН СССР И.Е. Тамма "Основные идеи Фарадея и их роль в развитии науки об электричестве", вышедшая в 1932 году в авторитетном научно-техническом журнале "Электричество" к 100-летию открытия М. Фарадеем закона электромагнитной индукции (ЭМИ) [2]. В 1965 году вышла в свет фундаментальная монография "Майкл Фарадей" известного английского историка науки Л. Вильямса [3], раскрывающая научные, социально-исторические, философские и религиозные предпосылки творчества М. Фарадея. Следует отметить и юбилейные статьи в журнале "Электричество" (августовский за 1991 год и апрельский за 1992 год номера) к 200-летию со дня рождения М. Фарадея известного российского ученого в области электротехники А.В. Нетушила [4] и российского историка науки и техники Я.А. Шнейберга [5], раскрывающие жизненный путь, мастерство экспериментального изучения физических законов и научную деятельность этого физика 19-го века, оставшегося навеки в анналах мировой науки. Научный образ талантливого физика-самородка М. Фарадея, являющегося одним из основоположников такого раздела физики как электромагнетизм, столь велик, что к нему, как мы видим, в разных странах обращалось не одно поколение физиков-теоретиков, электротехников и историков-популяризаторов науки (техники). Пришло время и украинским электротехникам и электрофизикам откликнуться на столь редкий и яркий в человеческом обществе пример безграничной любви к науке об электричестве и твердого стремления к познанию истины, продемонстрированный для благодарных потомков величайшим исследователем физических процессов М. Фарадеем. Автору – электрофизику хочется надеяться, что предлагаемый им ниже краткий научно-исторический очерк о великом ученом и человеке М. Фарадее будет способствовать определенному положительному воспитанию и формированию широко-

го объективного мировоззрения у молодого поколения исследователей и специалистов нашей державы, посвятившего себя делу служения науке и технике.

Родился Майкл Фарадей 22 сентября 1791 года в предместье англійского г. Лондона в простой семье рабочего-кузнеца [6]. После окончания начальной школы он с 13 лет стал работать учеником в переплетной мастерской одной из лондонских типографий. Тяга к знаниям подталкивала и заставляла его интересоваться содержанием материала книг, которые он переплетал. В эти юношеские годы он особенно любил разделы "Британской энциклопедии", посвященные физике и химии. Став взрослее, Майкл по вечерам стал посещать лекции в Британском Королевском институте, проводимые известным английским химиком и физиком Гемфри Дэви, оказавшим в целом положительную роль в судьбе М. Фарадея [3, 7]. С тех пор он стал мечтать о работе у него в любой должности. Так в напряженной физической работе переплетчика и учебно-научном самообразовании прошло для молодого Майкла восемь лет его жизни.



Рис.1. Майкл Фарадей (1791–1867 гг.) в период открытия им фундаментального закона электромагнитной индукции

В декабре 1812 года (в год Отечественной войны России против французского нашествия) 21-летний Майкл написал Г. Дэви письмо, в котором сообщал о своем твердом желании заняться научной работой в его лаборатории, входившей в состав Британского Королевского института (организован в 1800 году). К данному письму он приложил конспект прослушанных им лекций Г. Дэви, облеченный в собственноручный твердый переплет. Получив это письмо, Г. Дэви оказался в нерешительности. Для принятия решения он обратился к своему институтскому коллеге доктору Пипису, который посоветовал ему следующее [8]: *"Вели этому Фарадею мыть бутылки. Если он согласится, то из него будет толк. Если же нет, то он ни к чему не годен"*. Майкл на данное предложение научного мэтра Г. Дэви согласился. После чего в 1813 году молодой М. Фарадей был им взят на должность личного секретаря. Следует указать, что к этому времени Г. Дэви не мог временно ни читать, ни писать. Причиной тому явилось то, что во время одного из опытов он из-за взрыва в своей лаборатории химических реактивов поранил глаза. Сразу после выздоровления своего научного "патрона" и появления вакансии М. Фарадей был переведен на должность лаборанта, а затем вскоре и ассистента. С этого времени для него появилась возможность непосредственного проведения, хотя вначале и под прямым руководством профессора Г. Дэви, физических исследований. Рассмотрим ниже вкратце основные этапы и важнейшие результаты многолетних экспериментальных исследований М. Фарадея по электричеству и магнетизму.

1. ПЕРВЫЕ ШАГИ ФАРАДЕЯ В НАУКЕ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ

Вначале остановимся на важной научной предистории исследований М. Фарадея в области электричества. В феврале 1820 года известным датским физиком Хансом Эрстедом было сделано выдающееся научное открытие, связанное с установлением магнитных свойств у постоянного электрического тока [9]. Надо отметить, что перед этим открытием он достаточно долго исследовал связь электричества с другими физическими явлениями: солнечным светом, теплотой и звуком. Но никак не давалась связь электричества с магнетизмом. Ему казалось, что эти два явления существуют отдельно друг от друга и сами по себе. Историками науки был зафиксирован тот факт, что Х. Эрстед в этот временной период постоянно носил с собой магнит – напоминание о давно поставленной перед собой сложной научной задаче. Так в поисках истины проходили годы, а усилия по разгадке этой непростой задачи природы были тщетны. И вот однажды эта задача им была решена практически за один день. Как часто бывает в науке, этому открытию помог его Величество Случай. Во время проведения 15 февраля 1820 года профессором Х. Эрстедом лекции студентам Копенгагенского университета на тему о связи электричества с теплотой проводилась демонстрация нагрева металлической проволоки из-за действия на нее протекающего по ней постоянного электрического тока. Сейчас нам с наших научных вершин хорошо известны многие физические приборы (например, электроутюги, электроплитки, элек-

