

а) Пусть k_0 есть зонный экстремум ($\nabla_k E_n(k)|_{k_0} = 0$). Вычислите $E(k_0 + k)$ во втором порядке теории возмущений. Проведите различие между случаями невырожденного и вырожденного зонного экстремума.

б) Как упростить результат а) для двухзонной модели (n принимает только два значения: 1, 2)?

в) Используя приближение почти свободных электронов, вычислите $E(k)$ вблизи брэгговского отражения и сравните результат с тем, который получен в б).

8. Для полупроводников со структурой алмаза или цинковой обманки k - p -метод, упомянутый в задаче 7 к гл. III, IV ч. I, в окрестности точки Γ (ч. I, рис. 39) дает соотношение

$$E'\{E'(E' - E_0)(E' + \Delta) - k^2 P^2[E' + 2/3\Delta]\} = 0$$

с $E' = E(k) - \hbar^2 k^2 / 2m$ и данными параметрами и матричными элементами E_0 , P и Δ . Отсюда находят $E(k)$ для малых k для зоны проводимости и валентной зоны. Какие эффективные массы появляются для электронов в зоне проводимости и дырок в валентных зонах? (Самая высокая валентная зона плохо описывается в этом приближении, поскольку принимается в расчет только общее взаимодействие четырех зон.) Какова структура зон проводимости InSb для больших величин k ? (Для InSb можно положить $\Delta \gg E_0, kP$).

Полезно получить уравнение, указанное выше, следуя оригинальной трактовке Кейпа [E. O. Kane: J. Phys. Chem. Solids, 1957, v. 1, p. 249].

К главам III, V—VII ч. I

1. Получите каноническое преобразование, посредством которого может быть исключено взаимодействие электрон — плазмон из гамильтониана (ч. I, 12.8). Как изменяется эффективная масса электрона и плазменная частота?

2. Рассчитайте $1s$ -, $2s$ - и $2p$ -состояния экситона Вальфе в полупроводнике с анизотропной эффективной массой электрона ($m_{\parallel}$, $m_{\perp}$) и анизотропной диэлектрической постоянной ($\epsilon_{\parallel}$, $\epsilon_{\perp}$) (пример: CdS).

3. Пусть бозонный газ имеет концентрацию $n = N/V_0$. Распределение бозонов по возможным квантовым состояниям E_q определяется функцией распределения Бозе

$$f_B = (\exp[(E_q - \mu)/k_B T] - 1)^{-1}.$$

а) Определите температурную зависимость химического потенциала $\mu(T)$ и сравните ее с температурной зависимостью химического потенциала для фермионного газа.

б) Почему для фононов при всех температурах $\mu = 0$?

4. Дисперсионные кривые для фононов в алмазе (ч. I, рис. 48).

а) Почему вырождены при $q = 0$ LO- и TO-ветви?

б) Используйте результаты задачи 3 к гл. II, IV ч. I, чтобы обсудить дисперсионную кривую по оси Δ .

Алмаз имеет гранецентрированную кубическую решетку с базисом.

5. а) Рассчитайте плотность состояний, показанную на ч. I, рис. 49, а для линейной цепочки с одноатомным и двухатомным базисом.

б) Для монокристаллической линейной цепочки рассчитайте удельную теплоемкость и обсудите ее температурную зависимость при низких и высоких температурах.

6. а) Рассчитайте намагниченность $M(T)$ при низких температурах для двумерной квадратной решетки и для простой кубической решетки.

б) Какие трудности возникают в двумерном случае? Каковы причины для них и какие следствия из них вытекают?

в) Каков эффект (слабого) магнитного поля?