

Вычисление напряженности поля  $\vec{E}_3$ , т. е. поля, создаваемого молекулами, расположенными внутри сферы Лорентца, не может быть выполнено без учета структуры диэлектрика. В случае газов, неполярных жидкостей или кубических кристаллов

можно считать  $\vec{E}_3=0$ . Действительно, при хаотическом распределении молекул (газ, неполярная жидкость) для каждой молекулы внутри сферы Лорентца всегда можно найти другую, действие которой на выбранную нами молекулу компенсирует действие первой. В кристаллах такая компенсация возможна для высокосимметричных структур (например, кубических).

Итак, в приближении Лорентца  $\vec{E}_3=0$ . С учетом изложенного

$$E_{\text{лок}} = \frac{P}{\epsilon_0(\epsilon-1)} + \frac{P}{3\epsilon_0} = \frac{\epsilon+2}{\epsilon-1} \cdot \frac{P}{3\epsilon_0}. \quad (9.65)$$

Подставляя (9.65) в (9.59), находим

$$\frac{\epsilon-1}{\epsilon+2} = \frac{1}{3\epsilon_0} \sum_m n_m \alpha_m. \quad (9.66)$$

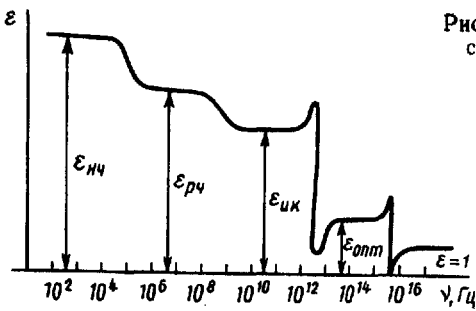
Уравнение (9.66), известное как *уравнение Клаузиуса—Мосотти*, устанавливает связь между диэлектрической проницаемостью и поляризуемостью. Еще раз подчеркнем, что оно справедливо лишь для тех кристаллических структур, для которых в силу симметрии поле  $\vec{E}_3=0$ .

## 9.10. ЧАСТОТНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ

Если диэлектрик помещен в постоянное электрическое поле, то все виды поляризации, присущие данному веществу, успевают установиться. В этом случае вклад в  $\epsilon$  вносят как быстрые, так и медленные механизмы поляризации. В переменном электрическом поле с увеличением частоты  $\nu$  начинают запаздывать сначала наиболее медленные, а затем другие виды поляризации. Это приводит к изменению диэлектрической проницаемости (к *дисперсии*  $\epsilon$ ).

Общий вид зависимости  $\epsilon(\nu)$  показан на рис. 9.10. В области низких частот вклад в  $\epsilon$  вносят все виды поляризации, однако при  $\nu=10^4 \div 10^5$  Гц начинают «выключаться» различные виды объемно-зарядной поляризации, связанной с движением и накоплением на границах раздела неоднородного диэлектрика заряженных частиц (электронов, ионов). В диапазоне радиочастот ( $10^4$ — $10^{11}$  Гц) перестают вносить вклад в  $\epsilon$  тепловые механизмы поляризации (электронная, ионная и дипольная).

Рис. 9.10. Зависимость диэлектрической проницаемости от частоты



При частотах, соответствующих инфракрасной области спектра ( $10^{11}$ — $10^{15}$  Гц), происходит запаздывание ионной упругой и дипольной упругой поляризации. В области оптических частот ( $10^{15}$ — $10^{17}$  Гц) диэлектрическая проницаемость обусловлена только электронной упругой поляризуемостью. При столь высоких частотах из-за инерционности никакие другие механизмы поляризации не успевают установиться. В полях с частотами выше  $10^{17}$ — $10^{18}$  Гц поляризация уже невозможна и  $\epsilon = 1$ .

Ясно, что, изучая зависимость диэлектрической проницаемости от частоты, можно экспериментально выделить вклады различных видов поляризуемости. Так, например, вклад электронной упругой поляризации может быть найден путем измерения  $\epsilon$  на оптических частотах ( $\epsilon_{\text{опт}}$ ). Из уравнений Максвелла следует, что оптический показатель преломления вещества  $n = \sqrt{\epsilon \mu}$ , где  $\mu$  — относительная магнитная проницаемость. На оптических частотах  $\mu \approx 1$ , поэтому  $\epsilon_{\text{опт}} = n^2$ . Таким образом, в оптическом диапазоне частот имеем

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} = \frac{n_e \alpha_e}{3 \epsilon_0} \quad (9.66)$$

Из уравнения (9.66) могут быть найдены электронные поляризуемости атомов и ионов.

Исследование зависимости диэлектрической проницаемости от частоты или, другими словами, диэлектрических спектров дает важную информацию о свойствах диэлектриков. По этой зависимости можно сделать качественные выводы о физической природе и механизмах диэлектрической поляризации, а также получить количественные данные о вкладах этих механизмов.

### 9.11. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ НЕЦЕНТРОСИММЕТРИЧНЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

В диэлектриках с нецентросимметричной структурой кроме рассмотренных выше механизмов поляризации, индуцированной внешним полем, возможна *вынужденная поляризация*, при которой дипольный момент возникает под действием механиче-