A decorative graphic consisting of a thin gold circle on the left side. A thick black bracket is positioned on the left side of the circle, and a thick gold bracket is on the right side. A horizontal bar with a gold-to-white gradient is placed across the middle of the circle, containing the title text.

Квантовые многочастичные эффекты

1. Приближение Хартри – Фока.
2. Деполяризационный сдвиг.
3. Обменное усиление спинового, долинного и дуплетного расщеплений.
4. Вигнеровский кристалл.

Приближение Хартри-Фока

$$\hat{\mathcal{H}}\psi(r_1, r_2, \dots, r_N) = \mathcal{E}\psi(r_1, r_2, \dots, r_N) \quad \hat{\mathcal{H}} = \sum_i^{1, N} \hat{\mathcal{H}}_i + \frac{1}{2} \sum_{ij}^{1, N} \frac{e^2}{r_{ij}} \quad \hat{\mathcal{H}}_i = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla_i^2 + V(r_i)$$

Приближение среднего поля Хартри.

$$\hat{\mathcal{H}} = \sum_{i=1}^N \hat{\mathcal{H}}'_i \quad \hat{\mathcal{H}}'_i = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla_i^2 + V(r_i) + \mathcal{U}_{\text{eff}}(r_i)$$

$$\psi(r_1, r_2, \dots, r_N) = \psi_{n_1}(r_1) \psi_{n_2}(r_2) \dots \psi_{n_N}(r_N) \quad \hat{\mathcal{H}}'_i \psi_{n_i}(r_i) = \mathcal{E}_{n_i} \psi_{n_i}(r_i) \quad \mathcal{E} = \sum_{i=1}^N \mathcal{E}_{n_i}$$

Учет принципа Паули.

$$v_1(1/2) = 1, \quad v_1(-1/2) = 0, \quad v_2(1/2) = 0, \quad v_2(-1/2) = 1. \quad \psi_{n_i}(r_i) v_k(s_i) = \varphi_j(l)$$

$$\Phi(1, 2, 3, \dots, N) = \frac{1}{\sqrt{N!}} \begin{vmatrix} \varphi_1(1) & \varphi_1(2) & \dots & \varphi_1(N) \\ \varphi_2(1) & \varphi_2(2) & \dots & \varphi_2(N) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \varphi_N(1) & \varphi_N(2) & \dots & \varphi_N(N) \end{vmatrix}$$

Эффективный потенциал

$$\begin{aligned}
 \mathcal{E} = & \sum_i^{1, N} \int \psi_{n_i}^*(r_1) \hat{\mathcal{H}}_1 \psi_{n_i}(r_1) dr_1 + \frac{1}{2} \sum_{i, j}^{1, N} \int |\psi_{n_i}(r_1)|^2 \frac{e^2}{r_{12}} |\psi_{n_j}(r_2)|^2 dr_1 dr_2 \\
 & - \frac{1}{2} \sum_{i, j}^{1, N} \int \psi_{n_i}^*(r_1) \psi_{n_j}(r_1) \frac{e^2}{r_{12}} \psi_{n_i}(r_2) \psi_{n_j}^*(r_2) dr_1 dr_2
 \end{aligned}$$

$$U_{\text{eff}}(r_1) = \sum_j \int \frac{e^2 |\psi_{n_j}(r_2)|^2}{r_{12}} dr_2 - \sum_j \frac{\psi_{n_j}(r_1)}{\psi_{n_i}(r_1)} \int \frac{e^2 \psi_{n_i}(r_2) \psi_{n_j}(r_2)}{r_{12}} dr_2$$

Энергия Хартри

Обменная энергия Фока,
суммирование ведется только
по электронам с параллельным спином

