

## ГЕНРИХ РУДОЛЬФ ГЕРЦ – ПЕРВООТКРЫВАТЕЛЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Баранов М.И., д.т.н.

НИПКИ "Молния" Национального технического университета  
"Харьковский политехнический институт"

Украина, 61013, Харьков, ул. Шевченко, 47, НИПКИ "Молния" НТУ "ХПИ"  
тел. (057) 707-68-41, факс (057) 707-61-33, E-mail: nipkimolniya@kpi.kharkov.ua

*Наведено короткий науково-історичний нарис, пов'язаний з відкриттям Герцем електромагнітних хвиль та триумфом теорії електромагнітного поля Максвелла.*

*Приведен краткий научно-исторический очерк, связанный с открытием Герцем электромагнитных волн и триумфом теории электромагнитного поля Максвелла.*

*К 150-летию со дня рождения выдающегося физика Генриха Рудольфа Герца посвящается.*

### НАЧАЛО КОРОТКОГО ПУТИ

Родился Генрих Рудольф Герц 22 февраля 1857 года в Германии в г. Гамбурге. Будущий великий ученый родился ослабленным и болезненным ребенком, что наложило свой негативный "отпечаток" на всю его непродолжительную, но яркую научными свершениями жизнь. Его отцом был адвокат, ставший впоследствии городским сенатором. Мать Генриха Герца была домохозяйкой, образованной и незаурядной женщиной [1]. В то время, когда выдающийся английский физик Джеймс Клерк Максвелл на основе физических идей и нового физического мировоззрения великого английского ученого Майкла Фарадея, обладавшего гениальной интуицией, создавал свою теорию электромагнитного поля [2], будущий выдающийся электрофизик, электро- и радиотехник Г. Герц только посещал начальные классы гимназии. Учился он блестяще и в противоположность Д.К. Максвеллу ему нравились практически все школьные предметы – в равной степени, как физика, так и иностранные языки. Юношей он любил сочинять стихи и увлеченно работать на токарном станке, вытачивая различные деревянные фигуры. За что бы не брался он в этот период, все у него получалось и получалось хорошо. Значительно позже, когда Г. Герц уже стал знаменитым ученым, его мастер-наставник по токарному делу своим знакомым однажды заметил: "...Жаль. Из Г. Герца мог бы получиться отличный токарь" [3]. По окончании гимназии Г. Герц, решив стать инженером, в 1875 году поступает учиться сначала в Дрезденскую, а затем в Мюнхенскую Высшие технические школы. Когда в последней пришло время изучать специальные инженерные дисциплины, он резко меняет свои учебные намерения и планы и с благословения своих мудрых родителей встает на трудный путь ученого-физика. В 1877 году Г. Герц оставляет Мюнхенскую Высшую техническую школу и поступает на физический факультет Берлинского университета. С этого времени его жизненным девизом становится известное двустишие великого немецкого поэта И.Х.Ф. Шиллера: "...Кто

трусит жизнью рисковать, тому успеха в ней не знать!" [1, 3]. Здесь он попадает в прекрасные "руки" – его научным руководителем становится видный немецкий физик Герман Людвиг Гельмгольц [4], автор и до сих пор с успехом используемой в физике, технике сильных магнитных и электрических полей и электротехнике магнитной системы с однородным полем, получившей название "кольцо Гельмгольца" [5].



*Генрих Рудольф Герц (1857–1894)*

Под покровительством этого маститого ученого, создавшего известную в мире немецкую физическую школу и выстроившего в г. Берлине в 70-х годах XIX столетия мощный физический институт, прошла практически вся короткая научная жизнь Г. Герца. В эти годы в объединенной Германии Вернер Сименс интенсивно работал в области электротехники сильных переменных токов, он был организатором крупнейших немецких электротехнических фирм (например, "Сименс и Гальске"; "Сименс и Шункерт") и приходился родственником Г.Л. Гельмгольцу. Вот в

эту среду лидеров немецкой науки и электротехники неожиданно "вошел" молодой и полный творческих планов Г. Герц. Под влиянием Г.Л. Гельмгольца формировались научно-технические взгляды Г. Герца. Следует обратить внимание читателя на то, что Г.Л. Гельмгольц оказался первым из известных европейских (континентальных) ученых, обратившим пристальное внимание на новую теорию электромагнетизма – теорию электромагнитного поля Д.К. Максвелла и оценившим ее сильные стороны, многогранность и универсальность. В то же время Г.Л. Гельмгольц из-за противоречивости своего научного мировоззрения, опиравшегося, в основном, на логические установки известного немецкого философа– идеалиста Э. Канта, не мог принять существование в электродинамике и соответственно в природе введенной еще М. Фарадеем в тридцатые годы XIX века "*промежуточной среды– поля*" и оставался сторонником консервативной концепции "*дальнодействия*" при электромагнитном взаимодействии физических тел [2]. Заметим, что согласно классической концепции "*дальнодействия*" электрическое действие одного физического тела на другое происходит мгновенно без какой-либо "*промежуточной среды*".

