

14. Проводники в электростатическом поле

Проводниками электричества являются такие вещества, в которых имеются свободные электрические заряды, способные перемещаться из одной части проводника в другую под действием приложенного электрического поля. Если во внешнее электрическое поле внести нейтральный проводник (рис. 19), то положительные заряды в проводнике под действием поля будут перемещаться в направлении внешнего поля, отрицательные – против поля.



Таким образом, в проводнике произойдет расделение зарядов: на одном конце проводника возникнет избыток положительных зарядов, на другом – отрицательных. Разделившиеся заряды вызывают индуцированные, процесс расделения электростатической индукцией. Этот процесс будет происходить до тех пор, пока на оставшиеся заряды в проводнике перестанет действовать сила. Дело в том, что разделившиеся заряды в проводнике создадут в проводнике собственное поле, направленное против внешнего поля и расделение зарядов будет происходить до тех пор, пока действие внутреннего поля на оставшиеся заряды в проводнике не компенсирует действие внешнего поля. Другими словами, пока напряженность внутреннего поля разделенных зарядов не сравняется с напряженностью внешнего поля и напряженность суммарного поля в проводнике не станет равной нулю. При внесении проводника в электрическое поле происходит разрыв линий напряженности внешнего поля: на проводнике: они заканчиваются на отрицательных индуцированных зарядах и вновь начинаются на положительных. Индуцированные заряды возникают в результате смещения зарядов и согласно формуле (13) электростатическое смещение равно поверхностной плотности смещенных зарядов $D = \sigma$. Поэтому вектор D получил название электростатического смещения.

Силы линии внешнего поля перпендикулярны к внешней поверхности проводника. Отсутствие поля внутри проводника ($E=0$) означает, что потенциалы во всех точках проводника одинаковы, т. е. весь проводник представляет собой эквипотенциальную поверхность. Поскольку внутри проводника заряды отсутствуют, то создание полости внутри проводника не влияет на распределение зарядов на его поверхности. Поле внутри полости будет отсутствовать. Если теперь проводник заземлить, потенциал проводника будет равен нулю. На этом основана электростатическая защита - экранирование электроизмерительных приборов от воздействия внешних электрических полей.

Поле внутри и вне проводника

Под действием электростатического поля положительные и отрицательные заряды нейтрального вещества смещаются в противоположные стороны, образуя тем самым собственное электрическое поле. Это явление называют электростатической индукцией, а разделенные заряды — индуцированными. Установившееся в веществе поле определяется наложением внешнего и индуцированного полей, а количественный результат зависит от свойств вещества.

Проводник содержит практически неограниченный запас собственных свободных зарядов, которые могут свободно перемещаться по его объему. То же относится к зарядам, полученным извне. К проводникам относятся металлы, плазма и электролиты. Под действием внешнего поля свободные электроны проводника быстро смещаются, оставляя позади себя некомпенсированный положительный заряд.

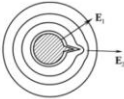
ВОПРОС: До каких пор это происходит?

ОТВЕТ: По мере роста числа разделенных зарядов растет и напряженность создаваемого ими поля, которое антипараллельно напряженности внешнего поля. Когда они по модулю станут равны, исчезнет и сила, разделяющая заряды.

Таким образом, в равновесном состоянии напряженность поля внутри проводника равна нулю, т. е. объем проводника является эквипотенциальной областью.

На поверхности проводника заряды также неподвижны. Из этого следует, что составляющая вектора E , параллельная поверхности, равна нулю, т. е. и поверхность проводника эквипотенциальна. Это означает, что вектор E всегда перпендикулярен поверхности проводника.

Поскольку нескомпенсированные заряды проводника располагаются в тонком слое его поверхности, то при удалении вещества из внутренней области распределение зарядов поверхности не изменяется. Этим пользуются для накопления очень больших зарядов и соответствующих потенциалов (в миллионы вольт) в электрооптической генераторе, предложенном американским физиком Р. Ван де Граафом (1901 — 1967). Внутренней поверхности полого металлического шара сообщают все новые заряды, и они переходят на его внешнюю поверхность. Поле проводники применяют и для защиты (экранирования) различных радиоэлектронных установок, например, от электромагнитного импульса, возникающего при ядерном взрыве (см. параграф 11.6). Чаше используют сетку с мелкой ячейкой — она экранирует поле чуть хуже, но содержит меньше металла и позволяет наблюдать находящееся внутри оборудование.



Где и как распределяются заряды в проводнике?

