7. В сильных магнитных полях в вырожденном электронном газе обнаруживают осциллирующее магнетосопротивление, подобное эффекту де Гааза — ван Альфвена, изложенному в ч. I, § 9 (*эффект де Гааза — Шубникова*). Обсудите качественно источник этих осцилляций для простейшего случая продольного магнетосопротивления ($\mathbf{B} \| \mathbf{E}$).

### К главе X ч. II

1. Используйте (ч. II. 83.4) и (ч. II. 84.5) для расчета электронной теплоемкости сверхпроводника. Какова температурная зависимость этой величины для $T \to 0$?

2. а) Введите операторы рождения и уничтожения $b_{\mathbf{k}}^{+}$, $b_{\mathbf{k}}$ для куперовских пар и вероятности заполнения $p_{\mathbf{k}}$ для пар состояний ($\mathbf{k}$, $\sigma$; $-\mathbf{k}$, $-\sigma$) в гамильтониан (ч. II. 82.3) и волновую функцию (ч. II. 88.19). Какие коммутационные соотношения имеют силу для $b_{\mathbf{k}}^{+}$, $b_{\mathbf{k}}$?

б) Рассчитайте ожидаемое значение энергии и минимизируйте его относительно $p_{\mathbf{k}}$.

в) Обсудите смысл этой процедуры и проверьте основные результаты, полученные другим путем в ч. II, § 83.

3. Рассмотрите сверхпроводник, который для $T \neq 0$ содержит куперовские пары и одиночные возбужденные электроны. Введите вероятности заполнения для обоих возбуждений. Рассчитайте ожидаемое значение энергии для $T \neq 0$, полученное для нулевой температуры в задаче 2б к гл. X ч. II.

б) Используйте этот результат, чтобы записать свободную энергию сверхпроводника как функцию $T$, и минимизируйте ее как в задаче 2 к гл. X ч. II.

4. а) Обсудите квантование потока, используя приближение Гинзбурга — Ландау.

б) Обсудите эффект Джозефсона, используя зависящее от времени уравнение Шредингера для параметра порядка, где $\partial\Psi/\partial t$ на одной стороне контакта связана линейно с $\Psi$ на другой стороне, и наоборот. Покажите, что постоянный ток пропорционален $\sin(\delta - 2eVt/\hbar)$, где $V$ — приложенное напряжение и $\delta$ — разность фаз параметра порядка на обеих сторонах контакта.

### К главе IX ч. II

1. Обсудите «магнон-поляритон». Какие уравнения заменяют (ч. II. 65.4)? Каковы дисперсионные уравнения?

2. Во многих полупроводниках (например, Ge, Si, III — V соединениях) валентная зона вырождена при $\mathbf{k} = 0$, т. е. две зоны (приблизительно изотропные и параболические) с эффективными массами $m_1$, $m_2$ вместе образуют верхний край валентной зоны. Третья валентная подзона имеет свой максимум при энергии $\Delta$, энергию спин-орбитального расщепления ниже этого края (см. задачу 8 к гл. II, IV ч. I). Прямые оптические переходы могут иметь место между этими тремя подзонами (внутризонные переходы). Как модифицировались бы результаты ч. II, § 68 для этого случая?

3. Уравнение (ч. II. 68.21) для поглощения, обусловленного прямыми оптическими переходами, часто записывается в другой форме путем введения *сил осцилляторов* $f_{j'j}$:

$$f_{j'j} = (2/m\hbar\omega_{j'j})\,|p_{j'j}|^2,$$

где $p_{j'j}$ — матричный элемент импульса, $\omega_{j'j}$ — частота перехода.

Докажите правило сумм

$$\sum_{j'} f_{j'j} = 1 - (m/m_j^*).$$