Из истории физики и электродинамики известно, что первый мощный "удар" по концепции "*дальнодействия*" нанес знаменитый немецкий математик и физик К.Ф. Гаусс, выдвинувший идею конечной скорости распространения электромагнитного взаимодействия физических тел [1]. Одним из самых важных результатов появившейся в 1873 году в завершеном виде и еще не общепризнанной к 1886 году "максвелловской" теории электромагнитного поля явилась вытекающая из нее формула для скорости  $v$  распространения электромагнитной волны в среде, имеющая следующий вид [1, 5]:  $v = c / \sqrt{\epsilon \cdot \mu}$ , где  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с – скорость света в вакууме;  $\epsilon, \mu$  – соответственно относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости среды. Из приведенного соотношения для скорости  $v$  следует, что электромагнитные волны в веществе распространяются со скоростью, зависящей от значений  $\epsilon$  и  $\mu$  среды, в которой происходит их распространение. Общеизвестно, что для пустоты (вакуума) и воздуха  $\epsilon = \mu = 1$ . Поэтому для этих сплошных сред согласно теории Д.К. Максвелла скорость  $v$  распространения электромагнитной волны становится равной скорости света  $c$ . Данный вывод при его экспериментальном подтверждении мог стать тем последним решающим "ударом", выдержать который европейская консервативная физическая школа, базирующаяся на представлении о "*дальнодействии*", была бы не в состоянии.

#### ПЕРВЫЕ ШАГИ В НАУЧНОЙ КАРЬЕРЕ

Попав в Берлинский университет, Г. Герц через участие в конкурсных научных студенческих работах начинает активно работать в его физической лаборатории. Эти научные работы Г. Герца следует рассматривать как определенные этапы процесса формирования его как научного исследователя и ученого. Пер-

вой самостоятельной научной работой Г. Герца в 1878 году стало исследование, связанное с определением верхней границы для кинетической энергии  $W_k$  электрического тока проводимости в металлическом проводнике [1, 3]. Заметим, что к этому моменту в физике еще не существовало правильного представления о природе электрического тока в металле, а электрон как элементарная частица еще не был открыт. Справочно отметим, что электрон был открыт лишь в 1897 году выдающимся английским физиком Джозефом Джоном Томсоном в ходе исследований по прохождению электричества через разряженные газы. Успех этой работы Г. Герца всецело зависел от точности измерений. В условиях данных опытов Г. Герца последняя определялась, прежде всего, чувствительностью гальванометра и исключением влияния температуры окружающей воздушной среды на используемые им электрические цепи в мосте Ч. Уитстона. Достигнув точности измерений до 1%, молодой Г. Герц в результате многочисленных экспериментов с различными модификациями объекта исследования, в конце концов, приходит к выводу, согласно которому кинетическая энергия электрического тока в  $1 \text{ мм}^3$  серебряного проводника с плотностью тока в "*1 электромагнитную единицу*" ( $1 \text{ А/мм}^2$ ) не превышает величины  $W_k = 2 \cdot 10^{-17}$  Дж [6]. С позиций сегодняшнего дня мы знаем, что электрический ток проводимости в металлах обусловлен потоком дрейфующих свободных электронов, которые действительно обладают конечной массой и, следовательно, кинетической энергией. Однако масса и кинетическая энергия электронов оказались значительно меньшими, чем мог себе представить в 1878 году начинающий научный работник Г. Герц или кто-нибудь из окружающих его "ученых мужей" – современников. В тех условиях, для которых приведен вышеуказанный численный результат применительно к энергии  $W_k$ , истинное значение искомой величины для  $W_k$  согласно современным данным оказалось в  $10^4$  раз меньше, чем полученное Г. Герцем [1]. Тем не менее, это первое экспериментальное исследование Г. Герца, к которому последний обращался с 1878 по 1881 годы не один раз с целью получения для  $W_k$  более точных конечных результатов, выявило его удивительные творческие способности и получило высокую оценку руководства физического факультета Берлинского университета, а денежная премия для рассматриваемой конкурсной студенческой работы – победителя была удвоена по сравнению с первоначально назначенной [1, 3].

В 1879 году Г. Герц активно берется за подготовку докторской диссертации на тему "Теоретическое исследование об индукции при вращении тел в магнитном поле", подводящей определенные итоги его университетскому образованию [1, 3]. В данной работе, посвященной электродинамике движущихся проводников, он ограничился рассмотрением электропроводящих сплошных и полых сфер, вращающихся в постоянном магнитном поле вокруг своих осей. Полученные формулы для скалярного и векторного магнитного потенциалов, а также скалярного

