**История физики: электромагнетизм.**

Горяев М.А.

В 18 веке продолжались работы по электризации тел, начатые Гильбертом. Многочисленные эксперименты, проведенные в различных лабораториях, позволили обнаружить не только новые материалы, способные электризоваться при трении, но и открыть ряд новых свойств этого явления. Англичанин Стивен Грей (1670-1735) показал, что электричество может распространяться по некоторым телам, т.е. ввел понятия проводника и изолятора. Были усовершенствованы устройства для получения электричества - электростатические машины, созданы конденсаторы (лейденская банка).

Интерес к новым явлениям широко распространялся в обществе благодаря различным фокусам и демонстрациям на публике. Систематические исследования с электрическими явлениями провел Франклин и сформулировал в 1747 г. свою теорию с использованием понятия электрического флюида, избыток или недостаток которого обусловливает электризацию тел.

Франклин Бенджамин (17.01.1706-17.04.1790) – американский физик, член Лондонского королевского общества (1756), Петербургской АН (1789), видный политический и общественный деятель, медаль Копли (1753). Родился в Бостоне в семье предпринимателя. Образование получил самостоятельно. В 1727 организовал в Филадельфии собственную типографию, в 1731 – первую в Америке публичную библиотеку, в 1743 – американское философское общество (первое в Америке научно-исследовательское учреждение), в 1751 – Пенсильванский университет. 1737-53 – почтмейстер Пенсильвании, 1753-74 – североамериканских колоний. Участвовал в составлении “Декларации независимости” и конституции США.

В 1746-54 провел экспериментальные исследования по электричеству, объяснил действие лейденской банки, построил первый плоский конденсатор, изобрел в 1750 молниеотвод, доказал в 1753 тождественность земного и атмосферного электричества, электрическую природу молнии. Разработал (1750) теорию электрических явлений, ввел понятия положительного и отрицательного электричества. Исследовал вопросы теплопроводности металлов, распространения звука в воздухе и воде. Автор ряда изобретений (применение искры для взрыва пороха и др.).

Работы Франклина Лондонское королевское общество признало недостойными публикации, и они были опубликованы его другом английским физиком Питером Коллинсоном (1694-1768) за свой счет. Успех публикации был огромен, а после того, как в 1752 г. был реализован его эксперимент с молниеотводом, подтверждающий эквивалентность электрической искры и молнии, научный энтузиазм к исследованию электрических явлений распространился очень широко. Королевское общество в 1753 г. присудило Франклину Коплеевскую медаль, а в 1756 г. избрало своим членом.

Общая, уже сложившаяся к тому времени методология научных исследований требовала количественных измерений. И основателем электрической метрологии был Вольта, который также сконструировал весьма точные электрометры.

Вольта Алессандро (18.02.1745-05.03.1827) – итальянский физик, химик и физиолог, член Лондонского королевского общества и Парижской АН, медаль Копли (1794). Родился в Комо в знатной дворянской семье. Учился в школе ордена иезуитов. В 1774-79 преподавал физику в гимназии в Комо, с 1779 – профессор Павийского университета, в 1815-19 – директор философского факультета Падуанского университета.

Работы в области электричества, молекулярной физики. Развил теорию лейденской банки (1769), построил смоляной электрофор (1775), электроскоп с соломинками (1781), конденсатор (1783), электрометр и другие приборы, описал действие телеграфа. В 1792 начал повторять опыты Л.Гальвани с “животным” электричеством и пришел к выводу, что причиной кратковременного тока является наличие цепи из двух классов разнородных проводников (двух металлов и жидкости). В конце 1799 сконструировал первый источник длительного гальванического тока – вольтов столб. Открыл (1795) взаимную электризацию разнородных металлов при контакте и составил ряд напряжений для металлов (1801). Исследовал тепловое расширение воздуха, наблюдал диффузию, установил проводимость пламени (1787). Обнаружил метан (1776) и объяснил его образование разложением животных и растительных останков.

Его именем названа единица напряжения - вольт.

Блестящие исследования в области электричества провел Кулон.

Кулон Шарль Огюст (14.06.1736-23.08.1806) – французский физик и военный инженер, член Парижской АН (1803). Родился в Ангулеме в семье чиновника. Окончил военно-инженерную школу в Мезьере (1761), после чего несколько лет находился на военной службе на Мартинике, где руководил строительством флота. После возвращения во Францию служил в военно-инженерном корпусе, уделяя со временем все больше внимания научным исследованиям.