тронагреватели воды и др.), использующие тепловое действие тока. Тогда же (еще до открытия в 1843 году английским физиком Джеймсом Джоулем и российским электрофизиком Эмилием Ленцем *"закона о выделении тепла гальваническим током"* [7]) такие физические опыты у их зрителей вызывали восторженное любопытство и восхищение. В процессе указанного опыта один из студентов обратил внимание на поведение магнитной стрелки оказавшегося у него в руках компаса (история мировой физики умалчивает имя студента и обстоятельства того, как у него оказался этот компас, не имевший никакого отношения к теме лекции). Этот студент с изумлением поведал присутствующим в аудитории об отклонении стрелки его компаса при протекании электрического тока по подопытной проволоке. Данная информация для Х. Эрстеда оказалась важным недостающим звеном в его размышлениях о связи электричества и магнетизма. Из последовавшей вскоре печатной научной брошюры Х. Эрстеда на тему *"Опыты, относящиеся к действию электрического конфликта на магнитную стрелку"* (датирована она 21 июля 1820 года) весь мир и узнал о том, что электрический ток "рождает" магнитное поле [9]. В данной работе Х. Эрстед пишет [9]: *"Из сделанных наблюдений можно заключить, что этот конфликт образует вихрь вокруг проволоки с током"*. Другими словами этот вывод Х. Эрстеда можно сформулировать и так: магнитные силовые линии окружают проводник с электрическим током. В этом ряду событий, связанных с обнаружением магнитных свойств у металлических проводников с электрическим током, следует назвать и полученные 15 сентября 1820 года французским физиком Франсуа Араго (после указанных исследований Х. Эрстеда) опытные данные, заключающиеся в том, что металлическая проволока с током притягивает к себе железные опилки [9]. Ф. Араго в это время было также установлено, что стальные иголки, расположенные под прямым углом к проволоке с током, намагничиваются. Кроме того, 30 октября 1820 года французскими учеными Био и Саваром был экспериментально установлен закон действия электрического тока на магнитный полюс (закон Био – Савара, облеченный их соотечественником Пьером Лапласом в математическую форму элементарного взаимодействия между элементом контура тока и намагниченной точкой) [9]. Опытами Ф. Араго заинтересовался выдающийся французский физик Андре Ампер. Во время посещения лаборатории Ф. Араго и демонстрации им намагничивания стальных иголок с помощью протекающего по металлической проволоке постоянного электрического тока А. Ампер предложил для увеличения намагничивающего действия проволоки на указанные иголки свернуть прямолинейную проволоку в цилиндрическую спираль. При этом стальные иголки он посоветовал разместить внутри такой спирали вдоль ее продольной оси. Проведенный в дальнейшем их совместный опыт подтвердил, что в этом случае иголки намагничиваются сильнее, чем раньше без использования спирали. Ими было установлено, что у самой спирали с током как у стального магнита обнаруживается северный и южный полюсы. Так в научном мире был изобретен *первый соленоид* – многовитко-

вая цилиндрическая катушка с протекающим по ней электрическим током. Следует подчеркнуть, что данный соленоид оказался и первым искусственно созданным электромагнитом, имевшим в дальнейших исследованиях другими физиками (в том числе и М. Фарадеем) электричества и магнетизма важнейшее значение. Физическое сходство такого соленоида, имеющего большое число витков с электрическим током, с магнитом подтолкнуло великого французского физика А. Ампера к высказанной им гениальной гипотезе [8, 9]: "*Возможно, в стальном магните существует большое число замкнутых микроконтуров с током*". В настоящее время эта гипотеза великого ученого-физика А. Ампера обоснована как теоретически, так и подтверждена экспериментально [10].

Вот в такой активной внешней электрофизической обстановке молодой и начинающий научную карьеру М. Фарадей после указанного выше открытия Х. Эрстеда приступил с октября 1820 года к самостоятельному проведению соответствующих электромагнитных исследований. Так гениальный самоучка М. Фарадей вступил на тернистый научный "путь" в области электричества, приведший его к бессмертию. Здесь требуется отметить, что это ошеломляющее открытие крайне взволновало многих ученых Британского Королевского института. Начал М. Фарадей в области электричества с того, что тщательно изучил по публикациям имеющийся в мире материал по электрическим и магнитным явлениям. На основе выполненного обзора опубликовал статью "*Опыт истории электромагнетизма*" [9]. Далее в декабре 1821 года М. Фарадей публикует результаты своих экспериментов с первой в мире моделью электродвигателя [9]. Публикации Х. Эрстеда подсказали ему идею о наличии вращения магнитного поля вокруг проводника с электрическим током. На основе этой идеи он с помощью подвижного ртутного контакта и осуществил в данной модели электродвигателя непрерывное вращение одного из полюсов стального магнита вокруг прямолинейного проводника с током [8,9]. Согласно его рисунку в рабочем блокноте этот прообраз электродвигателя мало напоминает нам привычный современный электромотор. Но именно с этой модели электродвигателя М. Фарадея и начинается мировая история электромашиностроения. Тогда же в 1822 году целеустремленный М. Фарадей и записал в своем блокноте новую для себя научную задачу [9]: "*Превратить магнетизм в электричество*". После указанной выше публикации ему пришлось выдержать научный спор с институтским коллегой Уолластоном за приоритет своей разработки, направленной на создание рабочей модели электродвигателя [8]. К этому необходимо добавить и то, что А. Ампер после своей публикации в 1823 году научного материала, связанного тоже с моделью электродвигателя, аналогичной по конструкции предложенной М. Фарадеем в 1821 году, также претендовал на данное электротехническое изобретение [8]. Тем не менее, в мировой истории электротехники приоритет в создании *первого электродвигателя* остался таки за М. Фарадеем [9].

2. ОТКРЫТИЕ ФАРАДЕЕМ ЯВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

В 1824 году возмужавший, подающий большие надежды и ставший благодаря своим экспериментальным работам в области химии и электричества известным в научных кругах М. Фарадей был избран в члены Лондонского Королевского общества (Академии наук Англии), а в 1825 году он сменил Г. Дэви на посту директора научных лабораторий Британского Королевского института [6]. В 1827 году он становится профессором химии в этом же институте. В сознании М. Фарадея часто "всплывает" давно сформулированная им задача по превращению магнетизма в электричество. В эти годы он продельывает множество физических опытов. Педантично ведет записи по исследуемым электрическим схемам и полученным опытным результатам. Каждому опыту он посвящает параграф в своих записях в рабочем журнале. С ноября 1831 года М. Фарадей начинает систематическую публикацию своих исследований по электричеству, составивших его основной трехтомный научный труд под общим названием "*Экспериментальные исследования по электричеству*" [9, 11–13, 14]. В бывшем СССР этот многолетний итоговый научный труд М. Фарадея, разбитый и сгруппированный автором по сериям, был переведен и издан лишь в середине 20-го столетия [11–13]. М. Фарадей в ходе этих электромагнитных исследований проявляет колоссальную работоспособность. Об этом может свидетельствовать хотя бы тот факт, что в этом издании последний параграф (опыт) помечен за номером №16041 [8,11–13]. Характерной особенностью этого научного труда М. Фарадея является то, что в нем автор практически не пользуется математическим аппаратом. Несмотря на это, он полон новых физических идей, а постановка задач, анализ и обобщение результатов проведенных им физических экспериментов при отсутствии формул отличаются глубоким рассмотрением вопросов электромагнетизма [8, 9]. Одержимость, экспериментальное мастерство и научная смелость, проявленные М. Фарадеем в ходе этих опытов, в конце концов, дали свой положительный результат. Спустя почти 11 лет, после упомянутых пионерских опытов Х. Эрстеда, 29 августа 1831 года М. Фарадей путем быстрого вдвигания магнитного сердечника внутрь многовитковой катушки – соленоида добивается фиксации с помощью гальванометра в этот момент времени в электрической цепи катушки броска тока [6, 9]. Так путем относительного движения проводника катушки и постоянного магнита, обеспечивающего пространственно-временное изменение магнитного поля (тока) внутри катушки, в ее цепи был впервые в мире получен электрический ток! Индукционное действие обыкновенных магнитов, приводящее к появлению тока в электрической цепи, М. Фарадей назвал магнитом – электрической индукцией [9]. Интересным историческим фактом при проведении этих экспериментов было то, что М. Фарадей проводил их в лаборатории Британского Королевского института совместно с ассистентом, расположенным вместе с гальванометром в соседней комнате. Регистрация тока в цепи катушки ими проводилась одновременно с вдвиганием указанного сердечника в катушку. Для полноты науч-