Автор:  Дмитрий Макаров

Проводником электричества является любое вещество, у которого присутствуют свободные отрицательные или положительные заряды. У металлов носителями зарядов являются электроны. Рассматривая вопрос о распределении зарядов в проводнике мы, по умолчанию, будем ссылаться на металлические тела. Но все выводы, касающиеся перераспределения зарядов в металлах, справедливы и для других типов веществ, с наличием свободных носителей положительных ионов.

Носители зарядов и их движение

При отсутствии электрического поля свободные точечные заряды пребывают в равновесии. Они осуществляют колебания, взаимодействуя между собой и с ионами такого же, либо противоположного знака. Однако картина равновесия вмиг нарушается при попадании металла в электрическое поле. На заряженном проводнике возникает электрическое смещение.

Под действием кулоновских сил происходит перераспределение электронов в металлическом теле. Перемещению зарядов способствует напряженность поля, действующая на носители заряженных частиц разных знаков, но в разных направлениях.

В результате этого воздействия заряженные частицы устремятся в противоположные стороны. Точнее, в металлах происходит только перемещение электронов, которые скапливаются на поверхности с одной стороны.

Положительные ионы, связанные атомными силами кристаллической решетки не перемещаются, но поскольку электроны устремились в одну сторону, то на другой стороне проводника преобладают дырки (положительно заряженные ионы) (см. рис. 1). Таким образом, можно утверждать, что электроны и положительные ионы под действием электрического поля распределяются в противоположных направлениях на поверхности тел. То есть, заряды стремятся к равному распределению.

Электрический заряд для заряженных и незаряженных проводников.

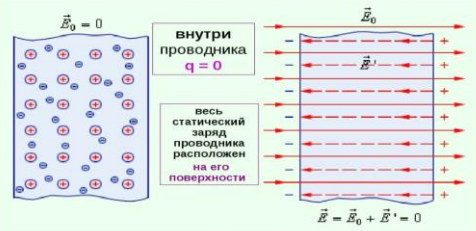


Рис. 1. Распределение зарядов в проводнике

Процесс распределения частиц продолжается до тех пор, пока не уравновесится их взаимодействие внешним и внутренним сила. То есть, пока сумма напряженностей внешнего электрического поля не уравняется с внутренней напряженностью. Данный процесс длится доли секунды. Если плотность энергии не меняется, а металл остается в спокойствии, то равновесие сил является константой.

Учитывая направления внешних векторов напряженности и внутренних сил, действующих на проводник, можно записать:

$$E_{внеш} = E_{внут} + E_{всп} = 0.$$

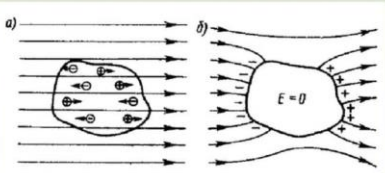
Распределение зарядов и форма тела

Как было замечено выше, распределение зарядов зависит от формы тела. Больше всего статического электричества собирается на выступах, особенно на острых концах (см. рис. 3, 4).

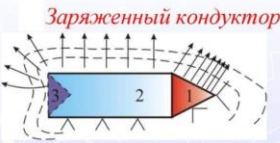
Проводники в электростатическом поле

В металлах имеется огромное число свободных электронов, которые могут перемещаться по всему объему металла.

Если поместить металлический проводник во внешнее электростатическое поле, то свободные электроны будут смещаться против поля до тех пор, пока не установится такое распределение зарядов, при котором $E=0$.



Экспериментальная проверка распределения заряда на проводнике



В местах разной напряженности электростатического поля лепестки бумажки расходятся по-разному:

на поверхности 1 – максимальное расхождение,

на поверхности 2 заряд распределен равномерно $q = const$ и имеем одинаковое расхождение лепестков.

Электрметр – прибор, с помощью которого измеряют заряд и потенциал кондуктора. Если сообщить электromетру заряд с острия, то будет максимальное отклонение стрелки электromетра, с поверхности 2 – отклонение будет меньше, и нулевое отклонение с поверхности 3 внутри кондуктора.

Рис. 4. Распределение статического электричества на кондукторе

Как видно из рисунка 4 плотность распределения зарядов на вогнутых поверхностях минимальна. Электростатическое поле сплошных и полых проводников не отличается, если их поверхности идентичны. Другими словами все токопроводящие тела с одинаковыми поверхностями обладают одинаковыми поверхностными плотностями.

На сферических поверхностях статическое электричество распределяется равномерно. Ёмкость конденсатора (сферического) вычисляют по формуле:

$$C = 4\pi\epsilon_0 \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1}$$