электрического потенциала и плотности тока в исследуемых металлических проводниках Г. Герц при помощи предельных переходов применил к расчету токов для известных частных случаев (например, в случае диска известного французского физика Д.Ф. Араго – бесконечного металлического диска, вращающегося в постоянном магнитном поле) и получил результаты, хорошо согласующиеся с известными как теоретическими, так и экспериментальными данными [7]. Оппоненты – экзаменаторы этой диссертации Г. Герца (известные немецкие ученые Г.Р. Кирхгоф, Э. Целлер, Э.Э. Куммер и Г.Л. Гельмгольц) были поражены той легкостью, с которой Г. Герц оперировал весьма сложными уравнениями электродинамики и специальными функциями. После блестящей защиты в 1879 году Г. Герцем указанной диссертации последний в 1880 году становится доктором философии, а его научный руководитель Г.Л. Гельмгольц называет своего одаренного ученика "*любимцем богов*" [1]. Поэтому можно считать, что именно в 1879 году (году смерти автора новой теории электромагнетизма – Д.К. Максвелла) Г. Герц становится сформировавшимся ученым-физиком. В 1880 году он с целью более быстрого получения научно-педагогической должности доцента переезжает из столичного г. Берлина в провинциальный г. Киль. На новом месте работы физической лаборатории практически не было и Г. Герц увлекается теоретическими исследованиями в области электрических и магнитных явлений. Он углубленно изучает полные нововведениями и новыми воззрениями научные труды М. Фарадея и Д.К. Максвелла по электромагнетизму. Именно во время пребывания в г. Киле Г. Герц корректирует систему электродинамических уравнений сторонника Г.Л. Гельмгольца и концепции "*дальнодействия*" – немецкого физика Ф. Неймана и получает в 1884 году свою систему уравнений, частным случаем которой являлись уравнения теории электромагнитного поля Д.К. Максвелла [8]. От полученного результата Г. Герц испытывает лишь разочарование: по его мнению, в случае, если теория электромагнитного поля английского физика Д.К. Максвелла универсальна, то все электродинамические теории известных немецких физиков (Г.Л. Гельмгольца, В.Э. Вебера и Ф. Неймана), считавшихся многие десятилетия непревзойденными мэтрами электродинамики, следует отправить на запыленные полки научно-исторического архива всемирной физики. К этому следует добавить то, что по свидетельству другого выдающегося немецкого физика-теоретика Макса Планка, открывшего миру "*квант действия*" [9], "*национальное чувство*" Г. Герца сильно мешало ему объективно оценивать научный вклад иностранных ученых в те или иные области человеческого познания [3].

Кстати, здесь следует особо подчеркнуть то, что тот компактный вид уравнений Д.К. Максвелла, которым и поныне пользуются во всем мире физики и электротехники [2, 5], многим "обязан" Г. Герцу и известному английскому электротехнику и физики Оливеру Хевисайду [9]. Это они своим титаническим трудом "расчистили" двенадцать уравнений Д.К. Максвелла из его "Трактата по электричеству и

магнетизму" [10], содержащего более одной тысячи страниц, и оставили из них лишь четыре уравнения – основные и самые важные [2]. Другие же электродинамические уравнения, представленные Д.К. Максвеллом в [10], могли быть выведены друг из друга, а некоторые вообще были лишними и не отражали фундаментальных законов природы. Историки науки и техники отмечают, что именно Г. Герц и О. Хевисайд превратили "*...неорганизованные формулы Д.К. Максвелла в стройную и непоколебимую до сих пор электрофизическую систему*" [1, 3]. В 1885 году Г. Герц переезжает в пределах Германии из г. Киле в г. Карлсруэ, где ему была предложена должность профессора в местной Высшей технической школе. Устроившись на новом месте, он возобновляет научные изыскания, в том числе по электричеству и магнетизму. Летом 1886 года двадцатидевятилетний Г. Герц женится на Елизавете Дооль – дочери своего коллеги. Это событие положительным образом повлияло на Генриха: тоска, нежелание работать сменяются невиданным творческим подъемом. Следует указать на то, что к этому времени у Г. Герца глубокие знания в области математики, физики, электротехники и электродинамики органично сочетались с уникальным экспериментальным талантом.

#### ОПЫТЫ ГЕРЦА ПО ВОЗБУЖДЕНИЮ И НАБЛЮДЕНИЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Г. Герц был любимым учеником Г.Л. Гельмгольца и поэтому именно ему последний поручил экспериментально проверить теоретические выводы Д.К. Максвелла, касающиеся новой электродинамики сплошных сред. Свои знаменитые опыты, неоднократно приведшие к открытию "*волн Герца*" или предсказанных Д.К. Максвеллом еще в 1864 году электромагнитных волн, Г. Герц начал в 1886 году, будучи профессором Высшей технической школы в г. Карлсруэ, а закончил их в 1888 году в г. Бонне, где был профессором экспериментальной физики местного университета. На взгляд автора, прежде чем приступить к описанию этих опытов, для пользы общего дела (как общеобразовательного, так и научного) целесообразно совершить небольшой научно-исторический экскурс по физике и определиться, хотя бы в общих чертах, с состоянием вопроса в области теории и практики электрических (электромагнитных) колебаний, касающегося того бурного и полного научными открытиями времени, непосредственно предшествовавшего этим экспериментам Г. Герца.

