

Тема 5

Проводники в электрическом поле. Диэлектрики. Векторы поляризации и электростатической индукции.

ОГЛАВЛЕНИЕ

5.1. Проводники в электрическом поле.

5.2. Диэлектрики.

5.3. Векторы поляризации и электростатической
индукции.

5.1. Проводники в электрическом поле

Все вещества по своим электрическим свойствам делятся на проводники, полупроводники и диэлектрики. К проводникам относятся, например, металлы. Они состоят из кристаллической решетки и свободных электронов. Свободные электроны могут свободно перемещаться по всему объему проводника

Электроны находятся в беспорядочном хаотичном движении. Чем выше температура проводника, тем интенсивнее движение электронов. Кристаллическая решетка состоит из атомов или ионов, жестко закрепленных по всему объему проводника.

Опыт.5.1. Распределение зарядов на поверхности проводника Электрический ветер

Оборудование:

1. Сетка Кольби.
2. Штатив изолирующий.
3. Острие.
4. Колесо Франклина.
5. Свеча на подставке.
6. Лапка с муфтой.
7. Палочка эбонитовая или из органического стекла с куском меха.
8. Электрофорная машина.



Рис. 5.1.

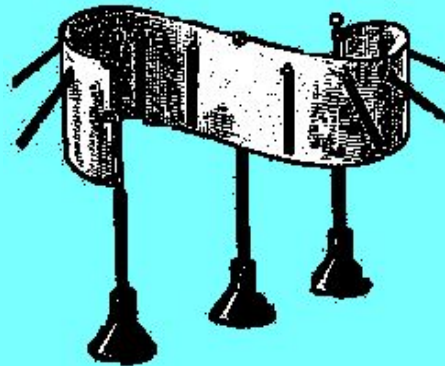


Рис. 5.2.

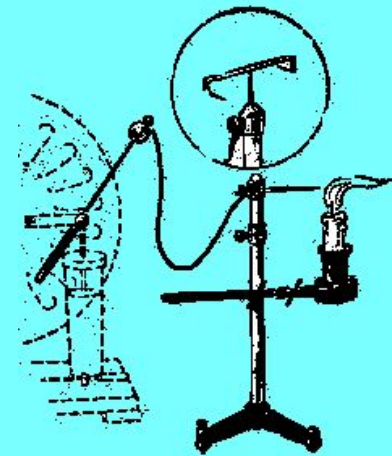


Рис. 5.3.

Ход работы:

1. Соберем установку (рис.5.1 – 5.3).
2. Прикоснемся наэлектризованной палочкой к гибкой металлической сетке с бумажными лепестками (сетке Кольби) Если сетка образует плоскую поверхность, то заряд распределится по ее поверхности равномерно, и мы увидим, что все лепестки отклонятся на одинаковый угол. Иначе распределится заряд, если сетку изогнуть. Мы увидим, что на вогнутых участках сетки лепестки опадут, а на выпуклых, наоборот, отклонятся сильнее.
3. Колесо Франклина соединяется проводом с одним из кондукторов электрофорной машины, после чего машина приводится в действие.
4. При подаче на колесо заряда оно начинает вращаться, постепенно увеличивая скорость вращения.
5. «Электрический ветер» представляет собой движение ионов воздуха от заряженного острия. В соответствии с 3-м законом Ньютона острие начинает двигаться в противоположную сторону. «Реактивная сила», действующая острием, обусловлена отталкиванием его от одноименно заряженных ионов.

Выводы: На вогнутых поверхностях сетки лепестки опадают, а на выпуклых поверхностях – отклоняются сильнее. Это объясняется тем, что электрическое поле вблизи внутренней вогнутой поверхности сетки слабее (либо вообще отсутствует), чем вблизи ее внешней выпуклой поверхности. “Электрический ветер” отклоняет пламя свечи. Колесо Франклина при работе электрофорной машины начинает быстро вращаться. Это явление происходит вследствие стекания электрических зарядов с острия колеса Франклина, поскольку напряженность электрического поверхности острия максимальна. В результате создается реактивная сила вращающая колесо.

На электрон будет действовать сила $\vec{F}_{эл} = q\vec{E}_{ВНЕШ}$, т.к. $q = e < 0$ то электроны будут двигаться в сторону, противоположную вектору $\vec{E}_{ВНЕШ}$.
Внутри проводника возникает электрическое поле $\vec{E}_{ВНУТР}$

Электроны будут перемещаться до тех пор, пока внешнее поле не уравновесится постоянно растущим внутренним.

$$\vec{E}_{РЕЗ} = \vec{E}_{ВНЕШ} + \vec{E}_{ВНУТР} \quad (5.1)$$

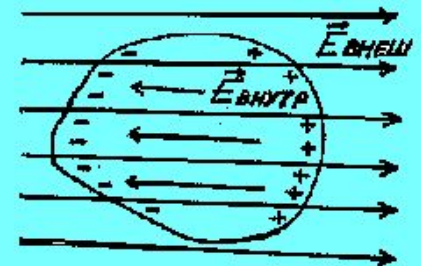


Рис. 5.4.

