

Лекция 7

Виды диэлектриков и способы их поляризации.

1. Поляризация диэлектриков

2. Граничное условие для вектора поляризации

3. Поляризация диэлектриков

Рассмотрим теперь, как ведут себя в электрическом поле диэлектрики. Внутри таких веществ мало "свободных зарядов", но имеются "связанные заряды", (связанные с атомами и молекулами).

При наличии внешнего поля связанные заряды сдвигаются относительно исходных положений, это приводит к появлению у диэлектриков собственного электрического поля, иначе говоря, приводит к поляризации диэлектриков. Рассмотрим этот процесс.

Все диэлектрики делятся на полярные и неполярные диэлектрики

К неполярным относятся диэлектрики, в атомах или молекулах которых центр отрицательно заряженного электронного облака совпадает с центром положительного атомного ядра. Такие молекулы не имеют собственных дипольных моментов если внешнее поле отсутствует. Например, инертные газы, кислород, водород, бензол.

Полярные диэлектрики состоят из молекул, у которых центры распределения положительных и отрицательных зарядов не совпадают. Например, спирты, вода. Их молекулы можно рассматривать как совокупность двух точечных зарядов, равных по модулю и противоположных по знаку, находящихся на некотором расстоянии друг от друга - *электрический диполь*.

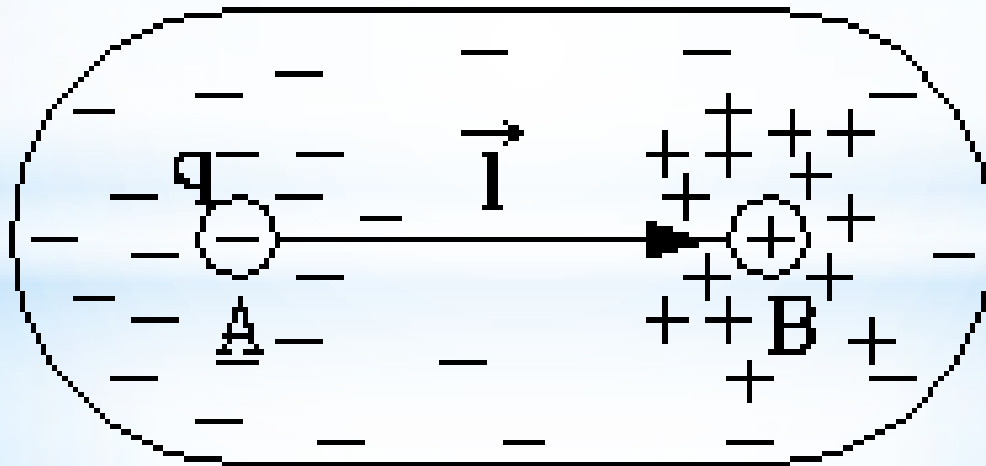


Рисунок 7.3 - Электрический диполь

Рассмотрим сначала неполярные молекулы. В поле на каждую заряженную частицу молекулы (на электроны и ядра атомов) действует электрическая сила. Сила, действующая на положительно заряженные частицы направлена вдоль вектора поля E , а на отрицательно заряженные - против вектора E . Молекула растягивается силами поля в разные стороны, вследствие чего заряды сместятся и центры зарядов разойдутся. Молекула приобретает дипольный момент, всегда направленный вдоль силовых линий поля

$$\vec{P} = q\vec{l}$$

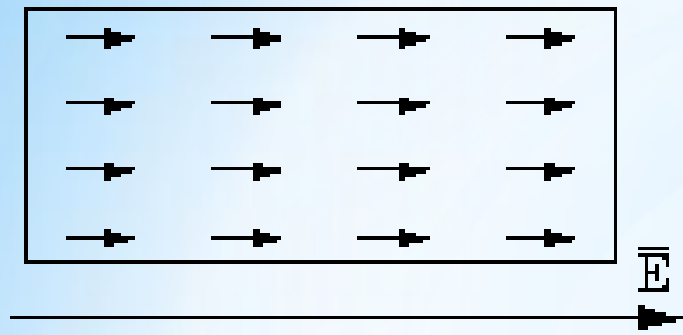


Рис. 1.12

Поля от таких диполей, складываясь, только усиливают друг друга диэлектрик приобретает