ной "картины" тех лет требуется заметить, что одновременно с М. Фарадеем примерно такие же физические опыты по индукции во Франции проводил и А. Ампер [8, 9]. Однако последний свои опыты проводил в одиночку: он сначала вдвигал магнитный сердечник в катушку, а затем шел в соседнюю комнату и смотрел на гальванометр с целью обнаружения в цепи катушки электрического тока (размещение измерительного прибора в соседней комнате, по мнению этих физиков, было необходимо для уменьшения погрешности измерения тока). Так как данный ток миллисекундного временного диапазона возникал лишь во время изменения магнитного поля во внутренней воздушной полости катушки, то к приходу А. Ампера в соседнюю комнату с гальванометром его стрелка успевала возвращаться в исходное нулевое положение. Поэтому А. Ампер никакого электромагнитного эффекта в проводимом им важном опыте и не обнаружил. Открытие электромагнитной индукции, как говорят, "носило в воздухе". Всемирная история науки показывает нам, что в природе, видимо, действует закон "созревания открытий": приходит время, когда открытие должно быть сделано, так как оно созрело [9]. У автора создается впечатление, что природа открыла одну из своих электромагнитных тайн хотела только М. Фарадею! На рис. 1 М. Фарадей как раз и запечатлен в эти годы его научного подъема и апофеоза (от греч. слова "*apothēōsis*" – "*возвеличение кого-либо*" [15]). Осенью 1831 года сообщение М. Фарадея об открытии им явления ЭМИ было опубликовано в авторитетном журнале Лондонского Королевского общества [6]. После этой публикации многие известные физики мира (например, А. Ампер и Джоузеф Генри, работавший в США) с глубокой досадой осознали, что они также в своих опытах по магнитному действию токов независимо от М. Фарадея наблюдали явление ЭМИ [9]. Однако их публикации об этом крупнейшем научном открытии запоздали. Поэтому приоритет и слава *великого открытия электромагнитной индукции* по праву принадлежат М. Фарадею.

24 ноября 1831 года М. Фарадей провел новые опыты по индукции электрических токов с помощью двух изолированных друг от друга обмоток, намотанных на деревянный цилиндр [9]. Одна из них была соединена с гальванической батареей, а другая – с гальванометром. При замыкании и размыкании тока в первой обмотке стрелка гальванометра во второй обмотке отклонялась. Причем, при замыкании тока – в одну сторону, а при его размыкании – в противоположную. Действие одной электрической цепи с током на другую М. Фарадей назвал вольта – электрической индукцией [9]. М. Фарадей предположил, что эта индукция должна усиливаться, если внутрь обмоток поместить железный сердечник. Применяв железное кольцо (тор), на которое были намотаны две изолированные друг от друга и от сердечника обмотки (первичная с источником тока и вторичная с гальванометром), он экспериментально подтвердил усиление явления ЭМИ [6, 9]. Заметим, что в данных опытах *кольцо Фарадея* с двумя электрическими обмотками было *первой* в мире *моделью трансформатора*.

Отметим, что в современной терминологии названные М. Фарадеем два вида индукции имеют одно

название – "*электромагнитная индукция*". М. Фарадей в открытой им электромагнитной индукции показал, что такой новый вид индукции является динамическим процессом. Справочно отметим, что до его работ в области электричества в физике была известна лишь "*электростатическая индукция*" (открыта английским физиком Стивеном Грэйом в 1729 году [16]), связанная с наведением в физическом теле на его противоположных поверхностях электрических зарядов противоположной полярности из-за действия на него заряда, расположенного через изоляцию вблизи этого тела. М. Фарадей установил, что только в динамике взаимодействия постоянного магнитного поля неподвижного стального магнита с электрическими зарядами движущихся металлических проводников или неподвижных металлических проводников с изменяющимся во времени внешним магнитным полем магнита возможно получение в проводниках индукционного электрического тока. Он прекрасно понимал, что этот ток является по существу динамическим процессом, связанным с направленным движением электрических зарядов. Он считал, что работа, затраченная на перемещение внутрь катушки магнитного поля стального магнита или на перемещение металлического проводника в постоянном магнитном поле магнита, и создает электрический ток в проводнике. Причем, данный ток также несет с собой определенную электромагнитную энергию или "силу" в его обозначении [11–13]. Следует заметить, что после открытия М. Фарадеем явления ЭМИ и после возрождения в России в ее Академии наук физического кабинета в 1832 году ее будущим академиком-электрофизиком Эмилием Ленцем были проведены важные экспериментальные исследования, существенно продвинувшие вперед изучение этого электрофизического явления [17]. М. Фарадей за короткое время весьма подробно изучил новое явление и опытным путем установил основной закон электромагнитной индукции: электродвижущая сила (ЭДС) индукции $e_{\text{инд}}$ в проводнике возникает при изменении магнитного потока Φ , охватываемого этим проводником с индукционным (вторичным) током (например, при замыкании первичного или возбуждающего тока, размыкании первичного тока, изменении во времени t первичного тока, приближении к проводнику или удалении от него постоянного магнита) [6, 9]. Позже соотечественник М. Фарадея английский физик Д. Максвелл, разработавший новую теорию электромагнетизма [7, 18], выразил величину $e_{\text{инд}}$ в виде следующего известного математического соотношения: $e_{\text{инд}} = -d\Phi/dt$. Долгожданная цель превращения магнетизма в электричество М. Фарадеем была достигнута! Однако в дальнейшем глубинный физический микромеханизм, лежащий в основе открытого им явления ЭМИ и появления индукционного напряжения (тока) в проводнике, занимал воображение М. Фарадея в течение всей его продолжительной активной научной работы [9, 14]. Физического объяснения этого механизма ЭМИ он для себя так и не получил. На этот самый сложный вопрос пока нет ясного ответа и у современных физиков. Открытие закона ЭМИ имело тогда и имеет сейчас колоссальное воздействие на

мировую физическую науку и техническую сферу. По мнению автора, именно с открытия М. Фарадеем явления электромагнитной индукции берет свое начало и развитие такой самостоятельной отрасли науки как электротехника. Благодаря этому явлению в нашей земной цивилизации была начата новая эпоха – эпоха электричества!

Через короткое время после открытия явления ЭМИ М. Фарадей в Британском Королевском институте в конце 1831 года построил действующую модель *первого* в мире *электрогенератора*. Причем, наиболее сложного и на сегодня по своему принципу действия – униполярного генератора, основанного на круговом движении металлического проводника вокруг одного из полюсов стального магнита с постоянным магнитным полем. Позже эта конструкция электрогенератора М. Фарадеем была усовершенствована и в ней вместо обыкновенного магнита появился уже электромагнит. На рис.2 приведен внешний вид такой уникальной модели электрогенератора того далекого для нас времени (так называемого *диска Фарадея*). Из приведенного рис. 2 видно, что в данном электрогенераторе (униполярной динамо-машине) между жестко закрепленными полюсами электромагнита в вертикальной плоскости на оси вращался медный диск.