Силловые линии прерываются на поверхности проводника и перпендикулярны ей.

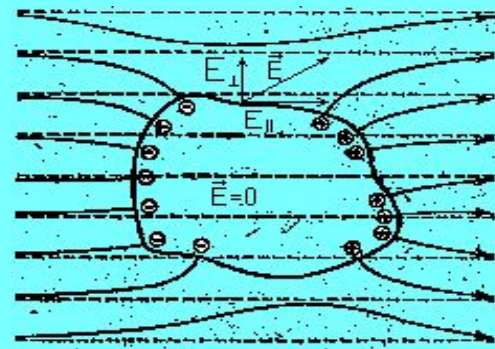


Рис. 5.5.

Если силловые линии не перпендикулярны поверхности проводника, то существует тангенциальная составляющая \vec{E}_{\parallel} и под ее действием заряды начнут двигаться по проводнику, т.е. возникает ток, но мы рассматриваем статический случай, когда тока в проводнике нет, т.к. внутреннее и внешнее поля уравновешены. Возникает противоречие, значит, наше предположение о существовании тангенциальной составляющей \vec{E}_{\parallel} неверно, т.е. силловые линии перпендикулярны поверхности проводника.

Поверхность проводника представляет собой эквипотенциальную поверхность: $\varphi(x, y, z) = 0$.

Работа по перемещению зарядов по поверхности проводника равна нулю, т.к.

$$A_{12} = q(\varphi_1 - \varphi_2) = q(\varphi_1 - \varphi_1) = 0.$$

5.2. Диэлектрики

Диэлектрики — вещества в которых отсутствуют свободные носители заряда. В диэлектриках существуют полярные и неполярные молекулы.

К полярным относятся молекулы, в которых имеются части с ярко выраженным сосредоточенным зарядом.

К неполярным относятся молекулы, в которых части с ярко выраженным сосредоточенным зарядом отсутствуют.

Воздействуя внешним электрическим полем, можно получить из неполярной молекулы полярную. Поляризуемость — свойство вещества, характеризующее способность превращения молекул из неполярных в полярные.

Два равных по модулю и разнесенных друг от друга разноименных заряда называют диполем. Расстояние между зарядами называется плечом диполя.

$$\vec{p}_{\text{эл}} = q\vec{l} \quad (5.2)$$

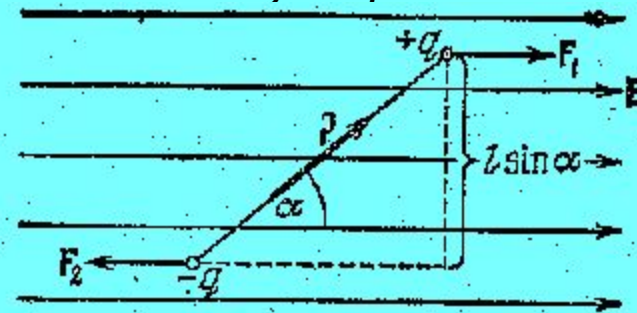


Рис. 5.6.

На положительный заряд действует электрическая сила, направленная в сторону электрического поля. На отрицательный заряд действует сила, направленная в противоположную от электрического поля сторону. Длины векторов сил равны.

$$\begin{aligned} \vec{M} &= \vec{F}_{\text{эл}} l \sin \alpha = qE l \sin \alpha = p_{\text{эл}} E \sin \alpha \\ \vec{M} &= \vec{F}_{\text{эл}} \times l = \vec{p}_{\text{эл}} \times \vec{E} \end{aligned} \quad (5.3)$$

Рассчитаем работу, совершенную при повороте полярной молекулы на угол α (электрического диполя)

$$\begin{aligned} dA &= M d\alpha, A = \int_0^{\alpha} p_{\text{эл}} E \sin \alpha d\alpha = -p_{\text{эл}} E \cos \alpha \\ A &= -(\vec{p}_{\text{эл}}, \vec{E}) \end{aligned} \quad (5.4)$$

По закону сохранения и превращения энергии, совершенная работа идет на сообщение потенциальной энергии. Потенциальная энергия определяется формулой

$$A = W = -p_{\text{эл}} E \cos \alpha = -\vec{p}_{\text{эл}}, \vec{E}$$

Процесс поворота, ориентации вдоль силового поля молекул во внешнем электростатическом поле называется ориентационной поляризацией.

Опыт 5.2. С диэлектриками

Оборудование:

1. Демонстрационный плоский конденсатор.
2. Подвешенные на изолирующих нитях стеклянные палочки диаметром 5 мм и длиной 5-7 см.
3. Электрофорная машина.
4. Соединительные провода.
5. Штативы.
6. Электрометр с большим шаровым кондуктором.
7. Металлическая трубка прямоугольного сечения с подвешенным на изолирующей нити металлическим стерженьком в форме стрелки, размеры трубки 12x12x25 см.
8. Большой химический стакан с прикрепленным к его дну на изолирующей нити металлическим стерженьком в форме стрелки.
9. Изолирующая подставка.

