

Квантовый эффект Холла.

1) Двумерный электронный газ.

а) тонкая металлическая пластина, в которой помещается только один уровень размерного квантования:

$$\frac{\pi^2 \hbar^2}{2mL^2} < E_F < \frac{4\pi^2 \hbar^2}{2mL^2}.$$

б) Гетероструктура. Вблизи границы раздела формируется потенциальная яма. Далее — как в пункте а).

в) Графен.

2) Уровни Ландау в двумерном газе — настоящие уровни, а не зоны Ландау, как в 3D-проводниках

$$E_n = \hbar\omega\left(n + \frac{1}{2}\right).$$

Уровни вырождены по y -координате центра орбиты. Кратность вырождения:

$$N_H = \frac{\Phi}{\Phi_0}, \quad \Phi_0 = \frac{2\pi\hbar^2 c}{e}$$

квант магнитного потока, $\Phi = SH$ — полный поток магнитный через образец, $l_H = \sqrt{\frac{c\hbar}{eH}}$ — магнитная длина (характерный размер циклотронной орбиты в квантовом случае).

$N_H \approx$ число плотноупакованных циклотронных орбит в образце.

~~Из-за~~ Из-за электронного рассеяния уровни Ландау слегка размываются в узкую зону.

3) Эффект Холла - в проводнике с током в магнитном поле возникает напряжение в направлении перпендикулярно \vec{H} и перпендикулярно \vec{I} . Причиной - известный из электродинамики дрейф циклотронных орбит.

$$I = ne v s, \quad s = v \cdot d \begin{matrix} \text{— ширина} \\ \text{— толщина} \end{matrix}$$

На электроны действует сила перпендикулярно \vec{H} и \vec{I} ,

$$F_L = \frac{e}{c} H v$$

Электроны смещаются к границе образца, пока не возникнет разность потенциалов, уравновешивающая F_L .

$$V_H = v \cdot \frac{v H}{c} = \frac{I H}{c n e d} = R_H \cdot I$$

$$R_H = \frac{H}{c n e d} \text{ — холловское сопротивление.}$$

В двумерных системах

$$R_H^{(2)} = \frac{H}{c e n_s},$$

где n_s - двумерная концентрация электронов.

Если ток переносится дырками, R_H меняет знак

4) Целочисленный квантовый эффект Холла.

Как было замечено Клитцингом (1980), при низких температурах $\sim 1\text{K}$ в сильных магнитных полях линейная зависимость $R_H(H)$ сменяется серией ступеней и плато. R_H на этих ступенях - комбинация широтных констант, деленная на целое число. ν

$$R_H = \frac{2\pi\hbar}{\nu e^2},$$

$$\nu = 1, 2, 3, \dots$$

Когда на ступенях плато, продольное электрическое поле исчезает.

5). Объяснение качественное:

$$J_x = \sigma_{xx} E_x + \sigma_{xy} E_y$$

$$J_y = \sigma_{yx} E_x + \sigma_{yy} E_y.$$

Обращенный тензор:

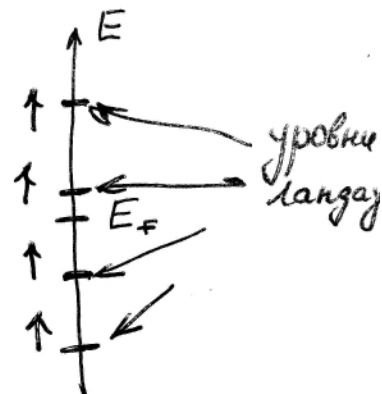
$$\rho_{xx} = \frac{\sigma_{xx}}{\sigma_{xx}^2 + \sigma_{xy}^2}, \quad \rho_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_{xx}^2 + \sigma_{xy}^2}.$$

Когда магнитное поле таково, что E_F между уровнями Ландау, $\sigma_{xx} = 0$, и

$$\rho_{xx} = 0, \quad \rho_{xy} = \frac{1}{\sigma_{xy}}.$$

При этом

$$R_H = \frac{h}{e^2 \cdot (\text{число состояний под } E_F)}$$



Когда, меняя H , мы протаскиваем очередной уровень Ландау через E_F , скачком меняется R_H , а потом застывает в виде плато.

- 4 -

$$R_H = \frac{H}{c R \nu \cdot (N_H/S)} = \frac{2\pi h}{\nu e^2}$$