Работы в области механики, электричества и магнетизма. Первая научная работа, начатая еще на Мартинике, "О приложении правил максимумов и минимумов к некоторым проблемам статики, относящимся к архитектуре" определила прогресс строительной механики 18-19 веков. Сформулировал в 1781 законы трения скольжения и качения. Исследовал и сконструировал в 1784 крутильные весы, с помощью которых в 1785 установил основной закон электростатики, а в 1788 распространил его на взаимодействия магнитных полюсов. Выдвинул гипотезу магнетизма, по которой магнитные жидкости не свободны, а связаны с отдельными молекулами, поляризующимися в процессе намагничивания. Сконструировал магнетометр (1785).

Его именем названа единица заряда - кулон.

Кулон сконструировал крутильные весы высокой чувствительности, установив предварительно, что сила закручивания нити зависит от вещества нити, пропорциональна углу закручивания и четвертой степени диаметра нити и обратно пропорциональна ее длине. С помощью этих весов Кулон экспериментально установил, что силы притяжения и отталкивания зарядов обратно пропорциональны квадратам расстояний. Кулоном же была постулирована пропорциональность силы взаимодействия произведению электрических зарядов, т.е. за 4 года интенсивной работы с 1785 по 1789 г. им был заложен фундамент современной электростатики. Поскольку электростатические силы так же зависят от расстояния, как и ньтоновские, то здесь можно использовать все свойства ньютоновских сил, найденные в теоретической механике.

Следует отметить, что используя также крутильные весы, Кавендиш в 1798 г. доказал справедливость закона тяготения для обычных (не небесных) тел.

Кавендиш Генри (10.10.1731-24.02.1810) – английский физик и химик, член Лондонского королевского общества (1760). Родился в Ницце в семье лорда. В 1749-53 учился в Кембриджском университете. Большую часть жизни провел в одиночестве, полностью отдаваясь научной работе в собственной лаборатории.

Публиковал только те статьи, в которых был полностью уверен, из-за чего многие работы по электричеству оставались неизвестными. Изданные в 1879 Дж. Максвеллом эти работы показали, что еще в 1771 он пришел к выводу об обратной пропорциональности силы электростатического взаимодействия квадрату расстояния. Ввел понятие электроемкости, открыл влияние среды на емкость конденсатора и определил диэлектрическую проницаемость ряда веществ. В 1798 измерил гравитационную силу притяжения двух небольших сфер, определил гравитационную постоянную, массу и среднюю плотность Земли. Получил в 1766 водород и определил его свойства, установил состав воды и показал, что ее можно получить искусственным путем, определил содержание кислорода в воздухе (1781).

С первых же случаев поражения электрическим разрядом возникли предположения о "животном электричестве", регуляторе жизни животных. В 1773 г. появился мемуар Джона Уолша об электрическом скате, а у физиологов возникла гипотеза о "животной эссенции", которая подобно электрическому флюиду ответственна за перенос нервных сигналов.

Профессор анатомии Болонского университета Луиджи Гальвани (1737-1798) провел электро-физиологические опыты и пришел к выводу об одинаковом эффекте сокращения мышц лягушки от физиологического и электрического воздействия. Результаты поразили Вольта, особое внимание которого привлекла одна особенность гальванического опыта: передача сигнала для сокращения мышцы проводниками однородными или составленными из разных металлов осуществлялась по-разному.

Вольта вначале провел опыт с обнаружением кисловатого вкуса на языке, если к кончику его прикладывать один конец, а к середине - другой конец дуги, составленной из разных металлов. Затем он приступил к чисто физическим исследованиям контактного электричества и получил закон контактных напряжений, расположив металлы в "ряд напряжений". В итоге Вольта изобрел новый прибор, который сначала назвал "искусственным электрическим органом", а потом "электродвижущим аппаратом". Французы позже стали называть его "гальваническим или вольтовым столбом".

Изобретение гальванических элементов (гораздо более удобных электрических источников, чем электростатические машины) существенно расширило круг исследований по электричеству. Прежде всего, была показана идентичность электрического и гальванического "флюидов", разница между которыми сначала проявлялась в ряде физиологических и химических процессов (электрический удар, химическое действие тока и т.п.).