собственное электрическое поле. Оно накладывается на внешнее поле и искажает последнее. Так возникает поляризация неполярного диэлектрика. Вектор поляризации диэлектрика имеет вид:

$$\vec{P} = \alpha \varepsilon_0 \vec{E}$$

(7.8)

Где ϵ – диэлектрическая восприимчивость, показывает насколько хорошо поляризуется диэлектрик. Из рисунка 8.1 видно что

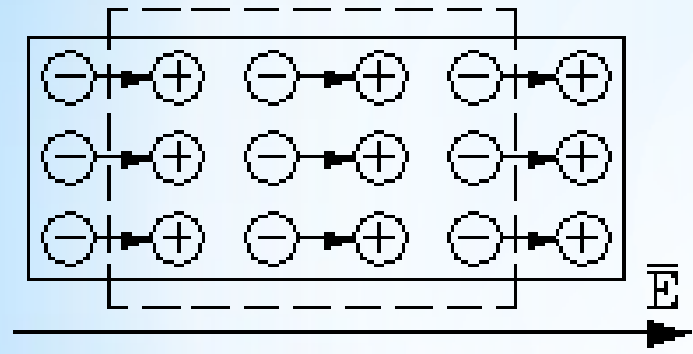


Рис. 1.13

$$\epsilon > 0$$

(7.9)

Т.е. механизм поляризации неполярных диэлектриков состоит в смещении связанных зарядов вдоль силовых линий поля.



Рис. 1.14

При поляризации в диэлектрик возникает не только собственное поле, но и нескомпенсированные заряды. На рис. 1.13 рисунке 8.3 изображены диполи диэлектрика. Они образуют цепочки, в которых отрицательный заряд предшествующего диполя "упирается" в положительный заряд последующего диполя и его как бы нейтрализует. По этой причине внутри диэлектрика зарядов не будет. Однако на поверхности (на торцах диэлектрика) заряды не компенсируются. Они и образуют поле диэлектрика (рис. 1.14). Из рисунка видно, что собственное поле внутри диэлектрика направлено против внешнего поля и ослабляет последнее.

Обратимся теперь к описанию поляризации полярного диэлектрика. Если внешнего поля нет, диполи отдельных молекул располагаются совершенно беспорядочно. Каждый диполь имеет собственное поле, но и поля различных диполей ориентированы беспорядочно по отношению друг к другу. В результате чего суммарное поле, создаваемое диполями, будет равно нулю, и диэлектрик вне поля не поляризован. Вектор поляризации при отсутствии внешнего поля также равен нулю, т.к. геометрическая сумма беспорядочно ориентированных дипольных моментов молекул равна нулю.

Когда диэлектрик попадает во внешнее электрическое поле, то каждый его диполь стремится ориентироваться по полю, хотя и постоянно сбивается с этого направления тепловыми столкновениями. В результате создается картина частичной ориентации диполей по полю, изображенная на (рис. 1.16). Его вектор поляризации станет отличным от нуля. На торцах образца появятся связанные заряды. Появится собственное электрическое поле, также ослабляющее внешнее поле внутри диэлектрика. Следует заметить, что поляризация полярных диэлектриков обычно сильнее, чем поляризация неполярных. Примером полярного диэлектрика может служить дистиллированная вода, имеющая большую поляризационную способность

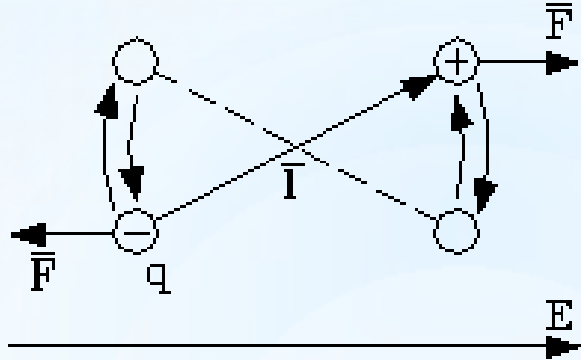


Рисунок 7.45

На полярную молекулу действует вращательный момент пары сил (см рис 7.45):

$$\vec{N} = [\vec{r}, \vec{F}] \quad (7.10)$$

$$\vec{N} = [\vec{l}, q\vec{E}] = [ql, \vec{E}] = [\vec{p}, \vec{E}]$$

$$\vec{N} = [\vec{p}, \vec{E}] \quad (7.11)$$

(8.3) - вращательный момент, действующий на полярную молекулу во внешнем поле.