Межподзональные переходы

$$\sigma_{zz}(\omega) = \frac{N_s e^2 f_{10}}{m} \frac{-i\omega}{\omega_{10}^2 - \omega^2 - 2i\omega/\tau} \quad J_z = \sigma_{zz}(\omega)E \quad \hbar\omega_{10} = E_1 - E_0$$

$$E_{\text{внеш}} = \chi_{zz}(\omega)E \quad \chi_{zz}(\omega) = 1 + \frac{4\pi i}{\chi_{\text{пп}} \omega} \frac{1}{d_{\text{эфф}}} \sigma_{zz}(\omega) \quad J_z = \tilde{\sigma}_{zz}(\omega)E_{\text{внеш}}$$

$$\tilde{\sigma}_{zz}(\omega) = \sigma_{zz}(\omega)\chi_{zz}(\omega)^{-1} \quad \tilde{\sigma}_{zz}(\omega) = \frac{N_s e^2 f_{10}}{m} \frac{-i\omega}{\tilde{\omega}_{10}^2 - \omega^2 - 2i\omega/\tau}$$

$$\tilde{\omega}_{10}^2 = \omega_{10}^2 + \tilde{\omega}_p^2 \quad \tilde{\omega}_p^2 = \frac{4\pi N_s e^2 f_{10}}{\chi_{\text{пп}} m d_{\text{эфф}}}$$

Обменное усиление спинового расщепления

$$\Delta_{\uparrow\downarrow} = gmB + N_{\downarrow}u_{eff\downarrow} - N_{\uparrow}u_{eff\uparrow}$$

Пренебрегая разницей между $u_{eff\uparrow\downarrow}$

$$\Delta_{\uparrow\downarrow} = gmB + (N_{\downarrow} - N_{\uparrow})u_{eff}$$

$$N_{\downarrow} - N_{\uparrow} = \int_0^{\Delta_{\uparrow\downarrow}} g_s(e) f(e) de$$

В сильном магнитном поле

При целочисленном факторе заполнения

$$E_{LL\uparrow\downarrow} = E_{0\uparrow\downarrow} + (M_{\uparrow\downarrow} + 1/2(1 \pm \Delta_{\uparrow\downarrow}))\hbar\omega_c$$

$$N_{\downarrow} - N_{\uparrow} = (n_{\downarrow} - n_{\uparrow})N_c = (n_{\downarrow} - n_{\uparrow})g_{2D}\hbar\omega_c$$

$$\Delta_{\downarrow\uparrow} = gmB + (n_{\downarrow} - n_{\uparrow})g_{2D}\hbar\omega_c u_{eff} = g^* mB$$

$$g^* = \left(1 + (n_{\downarrow} - n_{\uparrow}) \frac{g_{2D}\hbar e}{mgm} u_{eff} \right) g$$

Осцилляции фактора Ландэ

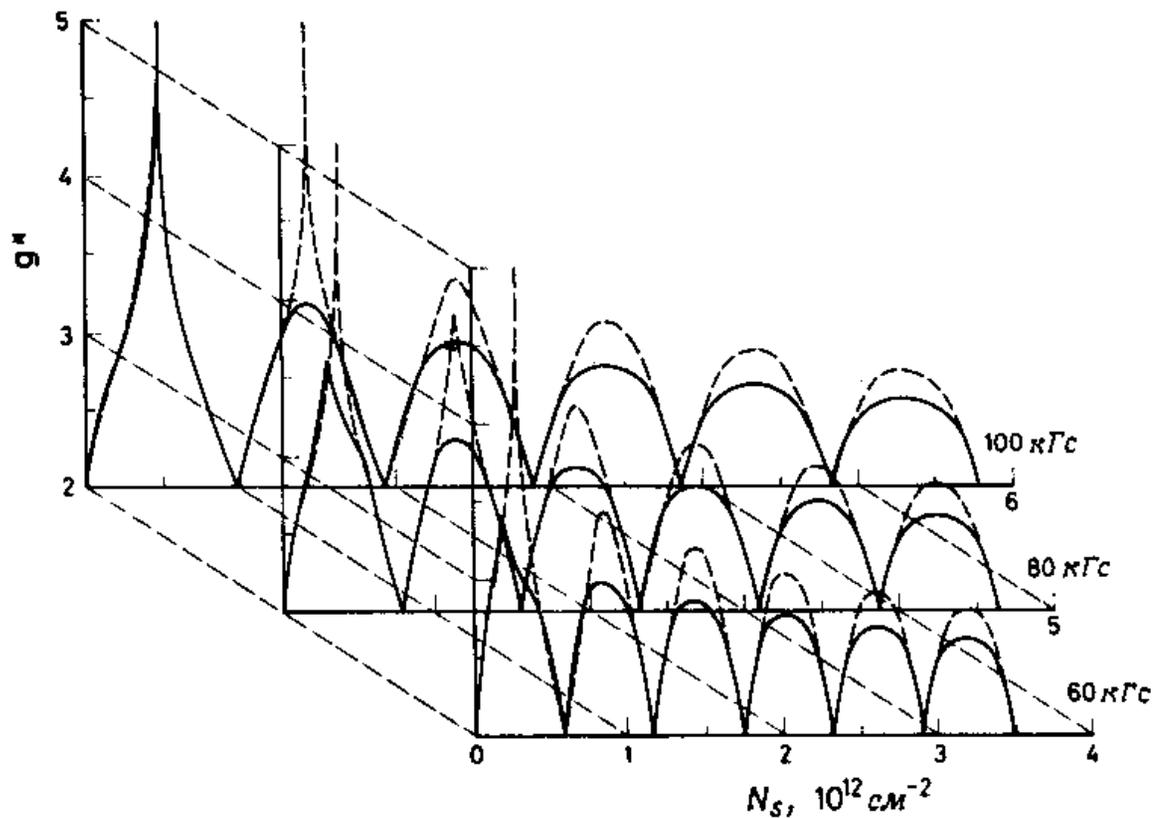
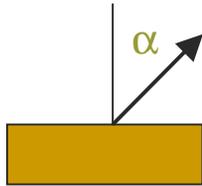