Уже после первых исследований в области электричества и магнетизма возникали предположения о связи между ними. Поиски этой связи интенсифицировались после открытия законов Кулона. Решающий эксперимент в этой области в 1820 г. поставил Эрстед, который обнаружил отклонение магнитной стрелки проводником с током.

Эрстед Ханс Кристиан (14.08.1777–09.03.1851) – датский физик, непременный секретарь Датского королевского общества (с 1815), почетный член Петербургской (1830) и других академий наук. Родился в Рудкёбинге в семье аптекаря. Окончил Копенгагенский университет: диплом фармацевта (1797), степень доктора (1799). С 1806 – профессор этого университета, с 1829 одновременно директор Копенгагенской политехнической школы.

Работы в области электричества, акустики, молекулярной физики. Для научного творчества Эрстеда характерен поиск взаимосвязи между различными явлениями природы. Обнаружение им действия электрического тока на магнитную стрелку привело к возникновению новой области физики – электромагнетизма. В 1822-23 независимо от Ж.Фурье переоткрыл термоэлектрический эффект и построил первый термоэлемент. Экспериментально изучал сжимаемость и упругость жидкостей и газов, изобрел пьезометр.

Был блестящим лектором и популяризатором, организовал в 1824 Общество по распространению естествознания, создал первую в Дании физическую лабораторию.

Его именем названа единица напряженности магнитного поля - эрстед.

Следует отметить один важный факт в опыте Эрстеда: обнаруженный эффект не вписывался в ньютоновскую концепцию взаимодействия, где все силы были центральными. В том же 1820 году французские физики Био и Феликс Савар (1791-1836) экспериментально исследовали зависимость величины магнитного поля от расстояния от проводника с током до точки наблюдения. Однако такой зависимости в общем виде им получить не удалось. Эта задача была решена Лапласом и полученный им общий закон носит название закона Био-Савара-Лапласа.

Одновременно Ампер открыл взаимодействие токов, которое он назвал электродинамическим.

Ампер Андре Мари (22.01.1775–10.06.1836) – французский физик, математик и химик, член Парижской (1814), Петербургской (1830) и других академий наук. Родился в Лионе в семье коммерсанта. Получил домашнее образование. В 1801 стал преподавать физику и химию в центральной школе г. Бурга. В 1805-24 работал в Политехнической школе в Париже (с 1809 – профессор), с 1824 – профессор Коллеж де Франс.

Физические работы посвящены электромагнетизму. Установил закон взаимодействия электрических токов (закон Ампера), разработал теорию магнетизма. Согласно этой теории все магнитные взаимодействия сводятся к взаимодействию круговых электрических молекулярных токов, каждый из которых эквивалентен плоскому магниту – магнитному листку. Ампер впервые указал на тесную связь между электрическими и магнитными процессами. Открыл (1822) магнитный эффект катушки с током – соленоида, который является эквивалентом постоянного магнита, выдвинул идею усиления магнитного поля путем помещения внутрь соленоида железного сердечника. В 1820 предложил использовать электромагнитные явления для передачи сигналов, изобрел коммутатор, электромагнитный телеграф. Сформулировал понятие “кинематика”, проводил исследования в области философии и ботаники.

Его именем названа единица тока - ампер.

Ампер также предложил гипотезу, согласно которой магнит представляет собой совокупность токов, и вывел формулу взаимодействия элементов тока. Развитая им теория позволяла объяснить различные виды взаимодействия: магнитостатические, электромагнитные и электродинамические. Проведенные Эрстедом, Ампером и другими учеными исследования действия магнитов на проводники с током и обнаруженное в 1821 г. Фарадеем вращение проводника с током в магнитном поле легли в основу создания гальванометров, которые в различных модификациях широко использовались при исследовании электромагнитных явлений.

Фарадей Майкл (22.09.1791–25.08.1867) – английский физик, член Лондонского королевского общества (1824), Петербургской АН (1830). Родился в Лондоне в семье кузнеца. С 12 лет работал разносчиком газет, затем подмастерьем в переплетной мастерской. Учился самостоятельно. В 1813 стал ассистентом Г.Дэви в Королевском институте в Лондоне, в 1825 – директором лаборатории, сменив на этом посту Г.Дэви, в 1833-62 – профессор кафедры химии.

