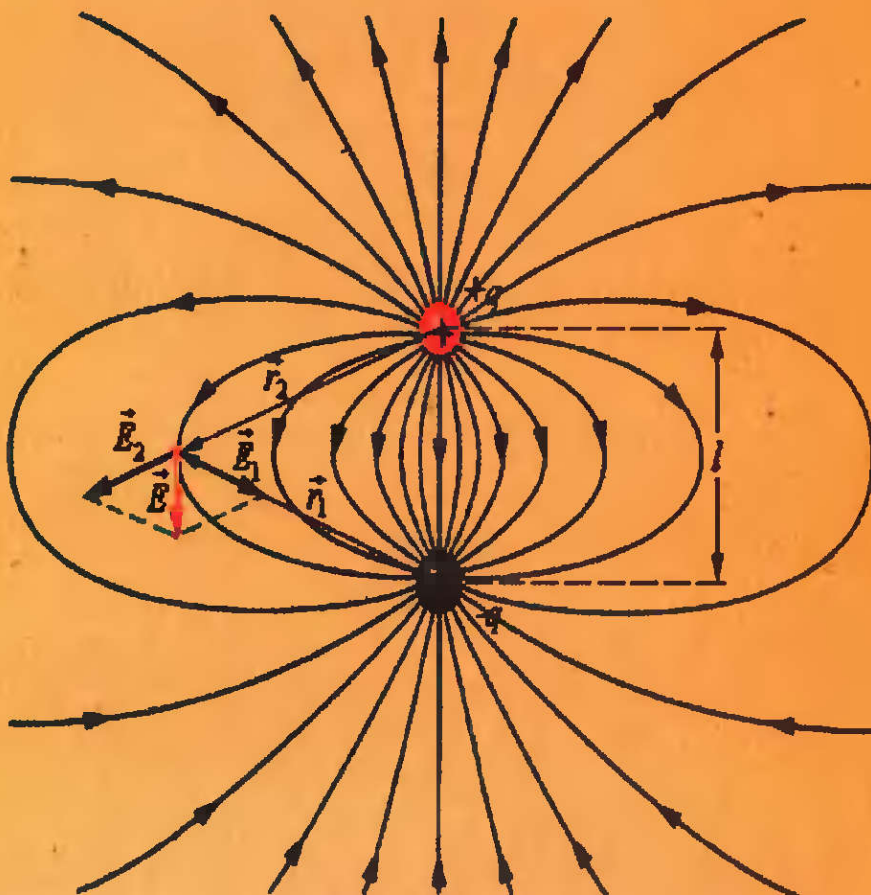


И.К.Колесников, А.А.Халиков, Р.К.Каримов

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ И ВОЛНЫ



И.К. КОЛЕСНИКОВ, А.А. ХАЛИКОВ, Р.К. КАРИМОВ

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ И ВОЛНЫ

учебное пособие

Тошкент
“Янги аср авлоди”
2008

Учебное пособие по курсу «Электромагнитные поля и волны», составленное к.т.н. И.К. Колесниковым, д.т.н. А.А. Халиковым и к.т.н. Р.К. Каримовым, предназначено для обучения бакалавров направлений 5522200 – Телекоммуникация; 5522000 – Радиотехника; 5522100 – Телевидение радиосвязь и радиовещание; 5440300 – Астрономия; 5440100 – Физика.

Оно может быть также использовано для подготовки специалистов в профессиональных колледжах по специальностям: 020005 – Электромеханик по эксплуатации устройств оперативной технологической связи, электромеханик многоканальной связи; 02006 – Электромеханик радиосвязи, электромеханик по ремонту и эксплуатации устройств радиорелейной связи. Пособие содержит все темы, предусмотренные учебной программой. В его первой части излагаются теории электростатического и стационарного электрического полей, описывается природа магнитных полей постоянных токов, даются выводы основных уравнений электродинамики – уравнений Максвелла. Во второй части рассматриваются вопросы возбуждения радиоволн СДВ, ДВ, КВ, УКВ, дециметрового и сантиметрового поддиапазонов, а также особенности их распространения и приема.

Рецензенты:

Х.Б. Сапаев,

доктор технических наук, профессор

В.К. Соколов,

доктор технических наук, профессор

П.М. Тошходжаев,

преподаватель высшей категории

ISBN 978-9943-08-321-9

© И.К. Колесников, А.А. Халиков, Р.К. Каримов «Электромагнитные поля и волны». «Янги аср авлоди», 2008 год.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие «Электромагнитные поля и волны» предназначено для обучения бакалавров по направлениям 5522200 – Телекоммуникация; 5522000 – Радиотехника; 5522100 – Телевидение, радиосвязь и радиовещание, 5440300 – Астрономия; 5440100 – Физика. Оно может быть использовано также для подготовки специалистов в профессиональных колледжах по специальностям: 020005 – Электромеханик по эксплуатации устройств оперативной технологической связи, электромеханик многоканальной связи; 020006 – Электромеханик по ремонту радио-телеаппаратуры, радиомеханик станционной и поездной радиосвязи, электромеханик по ремонту и эксплуатации устройств радиорелейной связи. Пособие состоит из двух частей: «Электродинамика» и «Распространение радиоволн».