В этой связи следует отметить, что в 1842 году выдающийся американский электротехник и физик Джозеф Генри, повторяя опыты от 1826 года известного французского физика Феликса Савара, экспериментально установил, что при разряде предварительно заряженной "*лейденской банки*" – электрического конденсатора в разрядной электрической цепи возникают затухающие электрические колебания [9]. Вот как описал этот электрический процесс сам Д. Генри: "*...При разряде лейденской банки необходимо допустить существование главного разряда в одном направлении, а затем несколько отраженных действий назад и вперед, каждое из которых является более*

слабым, чем предыдущее, продолжающееся до тех пор, пока не наступит равновесие" [9]. Не безынтересно для читателя указать и то, что Д. Генри, как свидетельствуют архивные научно-исторические материалы, независимо от М. Фарадея открыл явление электромагнитной индукции [9]. Однако его научная публикация об этом открытии запоздала, и слава великого открытия по праву принадлежит М. Фарадею.

Кроме того, в 1853 году великий английский физик Уильям Томсон (Кельвин) теоретически исследовал разряд предварительно заряженной электрической емкости  $C$  (проводника заданной емкости  $C$ ) в электрическом контуре, содержащем сосредоточенную индуктивность  $L$  и активное сопротивление  $R$  [9]. В случае, когда омическое сопротивление  $R$  колебательного контура было пренебрежимо мало, им для периода  $T$  электрических колебаний разрядного тока в рассматриваемом контуре было получено следующее известное аналитическое соотношение:  $T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}$  (формула Томсона). Из этого классического соотношения можно заключить, что для получения в указанном контуре электрических колебаний тока высокой частоты емкость конденсатора (проводника)  $C$  и индуктивность электрической цепи (проводника)  $L$  колебательного контура должны быть малыми. В этом случае геометрические размеры элементов колебательного контура должны быть соответственно также малыми, то есть простой отрезок проводника с электрическим током может являться электрическим колебательным контуром (в современной электротехнической и физической терминологии – открытым колебательным контуром [11]).

Далее отметим, что до Г. Герца электрические колебания в  $RLC$ –контуре были экспериментально исследованы В. Феддерсенем, который рассматривал изображение электрического искрового разряда "лейденской банки" во вращающемся зеркале [9]. Фотографируя эти изображения, В. Феддерсен установил, что "...в электрической искре имеют место попеременно противоположные токи, а период колебаний  $T$  тока в ней увеличивается в той мере, как возрастает величина  $\sqrt{C}$ " [9]. Эти опытные данные подтверждали достоверность формулы Томсона для периода  $T$  электрических колебаний. Таким образом, к началу рассматриваемых экспериментальных исследований Г. Герца по обнаружению искусственно созданных соответствующим генератором электромагнитных волн в воздушном пространстве электрические (электромагнитные) колебания в  $RLC$ –контуре в определенной степени были изучены как теоретически, так и экспериментально. Необходимо обратить внимание читателя и на то обстоятельство, что Г. Герцу как талантливому физическому теоретику было хорошо известно то, что согласно теории Д.К. Максвелла электромагнитная волна представляет собой взаимосвязанную цепочку электрических и магнитных полей, возникающих, например, из изменяющегося во времени или в пространстве электрического поля. Последнее (переменное электрическое поле), как известно, может создаваться проводником с пере-

менным током (например, колебаниями электрического тока в  $RLC$ –контуре). Причем, в соответствии с электродинамическими уравнениями Д.К. Максвелла интенсивность электромагнитной волны в той или иной среде будет тем выше, чем быстрее во времени или в пространстве изменяется, например, соответствующее электрическое поле. А чем выше интенсивность электромагнитной волны в среде (например, в воздухе), тем ее легче экспериментально обнаружить. Основываясь на этих соображениях, будущему исследователю опытным путем электромагнитных волн необходимо было сосредоточиться на высокочастотных и сверхвысокочастотных электрических колебаниях в  $RLC$ –контуре, то есть в электрических контурах с очень малыми значениями электрической емкости  $C$  и индуктивности  $L$ . Таким подходом после ряда пробных экспериментов по генерированию быстроизменяющихся во времени  $t$  электрических колебаний в  $RLC$ –контуре, в конце концов, и воспользовался Г. Герц.

Свою серию знаменитых опытов Г. Герц начал с изучения индукционной связи двух незамкнутых электрических цепей [1, 9]. Для этой цели им была собрана высоковольтная электрическая установка, принципиальная схема которой нами изображена на рис. 1. Согласно приведенной на рис.1 схеме эта установка содержала открытый задающий электрический  $RLC$ –контур  $I$  (первая цепь), включающий воздушный шаровой искровой двухэлектродный разрядник 1, два прямолинейных проводника (провода) 2 и 3, расположенных в одну линию и содержащих на своих концах металлические шары 4 и 5. Электроды искрового разрядника 1 при помощи проводников (проводов) 6 и 7 подключались к источнику высокого переменного напряжения 8 – катушке Румкорфа [12]. Общая длина электрического контура  $I$  составляла около 3 м.