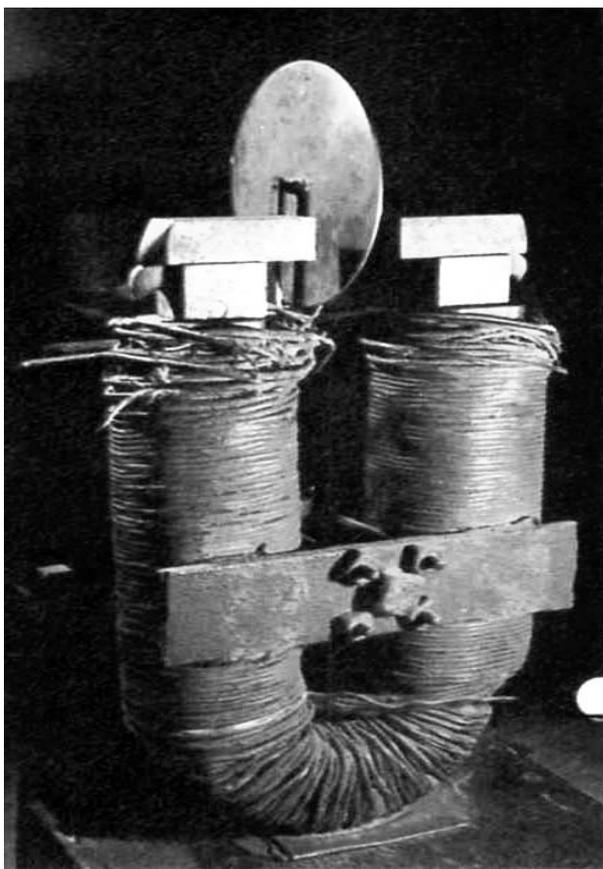


Рис. 2. Униполярная дисковая динамо-машина М. Фарадея, в которой электричество индуцировалось во вращающемся между полюсами электромагнита медном диске (внешний вид уникального исторического образца знаменитого диска Фарадея – первого в мире электрогенератора) [9]

Скользящие контакты у периферии и центра этого диска отводили генерируемый при круговом вращении диска радиальный постоянный электрический

ток к цепи, содержащей гальванометр [9]. После создания и исследования работы этой униполярной дисковой динамо-машины М. Фарадей в своем лабораторном дневнике записал [9]: "Этим было показано, что можно создать постоянный ток электричества при помощи обыкновенных магнитов". Электрогенератор, предложенный М. Фарадеем, был хорош как демонстрационная модель, но был неудобен для практического применения в электротехнике. Исторически следующим шагом в развитии электрогенераторов были разработки Пикси (1832 год) и Риччи (1833 год) [8, 9]. В электромашине Риччи был уже введен коллектор и применен магнит с токовой обмоткой – электромагнит. Новым этапом в развитии электромашин стало изобретение А. Пачинотти и З. Граммом кольцевого якоря (1870 год [9, 17]). Затем в 1872 году последовало изобретение Ф. Гефнер-Альтенеком барабанного якоря электрической машины. Это, в конечном счете, и привело машину-генератор к ее практически современному виду. Что касается электродвигателя, то его первую практическую модель с круговым вращением якоря в 1838 году создал известный российский электротехник Б.С. Якоби [8, 9]. Важнейшим прогрессивным шагом в развитии электромашин стало изобретение в Германии (1889 год) талантливым российским эмигрантом-электротехником Михаилом Осиповичем Доливо-Добровольским трехфазного асинхронного двигателя переменного тока, содержащего распределенную по статору обмотку и короткозамкнутую обмотку якоря (ротора) [7, 9]. Этот тип электродвигателя и поныне является основной частью широкого промышленного парка современных станков, транспортных средств и прокатных станов. Электрические машины, по мнению автора, оказались наиболее устойчивой и прочной "технической крепостью" в человеческом обществе. Вот уже более 100 лет как их конструкция в мире практически не изменяется: в каждой электромашине есть подвижные (неподвижные) магниты (электромагниты), мимо которых круговым образом быстро проносятся неподвижные (подвижные) металлические проводники обмоток с электрическим током. Подчеркнем здесь одну важную мысль по предмету нашего научного повествования: все электрические машины являются ветвями одного мощного "электромагнитного дерева", посаженного в свое время на научно-технической ниве великим английским физиком Майклом Фарадеем.

М. Фарадей, обладавший поразительной интуицией, вскоре после почти 11-ти летних напряженных поисков электромагнитной индукции и ее открытия смог прийти к гениальной идее "*электромагнитных волн*" (открыты выдающимся немецким электрофизиком Генрихом Герцем в 1888 году [19]) [7, 9]. Считая эту идею чрезвычайно важной, он для утверждения в ней своего приоритета в 1832 году оставил для хранения в архиве Лондонского Королевского общества для своих потомков запечатанный конверт с надписью "*Новые воззрения, подлежащие в настоящее время хранению в архивах Королевского общества*" [7, 20]. Через 106 лет в 1938 году этот конверт был найден и вскрыт учеными. На пожелтевшем листке, находившемся в конверте, содержались слова и научные мысли, потрясшие собравшихся английских уче-

ных. Оказалось, что М. Фарадей ясно представлял себе то, что "индуктивные явления распространяются в пространстве с некоторой скоростью в виде волн". М. Фарадей на этом листке 12 марта 1832 года написал следующее [21]: "Я пришел к заключению, что на распространение магнитного воздействия требуется время, которое, очевидно, окажется весьма незначительным. Я полагаю также, что электрическая индукция распространяется точно таким же образом. Я полагаю, что распространение магнитных сил от магнитного полюса похоже на колебания взволнованной водной поверхности. По аналогии я считаю возможным применить теорию колебаний к распространению электрической индукции. В настоящее время, насколько мне известно, никто из ученых, кроме меня, не имеет подобных взглядов". Исторический ход развития мировой физики по прошествии многих лет полностью подтвердил эти пророческие мысли гениального М. Фарадея. В 1864 году независимо от М. Фарадея из-под пера 33-х летнего английского физика-теоретика Д. Максвелла впервые появились слова "электромагнитные волны" (он просто не знал о существовании вышеуказанной записки М. Фарадея от 1832 года) [18]. Создав новую теорию электромагнетизма – теорию электромагнитного поля и изложив ее в законченном виде в своем знаменитом двухтомном научном труде "Трактат об электричестве и магнетизме" [9, 25], Д. Максвелл понял, что электромагнитное поле в материальном пространстве распространяется в виде "поперечных электромагнитных волн". Теория электромагнитного поля великого английского физика Д. Максвелла продемонстрировала полный триумф экспериментально подтвержденных и чисто интуитивных без строго доказательства физических идей М. Фарадея, касающихся электромагнетизма. По весьма меткому и образному выражению знаменитого американского физика Роберта Миллика (лауреата Нобелевской премии по физике 1923 года за определение в 1917 году элементарного заряда электрона) "Максвелл облек плембейски обнаженные представления Фарадея в аристократические одежды математики" [21].

