

а состояние с возбуждением на узле  $p$  — вид

$$\Psi_p = \varphi'_p \prod_{q \neq p} \varphi_q. \quad (14.66)$$

Тогда полученное в результате проектирования состояние с правильной трансляционной симметрией  $k$ , называемое *экситоном*, дается выражением

$$\Psi_{\text{экс}}^{(k)} = \sum_p \exp(i\mathbf{k} \cdot \mathbf{p}) \Psi_p. \quad (14.67)$$

Отметим отличие от модели сильной связи, где состояния, которые мы строили, были одноэлектронными. Таким образом, экситон с волновым вектором  $k$  — это возбуждение, распространяющееся по кристаллу (но, разумеется, не переносящее заряда). Энергия этого возбуждения зависит от вектора  $k$ , но лишь в небольшой степени; она примерно равна энергии атомного возбуждения.

## § 8. ПРАВИЛА ОТБОРА ПРИ РАССЕЯНИИ

Правила отбора для процессов рассеяния в кристаллах можно вывести непосредственно из простого выражения (14.15) для произведения представлений. Например, если мы рассматриваем рассеяние электрона в кристалле (электрон-фононное рассеяние), то вероятность рассеяния из состояния с волновым вектором  $k$  в состояние с волновым вектором  $k'$  вследствие поглощения фона с волновым вектором  $q$  будет зависеть от матричного элемента, который равен нулю, если только произведение представлений  $T^{(q)} \otimes T^{(k)}$  не содержит представления  $T^{(k')}$ . Согласно формуле (14.15), это означает, что

$$k' = q + k + K_m. \quad (14.68)$$

Рассеяние с  $K_m = 0$  обычно называется прямым, а с  $K_m \neq 0$  — рассеянием с перебросом. Равенство (14.68) часто называют законом сохранения квазимпульса в кристалле. В процессе рассеяния должна сохраняться и энергия, так что выполняется еще и соотношение

$$\hbar\omega_q + \epsilon(k) = \epsilon(k'). \quad (14.69)$$

Аналогичные соотношения справедливы и для других процессов рассеяния: электрон-магнонного, магнон-фононного, электрон-фононного, фонон-фононного, магнон-экситонного.