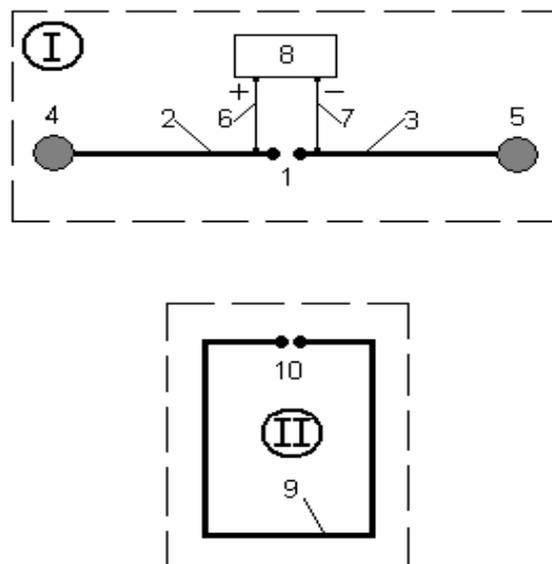


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема экспериментальной электроустановки Г. Герца

Открытый электрический контур  $II$  (вторая цепь) был выполнен первоначально в виде проводни-

ка (провода) 9, согнутого в форме прямоугольника (длина меньшей стороны—0,8 м, а большей—1,2 м) с воздушным искровым разрядником 10 в одной из его коротких сторон, длина промежутка которого могла регулироваться при помощи микрометрического винта. Электрические контуры *I* и *II* друг от друга могли располагаться на расстоянии, не превышающем 3 м. Длина искрового промежутка в воздушном разряднике 1 на первом этапе исследований составляла несколько миллиметров, а в воздушном разряднике 10—несколько десятых долей миллиметра [1, 12].

Во время работы в установке Г. Герца электрического контура *I* (первой цепи), сопровождающейся возникновением в промежутке его разрядника 1 электрических искр, в электрическом контуре *II* (второй цепи), который мог быть при помощи провода как электрически связан с электрическим контуром *I*, так и несвязан с последним, также наблюдались электрические искры. Причем, искры в контуре *II* при этом были столь слабыми, что их видеть можно было только в затемненной комнате привыкшими к темноте глазами или с помощью специальной увеличительной трубы [1, 12]. 13 ноября 1886 года Г. Герц в своем дневнике записывает: "...Посчастливилось установить индукционное действие друг на друга двух незамкнутых цепей с током. Длина цепей — 3 м, а расстояние между ними 1,5 м" [3]. В ходе этих исследований Г. Герц пришел к мысли о том, что в электрических контурах *I* и *II*, с которыми он работал, происходят электрические колебания необыкновенно высокой частоты (порядка  $10^8$  колебаний в 1 с) [9, 12]. Следует заметить, что до Г. Герца электрические колебания получали с частотой не выше  $10^6$  колебаний в 1 с [1].

Кроме того, благодаря воспроизведению опытов на созданной им установке с электрическим контуром *I* и искровым разрядником 1, допускающим перемещение металлических шаров 4 и 5 вдоль проводников (стержней) 2 и 3 (рис. 1) и тем самым изменение периода  $T$  генерируемых этим контуром затухающих электрических колебаний (рис. 2), и прямоугольным электрическим контуром *II* различных размеров и, следовательно, обладающим различными периодами  $T$  собственных электрических колебаний, Г. Герц установил существование явления резонанса между указанными контурами *I* и *II* [1, 9]. 5 декабря 1886 года Г. Герц в письме своему учителю— научному мэтру Г.Л. Гельмгольцу после описания созданной им экспериментальной высоковольтной электроустановки сообщает: "...Мне удалось совершенно определенно установить индукционное действие одной незамкнутой прямолинейной цепи с током на другую незамкнутую прямолинейную цепь" [1, 3].

Установление Г. Герцем в первой серии своих опытов резонансной связи между электрическими контурами *I* и *II*, в одном из которых создавались, а в другом индуктировались электрические колебания высокой частоты, только согласовывалось с выводами теории электромагнитного поля Д.К. Максвелла, но не доказывало их справедливости. Наблюдаемый Г. Герцем эффект мог быть объяснен с помощью обычной индукционной связи электрических контуров по М. Фарадею [13], проникшему в сущность

электромагнитных явлений, что и делал сам Г. Герц. Иначе говоря, для объяснения результатов этой начальной серии опытов Г. Герца не требовалось понятия "электромагнитной волны", а вполне достаточно было понятия "электрического колебания". Поэтому экспериментальное обоснование новой теории электромагнетизма Д.К. Максвелла все еще оставалось делом недалекого будущего.