В первой части рассматриваются электромагнитные явления, которые используются в различных областях радиотехники. Формулируются основные законы и разъясняется их физическое содержание, излагаются методы исследования и расчета электромагнитных полей. Учебный материал построен по принципу перехода от более простых разделов к более сложным.

Вначале излагается теория электростатического поля, даются определения физических величин, характеризующих поле, приводятся методы расчета электростатических полей. Затем рассматривается стационарное электрическое поле в проводящей среде. Формулируются законы постоянного тока в дифференциальной форме.

Далее исследуются магнитные поля постоянных токов, излагаются методы расчета магнитных полей.

Даются выводы основных уравнений электродинамики – уравнений Максвелла с описанием методов расчетов электромагнитных полей. Рассматриваются условия возбуждения и распространения электромагнитных волн в неограниченной среде и направляющих системах.

Во второй части курса основное внимание уделено вопросам излучения, распространения и приема радиоволн диапазона УКВ, главным образом дециметрового и сантиметрового поддиапазонов, где удается обеспечить высокую помехозащищенность, большую пропускную способность, необходимую надежность.

При изложении теоретических вопросов авторы следовали общепринятой схеме: формирование исходных данных – анализ конечных результатов – физическое истолкование.

Сложные формулы приводятся в тексте без подробных промежуточных выкладок, что диктуется необходимостью охватить в заданном объеме широкий круг вопросов.

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

ГЛАВА 1. ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Введение

В основе теории электромагнетизма лежит представление об электромагнитном поле. В простейшем случае термин «поле» употребляется, когда надо сопоставить каждой точке пространства некоторую физическую характеристику. В этом случае говорят о «поле температур» материальной среды или, например, о «поле скоростей» частиц жидкости, газа. В сущности, при этом просто определяются какие-то функции координат, и, быть может, времени: температура, скорость и т.п. Аналогично этому об электрическом поле можно говорить как о «поле сил»; каждый раз имеется в виду сила, которая будет действовать на положительный единичный точечный заряд, если его поместить в пространство, где действует поле. Понятие поля в этих примерах имеет лишь некоторое описательное значение. Электромагнитное поле характеризуется некоторыми векторными функциями координат и времени. В философском смысле электромагнитное поле следует рассматривать как одну из форм существования материи. Хотя проявление электромагнитных сил в природе люди наблюдали с давних времен, научные понятия в этой области сложились сравнительно недавно. К ним, разумеется, нельзя относить первые представления древних.

В 1784–1789 гг. были опубликованы работы Шарля Кулона об электрических и магнитных взаимодействиях. Найденный позднее закон Ампера о взаимодействии токов и другие закономерности этого рода идейно близки закону Кулона: действие одного объекта на другой, как полагали исследователи, происходит без всякого участия промежуточной среды, мгновенно. Это так называемый *принцип дальнего действия*, т.е. действия на расстоянии, вошедший в науку вместе с механикой Ньютона.

С именем Майкла Фарадея (1791–1867 гг.) связано зарождение *принципа близкодействия*, согласно которому взаимодействие осуществляется через посредство среды (в частности вакуума), являющейся «вместилищем» электромагнитного процесса; при этом возникает вопрос о времени передачи взаимодействия. Исключительный вклад в науку было суждено внести Джеймсу Клерку Максвеллу (1831–1879 гг.). В современной физике уравнения Максвелла являются фундаментальными законами теории электромагнетизма. Максвеллу принадлежит теоретический вывод о существовании электромагнитных волн – вместе с гипотезой об электромагнитной природе света. Этот вывод явился результатом анализа, отправной точкой которого были физические идеи Фарадея. Возбуждение электромагнитных волн в лаборатории и их экспериментальное исследование были осуществлены Генрихом Герцем (1857–1894 гг.). Герц предвосхитил многое из того, что мы относим теперь к радиотехнической электродинамике. Радиотехника явилась опытной базой теории электромагнетизма, основывающейся на уравнениях Максвелла, а также стимулятором ее дальнейшего развития. Вместе с радиотехникой появилось понятие радиоволн в природных условиях над Землей и в космосе. Проблема излучения и приема электромагнитной энергии, переносимой радиоволнами, привела к теории антенн.