3. УСТАНОВЛЕНИЕ ФАРАДЕЕМ ЕДИНСТВА ПРИРОДЫ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА И ВВЕДЕНИЕ ИМ НОВЫХ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПОНЯТИЙ

До экспериментальных исследований М. Фарадея в области электромагнетизма в физике было широко распространено представление о существовании в природе нескольких отдельных видов электричества – вольтово электричество, магнитоэлектричество, термоэлектричество и животное электричество [6, 9]. В своей печатной работе "Идентичность электричества, полученных из различных источников" М. Фарадей однозначно показал единую природу различающихся лишь своей полярностью (своим знаком – "плюсом" или "минусом") электричеств [9]. На основании своих многочисленных опытов он приходит к фундаментальному выводу [6, 9]: "Отдельные виды электричества тождественны по своей природе, каков бы ни был их источник". Он рассматривал указанные виды электричества во взаимосвязи как единое целое. Подчеркивая *единство электричества*,

им в физику в 1833 году были введены такие новые и устоявшиеся до сих пор фундаментальные понятия как "сила электрического тока" J , "электрическое напряжение" U и "количество электричества" Q [9]. При вводе в физический обиход этих электрических понятий он указал пути их определения и измерения. М. Фарадей большое внимание уделял терминологии в физике и химии. Он также ввел в физику такие и поныне используемые нами фундаментальные понятия как: "диэлектрик", "электрод", "силовое поле", "силовые линии" и "индукция" [9, 22]. Принципиально новым в его физических воззрениях было то, что он не использовал принятое до него понятие "магнитных корпускул", а ввел понятие "магнитного поля" – особой среды или пространства, в котором действует постоянный магнит (электромагнит) [9].

Требуется заметить, что в период научной деятельности М. Фарадея в мировой физической науке существовало две теории электромагнетизма: первая – теория "силовых линий (трубок)" Фарадея и вторая – теория, разработанная выдающимися французскими учеными Кулоном, Ампером, Био, Саваром, Араго и Лапласом [7, 9]. Во второй теории исходной точкой являлось представление о "дальнодействии" – мгновенном действии на расстоянии одного физического тела на другое без промежуточной среды. Электромагнитные воззрения М. Фарадея в корне расходились с такими представлениями ученых французской физической школы. М. Фарадей был убежден в том, что "материя не может действовать там, где ее нет" [9, 21]. Для среды, через которую передается воздействие от одного физического тела к другому, М. Фарадей впервые вводит новое понятие "поле" [11–13]. Установление М. Фарадеем новой фундаментальной идеи – идеи "поля" базировалось на тщательном изучении им электрических и магнитных свойств вещества. Это "поле", по его мнению, пронизано "магнитными и электрическими силовыми линиями" [11–13]. С учетом этого физического воззрения М. Фарадей предложил метод изображения магнитного (электрического) поля с помощью силовых линий [9]. Электрические и магнитные действия тел он рассматривал как результат распространения от точки к точке продольных и поперечных натяжений якобы физически существующих силовых линий поля [6, 9]. Несмотря на его такой достаточно примитивный подход, образ силовых линий поля прочно вошел в физику как весьма удобный и наглядный метод описания электромагнитных явлений. Он разработал экспериментальную методику исследования магнитного поля с помощью пробной катушки и гальванометра [9]. Странники концепции "мгновенного дальнодействия" не принимали всерьез этих новых и не подкрепленных теоретически физических построений М. Фарадея, хотя и восхищались результатами его экспериментальных исследований в области электромагнетизма. Он первым высказал идею о том, что все пространство вокруг магнита (электромагнита) заполнено силовыми линиями, плотность (густота) которых у полюсов магнита выше, чем в других местах этого пространства. Поэтому, на его взгляд, и сила притяжения предметов у полюсов магнита больше, чем в его иных местах. Заметим, что в настоящее время для

величины плотности этих силовых линий магнитного поля используется понятие "магнитной индукции" B . М. Фарадей считал силы притяжения магнита (электромагнита) следствием изменения свойств окружающего его пространства (магнитного поля) [9]. Эта революционная на тот этап развития науки физическая идея заложила основы будущей теории электромагнитного поля, разработанной позже через многие десятки лет выдающимися физиками мира Д. Максвеллом, Г. Герцем и Оливером Хевисайдом [7, 9, 23].

Следует указать и то, что М. Фарадеем в 1838 году в электромагнетизм было введено такое неустоявшееся к настоящему времени в физике новое понятие как "*электротоническое состояние*" [9, 24]. В популярной трактовке автора этого очерка данное понятие характеризовало, по мнению М. Фарадея, особое состояние проводника вторичной цепи, подвергающегося за счет магнитного поля индукционному воздействию со стороны проводника первичной цепи. По его мнению, именно изменение этого "электротонического состояния" и приводит к возникновению индуктированной ЭДС в проводнике вторичной цепи [11–13]. Это понятие оказалось ключевым моментом в генезисе (от греч. слова "*genesis*" – "*становление*" [15]) концепции М. Фарадея и Д. Максвелла, касающейся электромагнитного поля как особой физической среды [3, 9]. Рассматриваемое понятие (на взгляд автора, его, судя по всему, можно назвать и "электровозбужденным состоянием"), а точнее "*интенсивность электротонического состояния*", явились прообразом векторного потенциала \vec{A} в современной теории поля [3, 26]. Исследуя влияние магнитного поля на различные материалы, М. Фарадей в декабре 1845 года устанавливает их магнитные свойства и вводит при этом новые понятия "*диамагнетизм*" ("намагничивание материала на встречу внешнему магнитному полю" [15]) и "*парамагнетизм*" ("намагничивание материала в направлении, совпадающем с направлением внешнего магнитного поля" [15]) [9].