Работы в области электричества, магнетизма, магнитооптики, электрохимии. Открытое Фарадеем вращение магнита вокруг проводника с током и проводника с током вокруг магнита стало основой лабораторной модели электродвигателя и наглядно выявило связь между электрическими и магнитными явлениями, что в итоге привело к открытию и установлению законов электромагнитной индукции. Открыл в 1835 экстратоки при замыкании и размыкании. Доказал тождественность различных видов электричества: “животного”, “магнитного”, гальванического, термоэлектричества и электричества, возникающего при трении. В результате работ по исследованию природы электрического тока в растворах кислот, солей и щелочей открыл в 1833 законы электролиза (законы Фарадея), которые были важным аргументом в пользу дискретности электричества. Ввел понятия подвижность, катод, анод, ионы, электролиз, электролиты, электроды, иэобрел вольтметр. В 1845 открыл диамагнетизм, в 1847 – парамагнетизм. Обнаружил вращение плоскости поляризации света в магнитном поле (эффект Фарадея), что явилось доказательством связи света с магнетизмом и положило начало магнитооптике.

Фарадей первым ввел понятие поля, представление об электрических и магнитных силовых линиях. Идея поля кардинально изменило существовавшее у Ньютона и его последователей представление о дальнодействии и пространстве, как только пассивном вместилище тел и электрических зарядов. В 1837 обнаружил влияние диэлектриков на электрическое взаимодействие и ввел понятие диэлектрической проницаемости. Высказал идею о распространении электрического и магнитного взаимодействий через промежуточную среду, мысль о единстве сил природы (различных видов энергии) и их взаимном превращении.

В его честь названа единица емкости - фарада.

Первые исследования в области электричества были в основном сосредоточены на активных элементах - источниках электродвижущей силы, а пассивным проводникам практически не уделялось внимания. Ом провел систематические экспериментальные и теоретические исследования проводимости и сформулировал в 1827 г. свои законы в интегральной и дифференциальной формах, введя понятия и точные определения электродвижущей силы, электропроводности и силы тока.

Ом Георг Симон (16.03.1789-06.07.1854) - немецкий физик, член-корреспондент Берлинской (1839), член Туринской и Баварской АН, Лондонского королевского общества (1842), медаль Копли (1841). Родился в Эрлангене в семье слесаря. Окончил Эрлангенский университет, доктор философии (1811). Преподавал математику, затем физику в ряде гимназий. С 1833 - профессор Нюрнбергской высшей политехнической школы (с 1839 - ректор), 1849-52 - Мюнхенского университета.

Работы в области электричества, акустики, оптики. В 1826 экспериментально открыл основной закон электрической цепи (закон Ома), а в 1827 вывел его теоретически. Установил, что ухо воспринимает как простой тон только звук, вызванный простым гармоническим колебанием, остальные звуки - как основной тон и добавочные - обертона (акустический закон Ома).

Его именем названа единица электрического сопротивления - ом.

При этом Ом проводил свои работы, используя аналогию электрического тока с тепловыми потоками французского математика и физика Жана Батиста Жозефа Фурье (1768-1830) между двумя телами с различной температурой. Однако его работы в течение десяти лет оставались незамеченными. Одновременно с опытами Ома проводили исследования во Франции Антуан Сезар Беккерель (1788-1878), который определил зависимость сопротивления от длины и сечения проводника, и в Англии - Питер Барлоу (1776-1862), подтвердивший постоянство тока во всей цепи. Ряд частных законов, полученных в это время независимо от Ома, в 1845 г. обобщил Кирхгоф в своих правилах.

Большой толчок к проведению электрических измерений дало первое практическое использование электрических явлений в телеграфии. Создание воздушного и подводного телеграфов потребовало разработки новых методов электрических измерений. В 1840 г. Уитстон предложил свой метод моста для точных измерений сопротивлений. Гаусс заложил основы электромагнитной метрики, взяв за основные три механические единицы (времени, длины и массы) и выразив через них все остальные, а также разработав ряд новых приборов.

Гаусс Карл Фридрих (30.04.1777-23.02.1855) - немецкий математик, астроном и физик, член Лондонского королевского общества (1804), Парижской (1820) и Петербургской АН (1824). Родился в Брауншвейге в семье водопроводчика. Учился в 1795-98 в Гёттингенском университете, в 1799 получил доцентуру в Брауншвейге, с 1807 - профессор Гёттингенского университета и директор астрономической обсерватории.