В скалярном виде:

$$N = pE \sin \theta$$

Где θ – угол между \vec{P} и \vec{E}

Тогда

$$N = 0 \text{ при } \left\{ \begin{array}{l} \theta = 0 \\ \theta = \pi \end{array} \right.$$

Для диэлектрической восприимчивости полярных диэлектриков справедлива формула (8.2), и

$$\epsilon_{\text{полярных}} > \epsilon_{\text{неполярных}}$$

(7.12)

Механизм поляризации полярных диэлектриков состоит в повороте молекул вдоль внешнего поля.

2. Граничное условие для вектора поляризации

Граничное условие показывает, как изменится вектор поляризации при переходе через границу раздела сред. Рис 8.1

Выберем на границе раздела сред цилиндрический объем площадью поверхности dS и высотой h . P_{1n} и P_{2n} - нормальные составляющие вектора поляризации относительно границы раздела двух сред. Будем уменьшать высоту цилиндра, устремляя ее к поверхности раздела сред. При $h \rightarrow 0$ dS равна площади сечения цилиндра $ds = ds_1 = ds_2$

Так как

$$\int_{(s)} \vec{P} d\vec{S} = -Q_{\text{связ.}}$$

$$Q_{\text{связ.}} = \sigma_{\text{связ.}} ds$$

то

$$P_{2n} ds_2 - P_{1n} ds_1 = -\sigma_{\text{связ.}} ds$$

т.е.

$$P_{1n} - P_{2n} = \sigma_{\text{связ.}}$$

(8.1)

(8.1) – граничные условия для вектора поляризации на границе раздела двух сред.

Изменяется нормальная составляющая вектора поляризации на границе раздела.

Примеры:

1) Диэлектрик-вакуум

$$P_{2n} = 0$$

$$P_{1n} = \sigma_{\text{связ.}}$$

(8.2)

8.2) – граничные условия на поверхности раздела диэлектрика и вакуума.

2) Диэлектрик-металл (конденсатор).

В этом случае тоже справедливо условие (8.7).
Значит, связанные заряды находятся на поверхности диэлектрика и создают внутри диэлектрика поле \vec{E}' противоположно направленное внешнему полю \vec{E}_0 . Тогда напряженность поля в диэлектрике

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}'$$

будет меньше внешнего поля. Значит, электрическое поле ослабляется внутри диэлектрика.

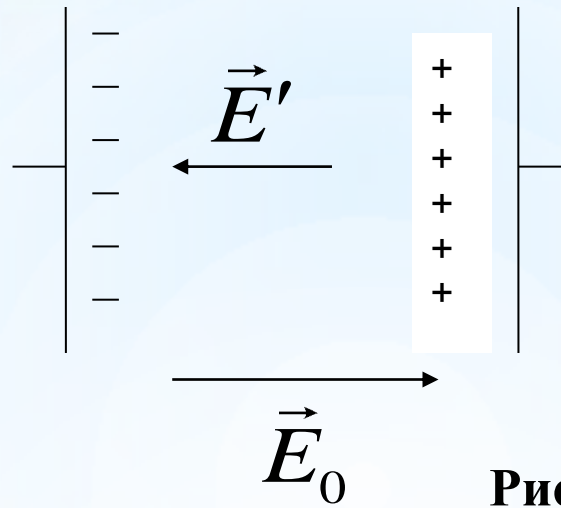


Рисунок 8.1

Можно доказать, что $\frac{E}{E_0} = 1 + \varepsilon$

Величина

$$\varepsilon = 1 + \varepsilon \quad (8.3)$$

называется *относительная диэлектрическая проницаемость среды*. Это безразмерная величина, большая единицы. Она показывает, во сколько раз поле внутри диэлектрика ослабляется по сравнению с вакуумом.