

Таким образом, поляризуемость дипольной упругой поляризации

$$\alpha_d = \frac{P_0^2}{|U_0|} \sin^2 \beta. \quad (9.38)$$

Видим, что α_d зависит от направления электрического поля. Она максимальна при $\beta = \frac{\pi}{2}$ и $\frac{3\pi}{2}$, т. е. когда $E \perp E_{вн}$, и равна нулю, когда $E \parallel E_{вн}$. Таким образом, вклад этого вида поляризации может обуславливать анизотропию диэлектрической проницаемости. Поляризуемость упруго связанных полярных молекул зависит также от величины момента каждой молекулы и энергии межмолекулярных связей $|U_0|$.

9.5. ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Важным отличием тепловой поляризации от упругой является сильная зависимость поляризуемости от температуры. Из изложенного выше следует, что при тепловом характере поляризации индуцированный внешним полем дипольный момент определяется не только напряженностью электрического поля, но и интенсивностью теплового движения частиц, участвующих в поляризации. Такими частицами являются диполи, ионы и электроны. В соответствии с этим различают *дипольную тепловую, ионную тепловую и электронную тепловую поляризации*.

В отличие от упругой поляризации тепловая поляризация устанавливается достаточно медленно. Приложение внешнего электрического поля к диэлектрику, находящемуся в состоянии термодинамического равновесия, приводит к определенной перестройке системы (диэлектрика). В результате этого через некоторое время, называемое *временем релаксации*, устанавливается новое поляризованное равновесное состояние. Если электрическое поле выключить, то за счет тепловых колебаний и перемещений частиц восстанавливается хаотическая ориентация диполей или хаотическое распределение электронов и ионов в «ловушках». Поляризованное состояние через некоторое время исчезает. Уменьшение поляризации со временем описывается выражением

$$P = P_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right). \quad (9.39)$$

В (9.39) входит параметр τ — время, в течение которого поляризация уменьшается в e раз по сравнению с начальной величиной. Это и есть время релаксации. Оно характеризует не только скорость исчезновения поляризации после выключения поля, но и скорость возрастания P после включения поля.

Иногда тепловую поляризацию называют также *релаксационной*.

Необходимо заметить, что упругая поляризация устанавливается со скоростью, во много раз большей скорости установления термодинамического равновесия в системе.

Наиболее простым видом поляризации, зависящей от теплового движения частиц, является поляризация, обусловленная движением отдельных ионов внутри диэлектрика. В связи с этим рассмотрим сначала основные закономерности тепловой ионной поляризации.

9.6. ИОННАЯ ТЕПЛОВАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ

Во многих диэлектриках имеются слабосвязанные ионы. Это могут быть ионы, находящиеся в междоузлиях, или ионы, локализованные вблизи структурных дефектов. За счет тепловых флуктуаций ионы могут переходить из одних положений равновесия в другие, преодолевая потенциальные барьеры. При отсутствии внешнего электрического поля такие перемещения являются случайными и диэлектрик остается неполяризованным. Под действием поля изменяется потенциальный рельеф и появляется некоторое преимущественное перемещение ионов в дефектных областях. Таким образом возникает поляризация. В зависимости от особенностей структуры диэлектрика и типа дефектов время релаксации ионной тепловой поляризации при комнатной температуре колеблется от 10^{-8} до 10^{-4} с.

Предположим, что движение иона может происходить лишь в ограниченной области. Пусть зависимость потенциальной энергии иона от расстояния в этой области имеет вид, показанный на рис. 9.5. Ион, находящийся в равновесном положении 1, может перескочить в другое равновесное положение 2, находящееся на расстоянии δ от первого, если его энергия в какой-то момент будет $\geq U_0$. Поскольку вероятность переброса равна

$\frac{v_0}{\kappa_B T}$, число частиц в единице объема, преодолевающих барьер в направлении x в единицу времени, равно

$$n = \frac{n_0}{6} \nu \exp\left(-\frac{U_0}{\kappa_B T}\right). \quad (9.40)$$

Здесь n_0 — общее число слабосвязанных ионов в единице объема, ν — частота колебаний иона. В справедливости (9.40) легко убедиться. Действительно, из-за хаотичности теплового движения можно считать, что вдоль каждой из трех взаимно перпендикулярных осей движется одна треть ионов. Половина из них, т. е. $\frac{n_0}{6}$, движется в положительном направлении оси x .