4. УСТАНОВЛЕНИЕ ФАРАДЕЕМ ВЗАИМОСВЯЗИ СВЕТОВЫХ И МАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ

Новым фундаментальным открытием М. Фарадея явилось обнаружение им одного из важных результатов воздействия внешнего постоянного магнитного поля на дневной (солнечный) свет [9, 22]. Его системный научный подход привел к учету влияния окружающей среды, в которой происходит электромагнитное взаимодействие света и указанного магнитного поля. Это позволило М. Фарадею в сентябре 1845 года в опытах с "тяжелым стеклом" установить вращение плоскости поляризации (плоскости, в которой расположен вектор напряженности электрического поля \vec{E} световой волны) поляризованного света при его распространении в том или ином веществе вдоль направления, параллельного магнитным силовым линиям внешнего поля (вектору напряженности воздействующего магнитного поля \vec{H}) [9, 10, 22]. Открытие вращения плоскости поляризации света в магнитном поле (*эффект Фарадея*), как и открытие "*явления электромагнитной индукции*", стало в физике событием исключительной важности. Оно впер-

вые продемонстрировало физическую связь оптических явлений с магнетизмом и соответственно с электромагнитными процессами в веществе. В [11–13] имеются данные о проведенных М. Фарадеем в 1859 году опытах, направленных на поиск результатов воздействия внешнего постоянного магнитного поля на свет в процессе его испускания физическим телом. Он рассматривал свет, электричество и магнетизм не как самостоятельные "субстанции", а как "субстанции", имеющие взаимную физическую связь. Он старался исследовать их взаимодействие через динамические состояния используемой в опытах среды [11–13]. Отсутствие на то далекое от нас время необходимых мощных источников магнитного поля и сверхчувствительных спектроскопических приборов не позволило М. Фарадею обнаружить соответствующий физический эффект в их взаимодействии. Данный эффект, связанный с изменением в магнитном поле частоты обращения связанных электронов в атомах вещества и соответственно спектров их светового излучения, был обнаружен значительно позднее (в 1896 году) известным голландским физиком Питером Зееманом (*нормальный эффект Зеемана*) [9, 10, 22].

5. ОТКРЫТИЕ ФАРАДЕЕМ ОСНОВНЫХ ЗАКОНОВ ЭЛЕКТРОХИМИИ

Экспериментальные исследования прохождения постоянного электрического тока через различные вещества позволили М. Фарадею в 1834 году открыть основной закон электролиза, поставивший электрохимию как науку на путь точного количественного анализа электрохимических процессов [9, 11–13]. Сжато этот закон он сформулировал следующим образом [9, 11]: "*Химическое действие электрического тока прямо пропорционально количеству проходящего через электролит электричества*". Библиографы этого ученого отмечают, что данному успеху М. Фарадея в установлении пропорциональности химических и электрохимических эквивалентов поспособствовал удачный выбор им для рассматриваемых опытов по электролизу ионов серебра Ag [8, 9]. М. Фарадеем было показано принципиальное различие физических механизмов прохождения электрического тока в твердых металлах и жидких электролитах. В электролитах, по его мнению, перенос электричества осуществляется электрически заряженными микрочастицами "*ионами*" (от греч. слова "*iōn*" – "*идуций*" [15]), а в металлах – иными частицами (свободными электронами, как было выяснено физиками позже [9]). Так дополнительно к примененному им новому понятию "*ион*" были введены им же и такие новые термины как "*анион*" (ион, оседающий на аноде) и "*катион*" (ион, оседающий на катоде) [9]. При этом им впервые было использовано понятие "*электрохимического эквивалента*" (этим термином М. Фарадей называл "*числа, соответствующие весовым количествам анионов и катионов, оседающим на аноде и катоде*" [9]), а также были введены в химико-физический обиход такие новые и поныне применяемые термины как: "*катод*", "*анод*", "*электролиз*" и "*электролит*" [9]. М. Фарадей открыл, что прохождение одинакового количества электричества Q через электролит сопровождается выделением на электро-

дах одного и того же числа грамм-эквивалентов любого химического вещества. Он показал, что один грамм-эквивалент вещества выделяется при прохождении через электролит количества электричества $Q = 96,5 \cdot 10^3$ Кл (*число Фарадея*) [6]. На основании этих электрохимических опытов он пришел к выводу о дискретности (порционности) электричества и существовании в природе элементарного электрического заряда [9]. Через многие десятилетия (в 1917 году после знаменитых опытов Р. Милликена) выяснилось, что таким элементарным зарядом является заряд электрона $e_0 = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл (данная микрочастица была открыта выдающимся английским физиком Джозефом Томсоном в 1897 году в высоковольтных газоразрядных трубках [7, 9]). Кроме того, им был предложен оригинальный метод определения количества протекшего по электролиту электричества Q по количеству жидкости, разложенной в ходе процесса электролиза. На основании таких электрохимических экспериментов М. Фарадеем в 1834 году было установлено, что электрический ток в гальваническом элементе (низковольтном источнике электропитания) обусловлен не контактной разностью потенциалов его двух разнородных металлических электродов, а электрохимическим процессом, протекающим как на их поверхностях, так и в веществе между ними [8, 9].

6. ЭКСПЕРИМЕНТЫ ФАРАДЕЯ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ДИЭЛЕКТРИКОВ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ В ГАЗАХ

В период 1835 – 1838 годов М. Фарадей провел экспериментальные исследования взаимодействия неподвижных зарядов в диэлектрической среде и пришел к объяснению поляризации в электрическом поле диэлектриков [6, 9, 12]. Ввел для количественной характеристики впервые примененного им термина "*диэлектрик*" число, которое назвал "*удельной индукцией*" (ныне его называют "*диэлектрической проницаемостью*") ϵ [9]). Эти исследования подводят М. Фарадея к мысли о существовании в природе роли окружающей среды в электромагнитных взаимодействиях. Эта роль, по его мнению, противоречит картине действия физических тел друг на друга на расстоянии, принятой сторонниками концепции "*мгновенного дальнего действия*". От опытов с диэлектриками он перешел в 1839 году к исследованию электрического разряда в газах [9, 12]. Он описал различные формы газового разряда при атмосферном давлении и в разряженном состоянии газовой среды между электродами. В стеклянных электроразрядных трубках с пониженным давлением газа он обнаружил темное пространство, разделяющее области свечения у катода и у анода. Эту область сейчас в электрофизике газового разряда называют "*фарадеевой*". Так М. Фарадей с весьма ограниченными на то время техническими возможностями в области проведения физических экспериментов (например, отсутствие мощных высоковольтных источников напряжения и тока) положил начало изучению электрических разрядов в газах, имеющих большое практическое значение для таких современных областей как высоковольтная импульсная техника, слабо- и сильноточная электроника.