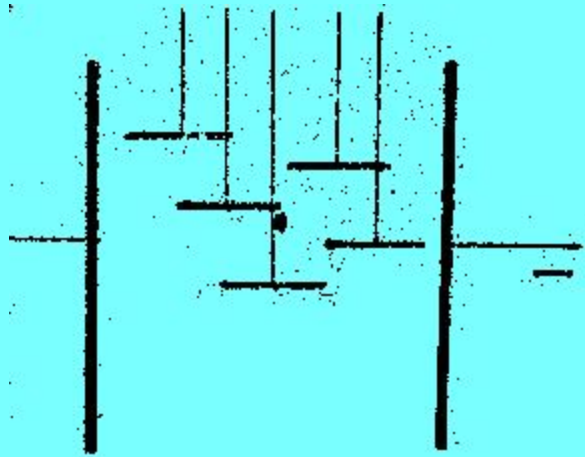


Рис. 5.7.

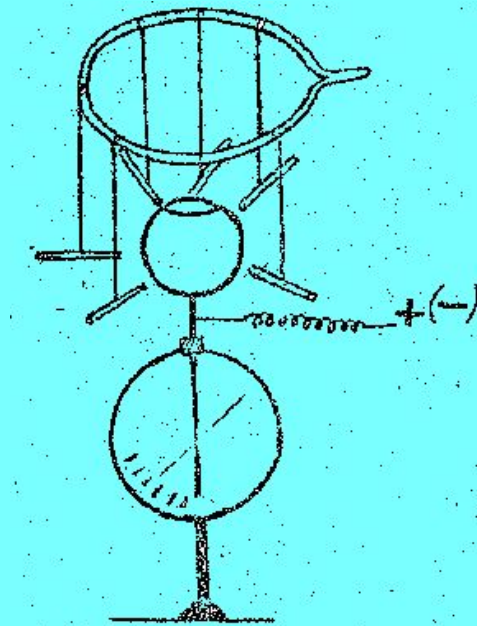


Рис. 5.8.

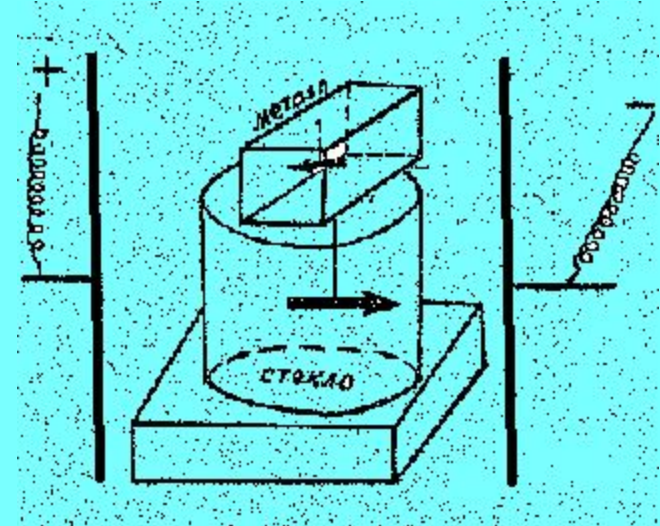


Рис. 5.9.

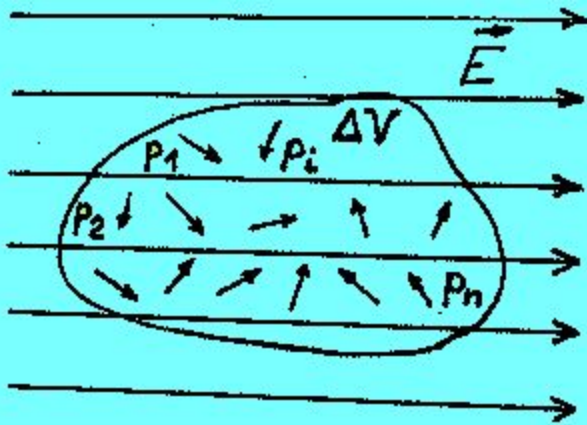
Выводы: Диэлектрик в электрическом поле не остается электрически нейтральным – он поляризуется – палочки ведут себя как электрические диполи. Металл экранирует пространство от электростатического поля, диэлектрик – нет.

5.3. Векторы поляризации и электростатической индукции

Для количественного описания этого процесса используют вектор поляризации.

Вектором поляризации называется физическая величина, численно равная суммарному электрическому моменту всех молекул, заключенных в единицу объема.

$$\vec{P} = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{p}_{эл,i}}{\Delta V} \quad (5.5)$$



Заряды внутри молекул диэлектрика называются связанными зарядами. Результирующее поле характеризуется вектором электростатической индукции D и по принципу суперпозиции определяется как векторная сумма внешнего поля E и поля связанных зарядов P , т.е.

$$\vec{D} = \vec{E} + \vec{P}, \vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E} \quad (5.6)$$

Рис. 5.10.

Для изотропных сред ϵ - скаляр.

Для анизотропных сред ϵ - тензор.

$$\epsilon = \frac{F_{k \text{ вак}}}{F_{k \text{ сред}}} \quad (5.7)$$