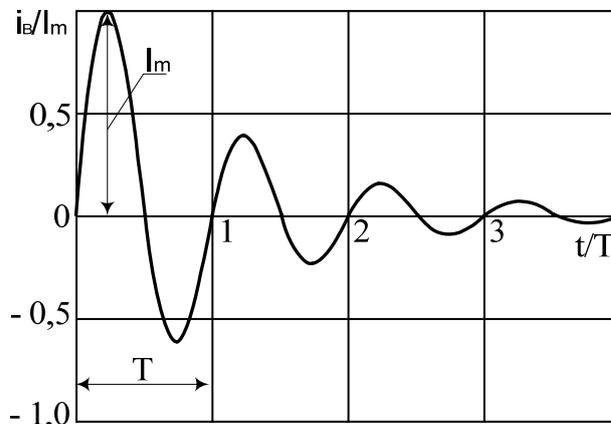


Рис. 2. Временная зависимость тока  $i_B$  в электрическом контуре *I* экспериментальной электроустановки Г. Герца

Главные части высоковольтной экспериментальной установки Г. Герца (рис.1) — электрические контуры *I* и *II*, по существу являющиеся основными элементами современной радиосвязи, вошли в историю науки соответственно под названием "вибратора" и "резонатора Герца". Интересно отметить, что эти названия рассматриваемым приборам дал не сам Г. Герц, а его английские коллеги [14].

При выполнении вышеуказанных опытов Г. Герц был заинтересован в том, чтобы электрические искры в контуре *II* (резонаторе) были более интенсивными и, значит, легче наблюдаемыми. Именно эта заинтересованность и помогла ему экспериментально установить увеличение длины искр в резонаторе в том случае, когда на искровой промежуток воздушного разрядника 10 контура *II* непосредственно падал свет от электрических искр воздушного разрядника 1 контура *I* (вибратора). Дополнительные исследования, проведенные Г. Герцем в 1887 году, показали, что обнаруженным действием обладает свет от вибратора в ультрафиолетовом диапазоне. Ультрафиолетовая часть спектра света от электрических искр вибратора, как известно, в силу своего коротковолнового характера обладает наиболее высокими, по сравнению с другими составными частями видимого света, энергетическими показателями ("квантами действия"). Поэтому именно "ультрафиолетовый свет" преимущественно и вызывал этот эффект. Так попутно Г. Герцем опытным путем в 1887 году было открыто новое явление, впоследствии названное внешним фотоэлектрическим эффектом (фотоэффектом) [15]. Выдающийся советский физик П.Л. Капица в связи с открытием этого явления по прошествии многих лет в XX столетии говорил: "...С учетом общего состояния науки во время Г. Герца это явление невозможно было предсказать теоретически" [16]. Самим Г. Герцем

для этого эффекта не было введено специального термина. Он говорил о "*явлении влияния ультрафиолетового света на электрический разряд*" [1,15]. Термин "*фотоэлектрический эффект*" в науку был введен физиком А. Риги [1]. Фотоэффект оказался одним из немногих физических явлений, на основе которого в дальнейшем возникла новая физическая теория – квантовая физика. Лишь спустя почти 30 лет после работ Г. Герца на основе изучения явления фотоэффекта великим немецким физиком-теоретиком Альбертом Эйнштейном были выведены знаменитые уравнения, указывающие на квантовую природу этого явления [9].

После изучения и описания открытого Г. Герцем явления "*фотоэлектрического эффекта*" он вновь в сентябре 1887 года возвращается к исследованию высокочастотных электрических колебаний в созданной им системе "вibrator – резонатор". Г. Герцу было известно, что теория Д.К. Максвелла постулирует существование электромагнитных волн определенного рода, то есть волн, подчиняющихся строго определенным законам и обладающих определенными свойствами. Только подтвердив на опыте все эти законы и установив все эти свойства, можно было говорить об экспериментальном доказательстве истинности теории электромагнитного поля Д.К. Максвелла.

Вот этим доказательством и занялся Г. Герц в заключительной серии своих знаменитых опытов. Он, сам того не желая, начинает опытным путем обосновывать идентичность используемых им в экспериментах с вибратором и резонатором электромагнитных волн ("*лучей Герца*" или "*волн Герца*") со светом. Если эти электромагнитные волны будут вести себя как свет, заключает Г. Герц, то значит теория Д.К. Максвелла верна. В связи с этим Г. Герц приступает к комплексной проверке данной идеи. Он подробно экспериментальным путем изучает пространственную картину (топологию) электрического поля, создаваемого вибратором. Полученные при этом результаты и выполненные им расчеты свидетельствуют в пользу теории Д.К. Максвелла. Затем Г. Герц изучает распространение генерируемых его электроустановкой волн в различных средах. Металлический лист не пропускает новых волн, но зато изоляторы (например, деревянные двери комнаты) были для них прозрачны, как для света – стекло. Новые "*лучи*" распространяются прямолинейно и имеют конечную скорость распространения. После проведения Г. Герцем ряда остроумных измерений [1, 3] он для их скорости распространения в воздухе получает данные, очень близкие к скорости света  $c$ . Г. Герц в лабораторном помещении изготавливает призму весом две тоны из асфальта и устанавливает, что новые "*лучи*" в этой призме отклоняются от своего прямолинейного направления. Причем, отклоняются на столько, на сколько они должны были бы отклоняться согласно теории Д.К. Максвелла. Количественно Г. Герц получил для показателя преломления примененной им призмы число, равное 1,69. В пределах допустимых ошибок это соответствовало оптическому показателю преломления асфальта, лежащему между числами 1,5 и 1,6 [1, 11]. Совпадение электромагнитного и светового показателей преломления количественно, по