7. ЭКСПЕРИМЕНТЫ ФАРАДЕЯ ПО СОЗДАНИЮ ИМПУЛЬСНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

М. Фарадей является одним из первых в мире электрофизиков, начавших создавать *слабые импульсные магнитные поля* (ИМП) с помощью указанного в разделе 1 простейшего электромагнита – соленоида [8, 9]. Для создания сильных ИМП в тот исторический период просто еще не было соответствующей мощной сильноточной электрофизической техники. При этом опытные результаты или факты формирования подобных полей внутри соленоидов, намотанных тонким круглым медным проводом в изоляции, фиксировались им путем применения размещенных в их рабочих воздушных объемах стальных иголок [8, 11–13]. При протекании импульсного электрического тока по цилиндрической спирали соленоида создаваемое в нем ИМП намагничивало стальные иголки, в которых появлялся северный и южный магнитные полюсы. Зная в этом случае какой конец иголок стал северным полюсом, М. Фарадей определял и направление протекания тока в соленоиде. По данному направлению он находил и полярность используемого в опытах электрического источника питания (обычно гальванической батареи, фрагмент которой того времени изображен на рис. 1, или иногда природного источника напряжения). Интересно, что однажды в качестве такого естественного живого и просто экзотического источника напряжения им был применен электрический угорь, способный создавать импульс электрического напряжения амплитудой до 500 В при силе импульсного электрического тока на низкоомной нагрузке до 500 А [8, 9]. Отметим, что другие представители морских глубин – гигантские электрические скаты могут создавать в импульсе на поверхности своего тела электрический потенциал до 50 В при амплитуде короткого импульса тока до 50 А [8]. 6 декабря 1838 года М. Фарадей доложил на заседании Лондонского Королевского общества о результатах своих экспериментальных исследований электрического угря, к которому он с помощью своего ассистента в водном аквариуме Британского Королевского института подключал два металлических игольчатых электрода, подсоединенных, в свою очередь, тонкими медными проводниками к указанному выше соленоиду [8, 9]. В ходе этих опытов им было выяснено, что электрические органы угря по принципу накопления энергии и своего действия напоминают электрический конденсатор, изобретенный еще в 1746 году голландским физиком Лейденского университета Мушенбреком в виде исторически так называемой знаменитой "лейденской банки" [7]. Эксперименты М. Фарадея с гальванической батареей или электрическим угрем, электрически подключенными к соленоиду, были первыми известными автору попытками физиков по использованию слабых ИМП для научно-исследовательских целей.

8. ЭКСПЕРИМЕНТЫ ФАРАДЕЯ ПО СЖИЖЕНИЮ ГАЗОВ

В данном очерке, несмотря на определенное отступление автора от электромагнитной тематики, нельзя хотя бы коротко не упомянуть работы М. Фарадея в области физики по *сжижению газов*. Он ока-

зался в ряду первых исследователей в области физики и техники низких температур. Его самоотверженные работы на несовершенной и порой просто опасной для здоровья исследователя аппаратуре по сжижению газов находятся у истоков научно-технического движения человечества к абсолютному нулю температуры. Используемые им в этих низкотемпературных опытах стеклянные сосуды, трубки и ртутные манометры часто взрывались, испаряя вредные для дыхания человека пары. Именно в этой серии своих экспериментальных физических исследований, по данным историков науки [8, 9], М. Фарадей серьезно ухудшил свое здоровье. Тем не менее, он сумел первым перевести в жидкое состояние некоторые известные на то время газы. Примененная им тогда физическая идея была довольно проста – для сжижения газов необходимо повышать давление в сосуде с газом и одновременно понижать его температуру. Таким техническим приемом он впервые ожил двуокись серы SO_2 , двуокись углерода CO_2 и аммиак NH_3 [8, 9]. После долгих попыток им в 1823 году был таки сжижен хлор Cl . В своих опытах он показал, что при технически возможных на то время давлениях до 50 атм. и отрицательных температурах до минус 160 °С ни кислород O_2 , ни водород H_2 , ни азот N_2 сжигать не удается [3, 9]. Справочно заметим, что, например, кислород O_2 был впервые сжижен лишь 2 декабря 1877 года (после смерти М. Фарадея) французским ученым Кальете. Для этого ему потребовалось давление в 320 атм. и температура в 140 градусов ниже 0 °С [8, 9]. Указанные выше экспериментальные работы М. Фарадея явились первыми важными вехами на научно-техническом пути человечества в "страну" вечного холода и конденсированного состояния вещества.

9. ОБЩЕЧЕЛОВЕЧЕСКИЕ КАЧЕСТВА ФАРАДЕЯ И ОБРАЗ ЕГО ЖИЗНИ

Современник М. Фарадея, основоположник теории классической электродинамики Д. Максвелл, называвший себя учеником М. Фарадея, о своем учителе в свое время написал [4, 9]: *"Нужно надеяться, что его благородная, простая и лишенная драматизма жизнь будет так же долго жить в памяти людей, как и обессмертившие его имя открытия. В нем не было жажды одобрения толпы, не было отклонений от любимой, поставленной перед ним цели – работать, заканчивать, публиковать"*. Другой современник М. Фарадея, французский химик Жан Дюма очень душевно и трогательно написал о нем следующее [4, 9]: *"Его сердечная простота, его искренность, его горячая любовь к истине, его товарищеский интерес ко всем успехам и его искреннее восхищение всеми открытиями других ученых, его природная скромность в отношении собственных открытий, благородство его души, независимой и смелой, – все это вместе придавало образу знаменитого физика несравненное очарование"*. Современные историки науки и техники не так давно пришли к заключению о том, что ранее распространенные у нас штампы о якобы больших трудностях в научной карьере и жизни М. Фарадея не соответствуют действительности. На

основе архивно-исторических данных о социальных и материально-экономических условиях работы М. Фарадея в Британском Королевском институте они считают, что эти условия были вполне благоприятные [3]. Кроме того, они заключают, что скромность образа жизни М. Фарадея была связана не с недостатком у него финансовых средств, а с его религиозными убеждениями. Несмотря на определенную демифологизацию в настоящее время биографии М. Фарадея, его личность как раньше, так и по прошествии вот уже не одного столетия по-прежнему притягивает и завораживает своим величием специалистов из физики, химии, электротехники, электромеханики и истории науки. По мнению автора, весьма поучительны и для нас следующие слова и мысли М. Фарадея [4, 9]: *"В науке только тот заслуживает презрения, кто не находится в постоянном процессе развития"*.

Поразительны были целеустремленность и научная требовательность М. Фарадея. Он говорил [4, 8]: *"Все люди склонны ошибаться"*. Эту мысль он часто любил повторять вслух. Поэтому в ходе научных экспериментальных исследований он неустанно проверял и перепроверял себя, своих помощников и коллег. Судя по дошедшему до нас научному наследию М. Фарадея, он добросовестно публиковал результаты всех своих экспериментальных исследований. При этом он не боялся и не стеснялся писать и о своих неудачах при выполнении тех или иных физических опытов. После неудач он упорно ставил новые опыты, проявлял блестящую техническую изобретательность и настойчиво добивался ожидаемых результатов в области физики и химии. Некоторые из таких опытных исследований продолжались им в течение многих лет к ряду (например, около 11-ти лет по обнаружению явления ЭМИ [9]). Он был, видимо, последним серьезным и авторитетным сторонником тщательного и подробного (буквального) описания исследований, характерных для ученых 18-го столетия. После введения в физику и химию абсолютной системы мер такое описание научных опытов потеряло свою актуальность. Здесь важно подчеркнуть то, что во всех своих исследованиях М. Фарадей руководствовался глубоко нравственными принципами, исключающими возможность выдачи желаемое за действительное. Его высоконравственные качества могут служить положительным примером для ученых разных стран, возрастов, поколений и отраслей науки. Историки науки и техники отмечают, что для М. Фарадея не существовало ничего, кроме науки (семьей он так и не обзавелся) [4, 8, 9]. Как и О. Хевисайд он был убежденным холостяком и всю свою жизнь провел в гордом одиночестве [9, 23]. Наука об электричестве и магнетизме была для него всепоглощающей страстью, которая забирала все его внимание и время. По мнению самого М. Фарадея занятия наукой были ему лучшей наградой в жизни [4, 8, 9]. Знакомясь с биографией и научными достижениями великого электрофизика М. Фарадея, приходишь к выводу о том, что этот гениальный от природы человек все свои научные знания и техническое мастерство приобрел исключительно за счет напряженного самообразования и самосовершенствования. Несмотря на данное обстоятельство, безусловно наложившее свой отпечаток на