Работы во многих областях физики. В 1832 создал абсолютную систему мер, в 1833 совместно с В.Вебером построил первый в Германии электромагнитный телеграф. В 1839 в сочинении "Общая теория сил притяжения и отталкивания, действующих обратно пропорционально квадрату расстояния" изложил основы теории потенциала (теорема Остроградского-Гаусса). В 1840 в работе "Диоптрические исследования" разработал теорию построения изображений в сложных оптических системах. В 1845 пришел к мысли о конечности распространения электромагнитных взаимодействий. В 1829 сформулировал принцип наименьшего принуждения (принцип Гаусса). Одним из первых высказал в 1818 гипотезу о существовании неевклидовой геометрии.

Его именем названа единица магнитной индукции - гаусс.

Работу по метрологии продолжили немецкий физик Вильгельм Эдуард Вебер (1804-1891) и Максвелл. В итоге появилась идея создания единой системы мер и в 1881 г. Международный конгресс в Париже установил международные единицы измерения.

Огромный вклад в развитие электромагнетизма был сделан работами Майкла Фарадея. Одной из ведущих философских идей физики 19 века было то, что все физические явления представляют собой проявления одной и той же сущности. Следуя этому принципу, в 1831 г. Фарадей обнаружил явление электромагнитной индукции. Он предложил теорию этого явления, впервые введя понятия линий магнитных сил и электромагнитного поля и высказав идею о распространении магнитных возмущений во времени. В 1833 г. американский физик Джозеф Генри (1797-1878) обнаружил явление самоиндукции, а российский ученый Эмиль Христианович Ленц (1804-1865) сформулировал в 1834 г. свое правило о направлении индукционных токов.

В середине 40-х годов немецкими учеными Францем Эрнстом Нейманом (1798-1895), Вебером и Гельмгольцем были построены теории индукции, учитывающие, что взаимодействие электрических зарядов зависят как от расстояния между ними, так и от скоростей.

В 1833-34 г.г. Фарадей установил основные законы электролиза, положив начало электрохимии. Им также было экспериментально доказано, что электрическое действие распространяется не только по прямой, но и по кривым линиям, а промежуточная среда существенно влияет на это действие. Таким образом, он подтверждал, что взаимодействие двух тел осуществляется через посредство среды, а не происходит в соответствии с теорией дальнодействия на расстоянии, что использовалось в наиболее простых моделях для математического истолкования явлений.

В результате опытов со сферическими конденсаторами с различными изолирующими прокладками Фарадей сформулировал свою теорию диэлектрической поляризации, которая была развита итальянским физиком Оттавиано Фабрицио Моссотти (1791-1863).

В 1845 г. при пропускании света через электромагнит Фарадей обнаружил поворот плоскости поляризации, что он объяснил присутствием магнитных полей в свете. Также им было обнаружено явление диамагнетизма.

Помимо многочисленных экспериментальных открытий, в конце жизни Фарадей в борьбе с атомистическими представлениями о непрерывности только пространства выдвигает оригинальную идею: развивая концепцию Босковича, вводит понятие поля. Он говорит, что материя не только взаимопроницаема, но и каждый ее атом простирается на всю солнечную систему, сохраняя свой собственный центр.

Также велико практическое значение открытий Фарадея, т.к. все машины современной электротехнической промышленности - генераторы (первый генератор тока был создан самим Фарадеем), трансформаторы, электромоторы - основаны на электромагнитной индукции. Сюда же следует отнести и телефон.

К 60-м годам 19 века электродинамика благодаря работам Неймана, Вебера и Гельмгольца считалась уже окончательно сформировавшейся наукой с четко определенными границами. Однако оригинальные идеи Фарадей заинтересовали Максвелла, и он задумал придать им математическую форму. Введя понятия токов смещения и напряженности поля, Максвелл сначала создал электродинамику диэлектриков, используя теорию Моссотти. Распространяя эти представления с поправками на магнетизм, он создает и теорию электромагнитной индукции. В итоге все построение сводится к знаменитым шести уравнениям Максвелла. Эти уравнения устанавливают непрерывность явлений, определяют изменения поля в отличие от ньютоновской модели, где законы определяют изменения поведения материальных частиц. Они связывают события, смежные в пространстве и во времени. Многие усматривали ряд логических ошибок и непоследовательностей при построении Максвеллом теории. Но она очень многое объясняла, и к концу 19 века крупнейшие физики придерживались мнения, которое высказал Герц: нужно принять уравнения Максвелла как гипотезу, постулаты, на которые и будет опираться вся теория электромагнетизма.