его мнению, подтверждало тождественность электромагнитных и световых волн [17].

Далее с помощью изготовленной электроустановки (см. рис.1) он получает новые данные по отражению этих "*лучей*" от металлических (цинковых) экранов и их интерференции. С учетом полученных результатов Г. Герц изготавливает даже параболические зеркала для новых волн [1, 9]. Эти результаты позволили Г. Герцу построить пространственные картины "*стоячих электромагнитных волн*" и экспериментально определить их длину  $\lambda$  (ее Г. Герц оценивал порядка 3 м). Зная период  $T$  электрических колебаний тока в вибраторе (его Г. Герц оценивал порядка  $10^{-8}$  с), можно было легко определиться и со скоростью  $v$  распространения электромагнитной волны в воздушной среде и уточнить ее численное значение по сравнению с первоначально им полученным. Экспериментально убедившись, что вибратор в электроустановке создает плоскополяризованный "*луч*", Г. Герц опытным путем убеждается и в том, этот "*луч*" допускает вращение плоскости своей поляризации [1, 3]. После этой заключительной серии опытов у Г. Герца не оставалось практически никаких сомнений в том, что открытые им "*лучи*" – предсказанные Д.К. Максвеллом электромагнитные волны. Причем, согласно этим многочисленным опытам совпадение было не только качественным, но и количественным [1, 17, 18].

Указанные выше опыты Г. Герца и их результаты вызывают у него чувство физической наглядности картины исследуемых электромагнитных волн. В письме Г.Л. Гельмгольцу от 19 марта 1888 года он пишет: "*...Я думаю, волновая природа звука в пустом пространстве демонстрируется не так ясно, как волновая природа этого электродинамического процесса*" [1]. После всего вышеизложенного можно говорить о том, что Г. Герц в 1888 году своими исследованиями "*лучей Герца*" по существу открыл и изучил новый и ранее никем не наблюдаемый вид излучения, а, именно, электромагнитное излучение. Это открытие Г. Герца можно поставить в один ряд с будущими открытиями новых видов излучения: в 1895 году "*X – лучей*" немецким физиком Вильгельмом Рентгеном, возникающих во внутренних электронных энергетических уровнях атомов вещества, и в 1896 году "*радиоактивных лучей*" французским физиком Анри Антуаном Беккерелем, рождающихся внутри атомных ядер вещества [1, 9]. Он своими опытами проверил и доказал правильность теории электромагнитного поля Д.К. Максвелла. Именно это и характеризует историческое значение его опытов. По завершению этих исследований Г. Герц написал: "*...Мы не можем лучше охарактеризовать цель и результаты наших собственных опытов, как, сказав: целью опытов была проверка основных гипотез Фарадея и Максвелла, результатом их явилось подтверждение основных гипотез этой теории*" [18]. Своей трудовой и научный подвиг Г. Герц совершил за удивительно короткий временной срок. С момента определения им в ноябре 1886 года индукционного действия друг на друга двух открытых незамкнутых электрических

цепей [12] и до момента завершения в декабре 1888 года его "оптических" опытов [18] прошло немногим более двух лет. За этот сравнительно малый временной период Г. Герц произвел настоящий переворот в физической науке и обеспечил себе в истории человечества то высокое положение, которое он по праву занимает. Такие кульминационные периоды в жизни и творчестве любого известного ученого представляют величайшую ценность для истории науки. Ведь по таким периодам, в основном, и раскрывается психология настоящего научного творчества ученого.

Описанные опыты Г. Герца вызвали настоящую бурю в научных кругах мира. Для физиков они и их результаты означали полный триумф полевых уравнений Д.К. Максвелла и крах всех других электродинамических теорий. Опыты Г. Герца с электромагнитными волнами привлекли внимание всего цивилизованного человечества. Благодаря, прежде всего, им Г. Герц стал ученым с мировым именем. Эти опыты открыли в истории человечества новую эру. Электромагнитные волны становятся повседневной реальностью в ведущих физических лабораториях мира и очень скоро входят в практику беспроводной электросвязи. Уже в 1895 году наш соотечественник, профессор кафедры физики Петербургского электротехнического института А.С. Попов, развивая идею о возможности практического использования открытых Г. Герцем электромагнитных волн, сделал прибор, излучающий и улавливающий электрические колебания [19]. На основании описанных выше опытов Г. Герца теория электромагнитного поля Д.К. Максвелла получила всеобщее признание и стала одной из фундаментальных теорий физики. Первые и физические перегрузки, особенно во время открытия электромагнитных волн, не прошли для Г. Герца бесследно. 1 января 1894 года от общего заражения крови в возрасте всего лишь 37 лет наступила преждевременная смерть выдающегося физика Г. Герца, повергшая в глубокую скорбь научные коллективы всех стран мира. Ушел из жизни человек в расцвете творческих сил, достойный при жизни великих почестей.