В первых опытах длина радиоволн измерялась метрами. В начале века, когда радиосвязь приобрела уже практическое значение, использовались главным образом длинные волны (длиной порядка километра). Но, начиная с двадцатых годов, в радиотехнической практике осваиваются волны все более короткие. Возникшая в военное время радиолокация дала этому процессу мощный толчок – в технику вошли волны дециметровые, сантиметровые, а затем и миллиметровые. Эта практика изменила многое, как в самой радиотехнике, так и в ее теоретических основах. Дело в том, что ранее размеры элементов радиоаппаратуры оставались намного меньше длины волны. Благодаря этому основные представления электротехники и используемая ею теория цепей были пригодны как аппарат расчетов, а радиотехническая аппаратура во многом напоминала электротехническую аппаратуру. Но такое положение не могло сохраниться, когда понадобилось создавать радиотехнические элементы, сравнимые по размерам с длиной

волны. Что касается элементов радиоаппаратуры на сантиметровых и миллиметровых волнах, то принципы их построения далеки от старых электротехнических образцов. Примечательно, например, использование различных волноводов в виде полых металлических труб, диэлектрических стержней и т.п., а также аналогично построенных резонаторов вместо так называемых колебательных контуров, включающих емкостные и индуктивные элементы. Для понимания принципов действия, сознательного применения и конструирования подобных устройств необходимо знание теории электромагнетизма, базирующейся на уравнениях Максвелла.

Благодаря широкому применению оптических квантовых генераторов – лазеров – в радиотехническую практику вошли чрезвычайно короткие волны; размеры соответствующей аппаратуры всегда очень велики в сравнении с длиной волны. В этой области электродинамическая теория пересекается с оптикой.

Задачи теории электромагнетизма, порождаемые радиотехнической практикой, нередко настолько сложны, что только появление современных ЭВМ делает эту теорию средством проектирования аппаратуры, уже автоматизированной.

При изучении электромагнитного поля мы будем рассматривать вначале отдельно неизменное во времени электрическое поле и его взаимодействие с неподвижными заряженными телами, по которым проходит постоянный ток. После освоения методов расчета электростатических и магнитостатических полей переход к рассмотрению законов электромагнитного поля и распространение электромагнитных волн будет менее трудным.

§ 1. 1. Электрический заряд

Подобно понятию гравитационной массы тела в механике Ньютона, понятие заряда в электродинамике является первичным, основным понятием.

Электрический заряд – это физическая величина, характеризующая свойство частиц или тел вступать в электромагнитные силовые взаимодействия.

Электрический заряд обычно обозначается буквами q , Q . Совокупность всех известных экспериментальных фактов позволяет сделать следующие выводы:

Существует два рода электрических зарядов, условно названных положительными и отрицательными.

Заряды могут передаваться (например, при непосредственном контакте) от одного тела к другому. В отличие от массы тела электрический заряд не является неотъемлемой характеристикой данного тела. Одно и то же тело в разных условиях может иметь разный заряд.

Одноименные заряды отталкиваются, разноименные – притягиваются. В этом также проявляется принципиальное отличие электромагнитных сил от гравитационных сил. Гравитационные силы всегда являются силами притяжения.

Электрический заряд можно считать бесконечно делимым и пользоваться понятием плотности заряда. Если заряд q распределен в пространстве, то объемная плотность заряда:

$$\rho = \frac{dq}{dv}; \quad (1. 1)$$

Соответственно заряд:

$$q = \int_V \rho dV. \quad (1. 2)$$

Если заряд q распределен по поверхности S , то поверхностная плотность заряда:

$$\sigma = \frac{dq}{dS}, \quad (1. 3)$$

следовательно, заряд можно определить:

$$q = \int_S \sigma dS. \quad (1. 4)$$

Линейная плотность заряда:

$$\tau = \frac{dq}{dl}, \quad (1. 5)$$

где dl – элемент линии, вдоль которой распределен заряд.

$$q = \int_l \tau dl. \quad (1. 6)$$

§ 1. 2. Электрическое поле. Закон Кулона

Одним из фундаментальных законов природы является экспериментально установленный закон сохранения электрического заряда.

В изолированной системе алгебраическая сумма зарядов всех тел остается постоянной:

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const.} \quad (1. 7)$$

Закон сохранения электрического заряда утверждает, что в замкнутой системе тел не могут наблюдаться процессы рождения или исчезновения зарядов только одного знака.

