

47 Поляризация и электрическая прочность диэлектрика

1.7. Поляризация диэлектрика. Вектор электрического смещения

Диэлектриками называют вещества, не проводящие электрического тока, в них практически отсутствуют свободные электрические заряды. Диэлектрики обладают связанными электрическими зарядами.

Свободные элементарные частицы (электроны или положительные и отрицательные ионы) под воздействием сил электрического поля могут свободно перемещаться в веществе, их перемещение не ограничивается внутримолекулярными силами.

Под *связанными* понимают электрические заряды, входящие в состав вещества и удерживаемые в определенных положениях внутримолекулярными силами. Сумма положительных связанных зарядов равна сумме отрицательных связанных зарядов. При отсутствии внешнего электрического поля диэлектрик в целом можно считать электрически нейтральным.

Если какое-либо диэлектрическое тело поместить в электрическое поле, оно поляризуется.

Под *поляризацией* понимают упорядоченное изменение расположения связанных зарядов внутри молекул, вызванное электрическим полем. Это изменение расположения проявляется в том, что положительные связанные заряды сместятся в сторону электрического поля, а отрицательные связанные заряды переместятся в противоположном направлении. Если напряженность электрического поля не чрезмерно велика, то частицы с положительными и отрицательными зарядами совершенно разойтись не могут, так как они удерживаются внутримолекулярными силами. В результате поляризации на поверхности вещества как бы обнажаются связанные заряды (рис. 1.4), где они не будут электрически нейтральны.

Связанные заряды при поляризации создают свое поле, напряженность которого \vec{E}' будет направлена противоположно напряженности \vec{E} внешнего поля. Поэтому напряженность результирующего поля в диэлектрике будет меньше напряженности внешнего поля.

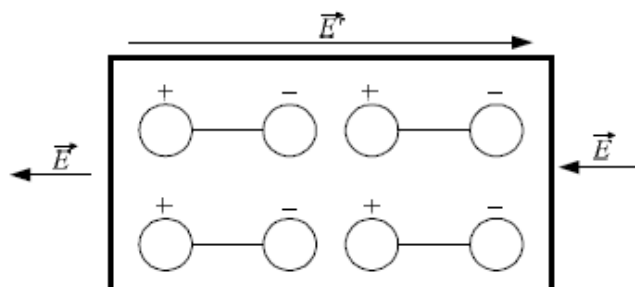


Рис. 1.4. Диэлектрик во внешнем электрическом поле

Степень поляризации диэлектрика характеризуется вектором поляризованности \vec{P} , который для однородных и изотропных диэлектриков пропорционален напряженности электрического поля в диэлектрике:

$$\vec{P} = \epsilon_0 \chi_r \vec{E}.$$

Безразмерная величина χ_r называется *относительной диэлектрической восприимчивостью*.

В некоторых случаях желательно иметь оценку действия зарядов, создающих электрическое поле, вне зависимости от свойств среды. Это достигается введением в расчеты **вектора электрического смещения (электрической индукции) \vec{D}** :

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}.$$

Подставив выражение \vec{P} , получим

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \epsilon_0 \chi_r \vec{E} = \epsilon_0 \vec{E} (1 + \chi_r).$$

Обозначим: $1 + \chi_r = \epsilon_r$ – относительная диэлектрическая проницаемость; $\epsilon_0 \epsilon_r = \epsilon_a$ – **абсолютная диэлектрическая проницаемость**. Окончательно имеем

$$\vec{D} = \epsilon_a \vec{E}. \quad (1.3)$$

В СИ $[D] = [P] =$ кулон на квадратный метр (Кл/м²).

Диэлектрическая восприимчивость χ_r диэлектриков – величина положительная, поэтому $\epsilon_r > 1$, а $\epsilon_a > \epsilon_0$.

1.8. Теорема Гаусса

Теорема Гаусса является одной из важнейших теорем электростатики. Она соответствует закону Кулона и принципу наложения. Теорему можно сформулировать и записать следующими способами.

1. Поток вектора электрического смещения через любую замкнутую поверхность равен алгебраической сумме свободных зарядов, находящихся в объеме, ограниченном этой поверхностью:

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = \sum q_{\text{своб}}, \quad (1.4)$$

где $d\vec{S}$ – вектор элемента поверхности, длина которого численно равна поверхности элемента dS , а направление совпадает с направлением внешней нормали к этому же элементу (рис. 1.5).

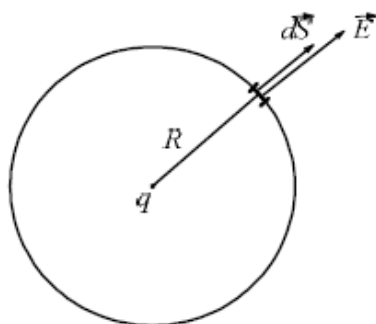


Рис. 1.5. Поток вектора напряженности сквозь замкнутую поверхность

Из уравнения (1.4) следует, что вектор \vec{D} является такой характеристикой поля, которая при прочих равных условиях не зависит от диэлектрических свойств среды (от величины ϵ_a).

2. Поскольку $\vec{D} = \epsilon_a \vec{E}$, то теорему Гаусса для однородной и изотропной среды можно записать в такой форме:

$$\oint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{\sum q_{\text{своб}}}{\epsilon_a}, \quad (1.5)$$

т. е. поток вектора напряженности электрического поля сквозь любую замкнутую поверхность равен алгебраической сумме свободных зарядов, находящихся в объеме, ограниченном этой поверхностью, разделенной на абсолютную диэлектрическую проницаемость среды ϵ_a .

Из уравнения (1.5) следует, что вектор \vec{E} представляет собой характеристику поля, которая в отличие от вектора \vec{D} при прочих равных условиях зависит от диэлектрических свойств среды (от величины ϵ_a), и электрическая напряженность E в диэлектрике слабее, чем в вакууме, при прочих равных условиях.

1.9. Электрическая прочность диэлектрика

Диэлектрик, разделяющий проводники с разными электрическими потенциалами (электроизоляция), находится в электрическом поле, и в каждой точке диэлектрика существует определенная напряженность этого поля. Если напряженность электрического поля превысит электрическую прочность диэлектрика, наступит разрушение диэлектрика, он будет пробит.

Напряженность электрического поля, при которой начинается пробой диэлектрика и нарушаются его изоляционные свойства, называют *пробивной напряженностью* или *электрической прочностью диэлектрика*, и обозначают $E_{\text{пр}}$. Эта величина для изоляционных материалов приводится в электротехнических справочниках.

Отношение электрической прочности диэлектрика к действительной напряженности поля называют запасом электрической прочности диэлектрика:

$$K = \frac{E_{\text{пр}}}{E}.$$

Таким образом, изоляция проводников должна быть не только сконструирована, но и рассчитана на определенный запас электрической прочности. Действительную напряженность поля, созданного заряженными электродами определенной формы, можно определить с помощью теоремы Гаусса.