\* \* \*

Генрих Герц завершил колоссальный научный труд, начатый М. Фарадеем и продолженный Д.К. Максвеллом в области электромагнетизма. По меткому и образному выражению историков науки и техники "...если Максвелл перевел физические представления Фарадея в образы математики, то Герц превратил эти образы в осязаемые, видимые и слышимые колебания— в реально существующие электромагнитные волны, описываемые все теми же уравнениями Максвелла" [3]. Широко известна радиограмма, переданная и принятая в 1896 году изобретателем радио, выдающимся русским физиком и радиотехником А.С. Поповым и состоящая всего из двух слов: "Генрих Герц" [1]. Эта символическая радиограмма характеризует роль и место Г. Герца в мировой истории радио. Благодарные потомки именем Генриха Рудольфа Герца назвали единицу частоты колебаний (сокращенно **Гц**), равную одному колебанию в одну секунду. В феврале 1957 года, когда отме-

чалось 100-летие со дня рождения выдающегося немецкого электрофизика и электротехника Г. Герца, Президиум АН СССР направил немецким ученым приветствие, в котором говорилось: "...Советские ученые, полные веры в мирное и созидательное применение науки, убеждены, что дальнейшее развитие идей Г. Герца и успехи теоретической и экспериментальной физики в целом будут служить делу мира и прогресса" [1].

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Григорьян А.Т., Вяльцев А.Н. Генрих Герц. 1857–1894.-М.: Наука, 1968.-309с.
- [2] Баранов М.И. Джеймс Клерк Максвелл и теория электромагнитного поля// Электротехника і електромеханіка.-2005.-№1.-С.5-7.
- [3] Карцев В.П. Приключения великих уравнений.-М.: Знание, 1978.-224с.
- [4] Лебединский А.В., Франкфурт У.И., Френк А.М. Гельмгольц (1821-1894).-М.: Наука, 1966.-319с.
- [5] Кнопфель Г. Сверхсильные импульсные магнитные поля.-М.: Мир, 1972.-391с.
- [6] Hertz H. Obere Grenze für die kinetische Energie der bewegten Elektrizität// Annalen der Physik.-1881.-Bd.14.-S.581-590.
- [7] Hertz H. Über die Induktion in rotierenden Kugeln. Inaugural- Dissertation. Berlin, 1880.- 97s.
- [8] Hertz H. Über die Beziehungen zwischen den Maxwell'schen elektrodynamischen Grundgleichungen und den Grundgleichungen der gegnerischen Elektrodynamik// Annalen der Physik.-1884.-Bd.23.-S.84-103.
- [9] Кудрявцев П.С. Курс истории физики.-М.: Просвещение, 1974.-312с.
- [10] Maxwell J.C. A Treatise on Electricity and Magnetism, vol. I-II, Clarendon Press, Oxford, 1873.-1011p.
- [11] Кузьмичев В.Е. Законы и формулы физики/ Отв. ред. В.К. Тартаковский. Киев: Наукова думка. 1989. 864с.
- [12] Hertz H. Über sehr schnelle elektrische Schwingungen// Annalen der Physik.-1887.-Bd.31.-S.421-448.
- [13] Боев В.М. К 175-летию опубликования первой серии "Экспериментальных исследований по электричеству" Майкла Фарадея// Электротехника і електромеханіка.-2004.-№3.-С.5-7.
- [14] Trouton F. Repetition of Hertz's Experiments and Determination of the Direction of the Vibration of Light// Nature.-1889.-Vol. 39.-p.391-393.
- [15] Hertz H. Über einen Einfluss des ultravioletten Lichtes auf die elektrische Entladung// Annalen der Physik.-1887.-Bd.31.-S.983-1000.
- [16] Капица П.Л. Эксперимент. Теория. Практика: Статьи и выступления.-М.: Наука, 1987.-496с.
- [17] Hertz H. Über Strahlen elektrischer Kraft// Annalen der Physik.-1889.-Bd.36.-S.769-783.
- [18] Hertz H. Über die Fortleitung elektrischer Wellen durch Drähte// Annalen der Physik.-1889.-Bd.37.-S.395-408.
- [19] Попов А.С. Прибор для обнаружения и регистрирования электрических колебаний// Журнал русского физико-химического общества. Серия физическая.-1896.-Т.28.-С.1-14.

Поступила 31.05.2005