Рис. 126. Теоретически рассчитанные осцилляции g -фактора в зависимости от концентрации электронов при различных напряженностях магнитного поля [81]. Сплошные и штриховые линии соответствуют g -фактору при ширине уровней $\Gamma_N = \Gamma$ и $\Gamma_N = 0,8 \Gamma$ соответственно.

Метод совпадений



$$\Delta_{\downarrow\uparrow} = gmB + (n_{\downarrow} - n_{\uparrow})g_{2D}\hbar\omega_c u_{eff} \cos a$$

$$\Delta_{\downarrow\uparrow}(a_0) = 0 \Rightarrow a_0 = \arccos\left((n_{\downarrow} - n_{\uparrow})\frac{g_{2D}\hbar e}{mgm}u_{eff}\right)^{-1}$$

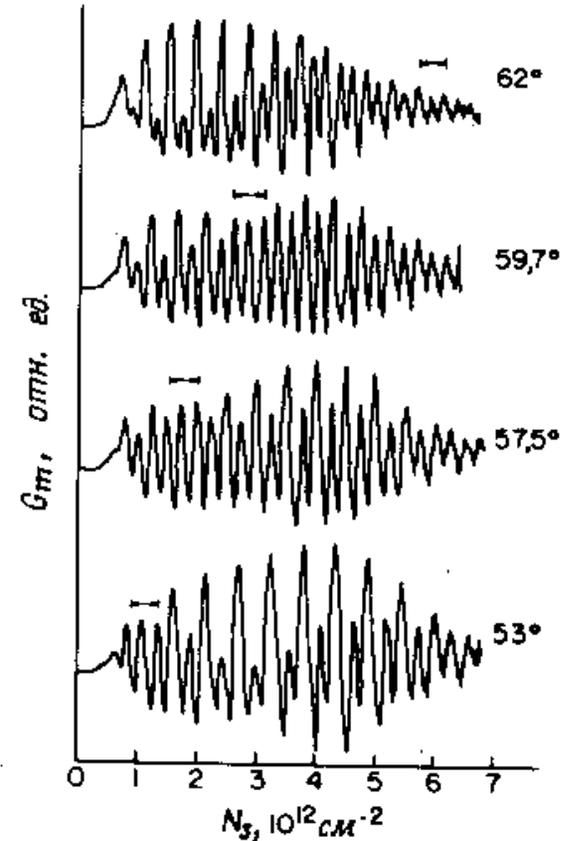


Рис. 125. Осциллирующая зависимость дифференциальной проводимости G_m от поверхностной концентрации электронов при $H = 90$ кГс для различных углов наклона θ [523]. Стрелки указывают значения N_s , соответствующие одинаковым энергетическим зазорам.