его подходы к решаемым научным задачам и форме представления их экспериментальных решений, дошедшие до нас архивные и научные материалы свидетельствуют о его поразительной конкретности, простоте, ясности и физичности излагаемых им мыслей, а также о глубине проработки и обсуждения изучаемых им электрических и магнитных явлений [6, 8, 9, 11–13]. М. Фарадей является примером бескорыстного служения науке. О его признании в научном мире говорит то, что гениальный английский физик М. Фарадей был членом большого ряда всемирно известных научных обществ: Лондонского Королевского общества, Санкт-Петербургской (Российской), Парижской и более десятка других академий. Кроме того, в физике единице электрической емкости C в память об М. Фарадее и в честь его научных заслуг присвоено название **Фарада** (сокращенно **Ф**) [10]. Известный российский физик Столетов А.Г. в конце 19-го века, подчеркивая величие М. Фарадея как ученого, сказал о нем следующее [9, 14]: "*Никогда со времен Галилея свет не видал столько поразительных и разнообразных открытий, вышедших из одной головы*". Отмечая важную научную роль М. Фарадея в истории человечества, известный немецкий физик Г. Гельмгольц сказал [9,14]: "*До тех пор пока люди пользуются благами электричества, они всегда будут с благодарностью вспоминать имя Фарадея*". Изнурительный многолетний научный труд, в конце концов, окончательно подорвал его здоровье. Свой жизненный путь он закончил в доме для престарелых в Хэмптон-Корте (бывшем Королевском дворце, расположенном в предместье г. Лондона), организованном для знаменитых людей Англии. Скончался великий электрофизик М. Фарадей 25 августа 1867 года в возрасте 76-ти лет и был с большими почестями похоронен на Хайгетском кладбище г. Лондона (там же и могила выдающегося немецкого ученого в области общественных наук Карла Маркса).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Максвелл Д.К. Фарадей / В кн.: Максвелл Д.К. Статьи и речи. Пер. с англ. под ред. В.Ф. Миткевича.– М. – Л.: Гостехиздат, 1940. – 218 с.
2. Академик Игорь Евгеньевич Тамм / Сборник статей.– М.: Знание, 1982.– 336 с.
3. Лежнева О.А. На Фарадеевской конференции // Электричество.– 1992.– №4.– С. 63–65.
4. Нетушил А.В. Фарадей и проблемы современной электротехники // Электричество.– 1992.– №4.– С. 1–4.
5. Шнейберг Я.А. Научный подвиг Майкла Фарадея // Электричество.– 1991.– №8.– С. 67–69.
6. Выдающиеся физики мира. Рекомендательный указатель / Научн. ред. Б.Г. Кузнецов.– М.: Типография Б-ки им. В.И. Ленина, 1958. –436 с.
7. Баранов М.И. Избранные вопросы электрофизики: Монография. В 2-х томах. Том 1: Электрофизика и выдающиеся физики мира.– Харьков: Изд-во НТУ "ХПИ", 2008. – 252 с.
8. Карцев В.П. Новеллы о физике.– М.: Знание, 1969.–104 с.
9. Кудрявцев П.С. Курс истории физики.– М.: Просвещение, 1974.– 312 с.
10. Кузьмичев В.Е. Законы и формулы физики / Отв. ред. В.К. Тартаковский.– Киев: Наукова думка, 1989.– 864 с.
11. Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству. Том 1 / Пер. с англ. Е.А. Чернышевой и Я.Р. Шмидт-Чернышевой под ред. Т.П. Кравца.– М.: Изд-во АН СССР, 1947.– 848 с.

12. Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству. Том 2 / Пер. с англ. А.В. Яковлевой под ред. Т.П. Кравца.– М.: Изд-во АН СССР, 1951.– 538 с.
13. Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству. Том 3 / Пер. с англ. Е.А. Чернышевой и Я.Р. Шмидт-Чернышевой под ред. Т.П. Кравца.– М.: Изд-во АН СССР, 1959.– 646 с.
14. Боев В.М. К 175-летию опубликования первой серии "Экспериментальных исследований по электричеству" Майкла Фарадея // Электротехника і електромеханіка.– 2004.– №3.– С. 5–7.
15. Большой иллюстрированный словарь иностранных слов. – М.: Русские словари, 2004.– 958 с.
16. Крыжановский Л.Н. Электростатическая индукция и электрофор в опытах XVIII в. // Электричество.– 1992.– №4.– С. 60–62.
17. Баранов М.И. Эмилий Христианович Ленц – один из основоположников науки об электромагнетизме // Электротехника і електромеханіка.– 2006.– №3.– С.5–11.
18. Баранов М.И. Джеймс Клерк Максвелл и теория электромагнитного поля // Электротехника і електромеханіка.– 2005.– №1.– С. 5–7.
19. Баранов М.И. Генрих Рудольф Герц – первооткрыватель электромагнитных волн // Электротехника і електромеханіка.– 2006.– №1.– С. 5–11.
20. Карцев В.П. Максвелл / Серия: Жизнь замечательных людей.– М.: Молодая гвардия, 1976.–336 с.
21. Карцев В.П. Приключения великих уравнений.– М.: Знание, 1978.– 224 с.
22. Мигулин В.В. Фарадей и физика // Электричество.– 1992.– №4.– С. 5–6.
23. Баранов М.И. Оливер Хевисайд и его вклад в мировую сокровищницу науки // Электротехника і електромеханіка.– 2005.– №4.– С. 5–14.
24. Боев В.М., Грибская Е.А., Лавриненко О.В. "Электроотрицательное состояние" и закон электромагнитной индукции Фарадея // Электротехника і електромеханіка.– 2004.– №4.– С. 5–8.
25. Maxwell J.C. A Treatise on Electricity and Magnetism, Vol. I–II.– Oxford: Clarendon Press, 1873.– 1011 p.
26. Максвелл Д.К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля.– М.: Гослитиздат, 1954.– 687 с.

Поступила 29.09.2009

Баранов Михаил Иванович, д.т.н., с.н.с.
НИПКИ "Молния" Национального технического университета "Харьковский политехнический институт".
Украина, 61013, Харьков, ул. Шевченко, 47,
НИПКИ "Молния" НТУ "ХПИ".
Тел. (057) 707-68-41, e-mail: eft@kpi.kharkov.ua

M.I. Baranov

Michael Faraday and his scientific accomplishments in the face of humanity

A brief outline from the history of electricity is given on the main fundamental achievements of the great English physicist Michael Faraday in field of electromagnetism.

Key words – outline, electricity, magnetism, physical experiment, electromagnetic induction