Герц Генрих Рудольф (22.02.1857-01.01.1894) - немецкий физик, член-корреспондент Берлинской АН (1889), член ряда академий наук и научных обществ, награды Венской, Парижской, Туринской АН, Лондонского королевского общества и др. Родился в Гамбурге в семье адвоката. Окончил Берлинский университет, степень доктора (1880) и был ассистентом у Г.Гельмгольца. С 1883 - приват-доцент Кильского университета, в 1885-89 - профессор Высшей технической школы в Карлсруэ, с 1889 - Боннского университета.

Основные работы относятся к электродинамике и механике. В 1887 в работе "Об очень быстрых электрических колебаниях" предложил удачную конструкцию генератора электромагнитных колебаний (вибратор Герца) и метод их обнаружения (резонатор Герца), впервые разработав теорию вибратора, излучающего электромагнитные волны в пространстве. Экспериментально доказал существование электромагнитных волн, распространяющихся в свободном пространстве в соответствии с теорией Максвелла. Придал уравнениям электродинамики симметричную форму, которая наглядно демонстрировала полную взаимосвязь между электрическими и магнитными явлениями (электродинамика Максвелла-Герца). В 1887 наблюдал внешний фотоэффект, заметив, что электрический разряд более интенсивен при облучении электродов ультрафиолетовым светом. В работе "О прохождении катодных лучей через тонкие металлические слои" (1891) открыл проницаемость металлов для катодных лучей, заложив основу для изучения этих лучей и строения вещества. Построил механику с введением неголономных связей, трактовкой механической системы как системы с большим числом степеней свободы и применением принципа кратчайшего пути или наименьшей кривизны.

Его именем названа единица частоты - герц.

Следуя своим уравнениям и идеям Фарадея о природе света, Максвелл строит электромагнитную теорию света, описывающую распространение поперечных электромагнитных волн. Дополнительные предпосылки к этому были также получены Вебером и Кирхгофом при определении скорости распространения электромагнитной индукции по проводу: она оказалась равной скорости света. К этому времени были обнаружены и исследованы колебания электрического разряда конденсатора в цепи с индукционной катушкой, а в 1884 г. Герц показал, что эти колебания вызывают в пространстве появление волн, состоящих из поляризованных перпендикулярно друг к другу электрических и магнитных колебаний. Он также обнаружил отражение, преломление и интерференцию таких волн. Важным подтверждением электромагнитной теории были опыты русского физика Петра Николаевича Лебедева (1866-1912), который в 1900 г. измерил величину светового давления в полном соответствии с теорией Максвелла.

Итальянский физик Аугусто Риги (1850-1920) развил эти работы и их результаты обобщены им в 1897 г. в книге "Оптика электрических явлений", само название которой говорит о революционности такого вывода в развитии физики.

Одним и самых замечательных результатов практического применения электромагнитных волн явилось изобретение в 1895 г. радиотелеграфии Поповым и итальянским исследователем Гульельмо Маркони (1874-1937).

Попов Александр Степанович (16.03.1859-13.01.1906) - русский физик и электротехник. Родился в п. Турьинские Рудники (Екатеринбургская губерния) в семье священника. Окончил Петербургский университет (1882). В 1883-1901 преподавал в военных заведениях Кронштадта. С 1901 - профессор Петербургского электротехнического института (с 1905 - ректор).

Работы в области электротехники и радиотехники. В 1888 повторил опыты Г.Герца и в 1889 впервые указал на возможность использования электромагнитных волн для передачи сигналов. В 1894 сконструировал генератор электромагнитных колебаний и приемник с чувствительным элементом - когерером, а также изобрел первую приемную антенну. Установил, что приемник антенны реагирует на грозовые разряды, и создал грозоотметчик. 7 мая 1895 продемонстрировал свой грозоотметчик на заседании физического отделения Российского физико-химического общества и высказал мысль о возможности его применения для передачи сигналов на расстояние. На заседании 24 марта 1896 продемонстрировал передачу сигналов на расстояние 250 м. Несколько позже Г.Маркони создал подобные приборы, провел с ними эксперименты и положил начало широкому применению радиосвязи, а в 1909 получил за эти работы Нобелевскую премию, когда Попов уже умер. В 1897 обнаружил отражение электромагнитных волн от предметов (кораблей), находящихся на пути их распространения, что было положено в основу радиолокации.

Таким образом, к концу 19 века в основном завершилось построение классической физики.