С современной точки зрения, носителями зарядов являются элементарные частицы. Все обычные тела состоят из атомов, в состав которых входят положительно заряженные протоны, отрицательно заряженные электроны и нейтральные частицы – нейтроны. Протоны и нейтроны входят в состав атомных ядер, электроны образуют электронную оболочку атомов. Электрические заряды протона и электрона по модулю в точности одинаковы и равны элементарному заряду e .

$$e = 1,602177 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.}$$

В нейтральном атоме число протонов в ядре равно числу электронов в оболочке. Это число называется атомным номером. Атом данного вещества может потерять один или несколько электронов или приобрести лишний электрон. В этих случаях нейтральный атом превращается в положительно или отрицательно заряженный ион.

Заряд может передаваться от одного тела к другому только порциями, содержащими целое число элементарных зарядов. Таким образом, электрический заряд тела – дискретная величина:

$$q = \pm ne \quad (n = 0, 1, 2, \dots). \quad (1. 8)$$

Физические величины, которые могут принимать только дискретный ряд значений, называются квантованными. Элементарный заряд является квантом (наименьшей порцией) электрического заряда. Следует отметить, что в современной физике элементарных частиц предполагается существование так называемых квар-

ков – частиц с дробным зарядом $\pm \frac{2}{3}e$ и $\pm \frac{1}{3}e$. Однако, в свободном состоянии кварки до сих пор наблюдать не удалось.

В обычных лабораторных опытах для обнаружения и измерения электрических зарядов используется электрометр – прибор, состоящий из металлического стержня и стрелки, которая может вращаться вокруг горизонтальной оси (рис. 1). Стержень со стрелкой изолирован от металлического корпуса. При соприкосновении заряженного тела со стержнем электрометра, электрические заряды одного знака распределяются по стержню и стрелке. Силы электрического отталкивания вызывают поворот стрелки на некоторый угол, по которому можно судить о заряде, переданном стержню электрометра.

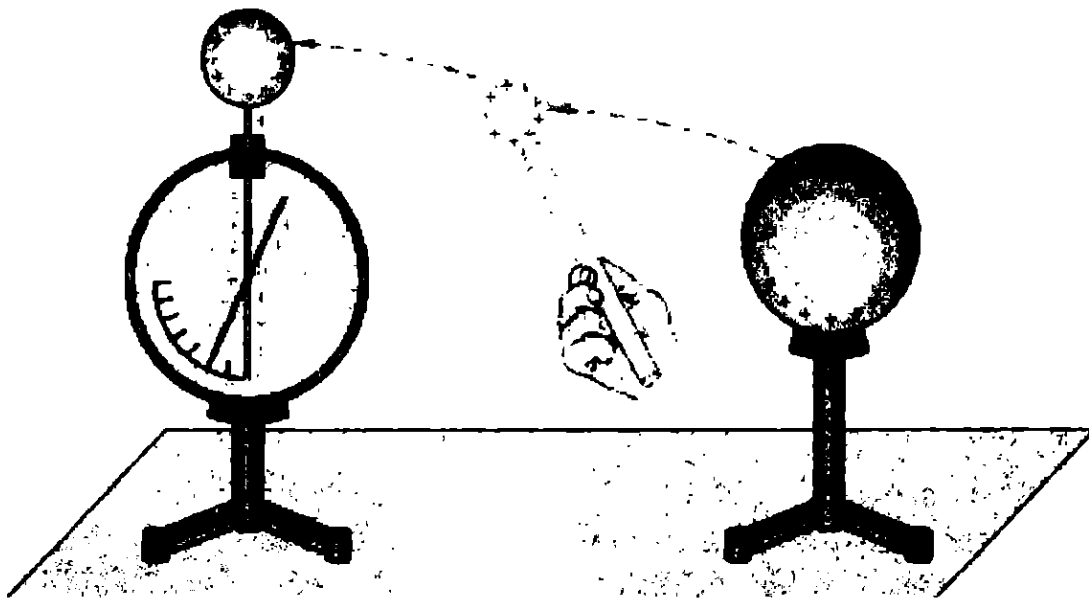


Рис. 1. Перенос заряда с заряженного тела на электрометр

Электрометр является достаточно грубым прибором; он не позволяет исследовать силы взаимодействия зарядов. Впервые закон взаимодействия неподвижных зарядов был установлен французским физиком Ш. Кулоном (1785 г.). В своих опытах Кулон измерял силы притяжения и отталкивания заряженных шариков с помощью сконструированного им прибора – крутильных весов (рис. 2), отличавшихся чрезвычайно высокой чувствительностью. Так, например, коромысло весов поворачивалось на 1° под действием силы порядка 10^{-9} Н.



Bu tanishuv parchasidir. Asarning to'liq versiyasi <https://kitobxon.com/uz/asar/3224> saytida.

Бу танишув парчасидир. Асарнинг тўлиқ версияси <https://kitobxon.com/uz/asar/3224> сайтида.

Это был ознакомительный отрывок. Полную версию можно найти на сайте <https://kitobxon.com/ru/asar/3224>