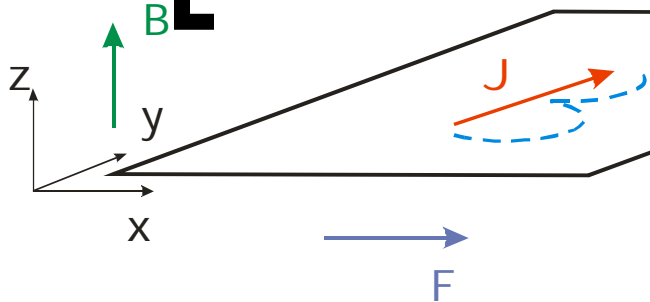




Квантовый эффект Холла

1. Эффект Холла.
2. Эффект Холла с учетом квантования. Эксперимент.
3. Модель резервуара.
4. Модель делокализованных состояний. Модель Лафлина.

Эффект Холла



$$\frac{m\vec{v}_d}{t} = e\vec{F} + \frac{e}{c}[\vec{v}_d \times \vec{B}]$$

$$w_c = \frac{eB}{mc}$$

$$v_{dy} = -v_{dx} w_c t \quad v_{dx} = \frac{eFt}{m(1 + w_c^2 t^2)}$$

$$j_x = s_{xx} F = env_{dx}$$

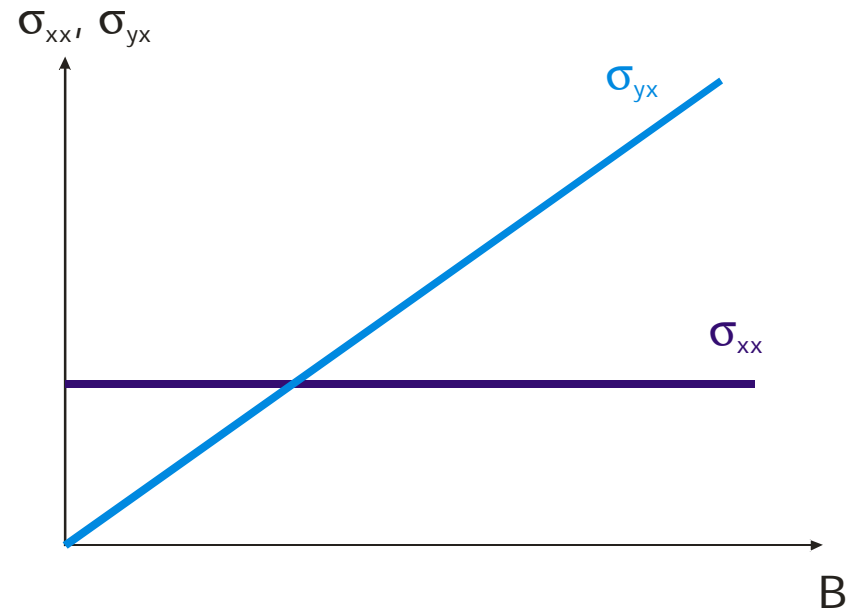
=>

$$s_{xx} = \frac{e^2 nt}{m(1 + w_c^2 t^2)}$$

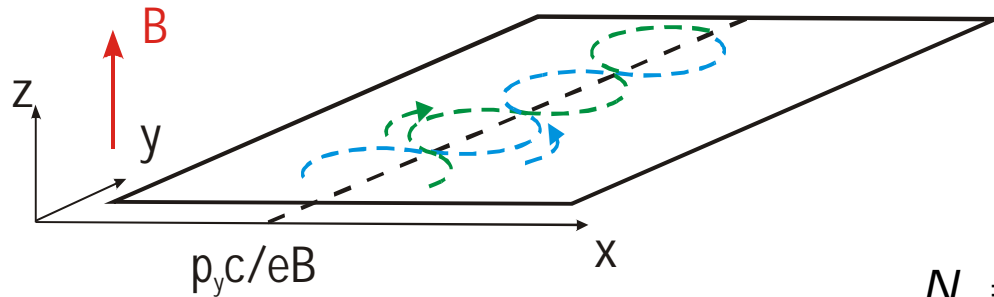
$$j_y = s_{yx} F = env_{dy}$$

$$s_{xy} = \frac{e^2 n w_c t^2}{m(1 + w_c^2 t^2)}$$

Слабое магнитное поле $w_c t \ll 1$



Вырождение уровней Ландау



$$\frac{\Delta p_y c}{eB} = L_x$$

$$N_c = \frac{\Delta p_y L_y}{2ph}$$

$$N_c = \frac{eBS}{2phc} = \frac{S}{2pl_c^2}$$

$$N_c = \frac{eBS}{2phc} = \frac{\Phi}{\Phi_0}$$

$$\Phi_0 = \frac{hc}{e} \quad \text{- квант магнитного потока} \quad l_c = \sqrt{\frac{hc}{eB}} \quad \text{- магнитная длина}$$

$$n = \frac{N}{N_c} = \frac{chn}{eB} = 2pl_c^2 n \quad \text{- заселенность уровней Ландау}$$

При целочисленном ν плотность состояний на уровне Ферми равна 0

Квантовый эффект Холла

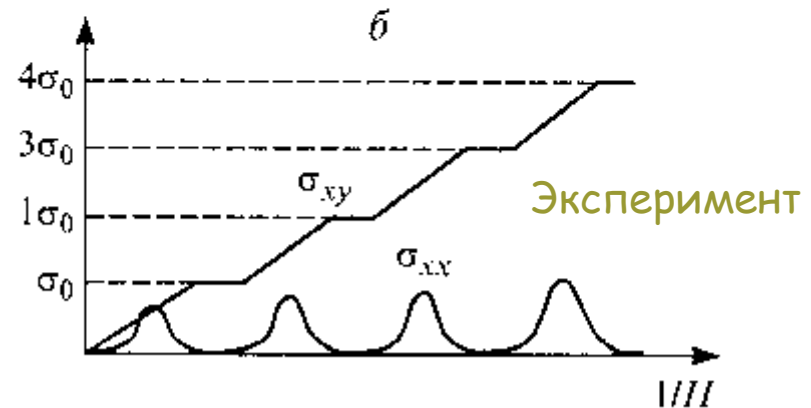
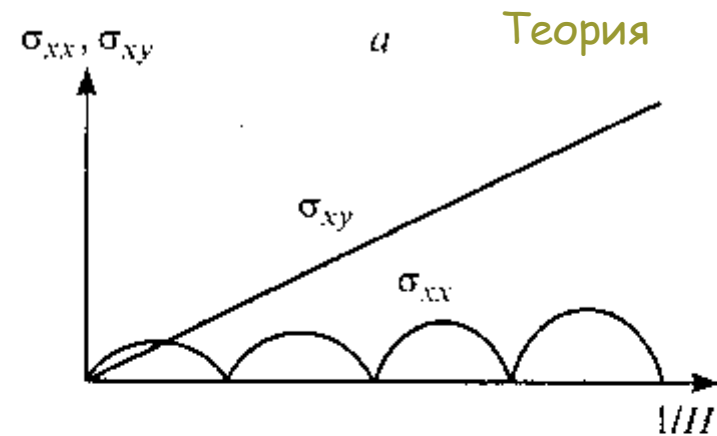
Сильное магнитное поле $\omega_c t \gg 1$

$$S_{xx} = \frac{e^2 n t}{m(1 + \omega_c^2 t^2)} \approx \frac{e^2 n}{m \omega_c^2 t} = \frac{e^2}{h \omega_c t} n$$

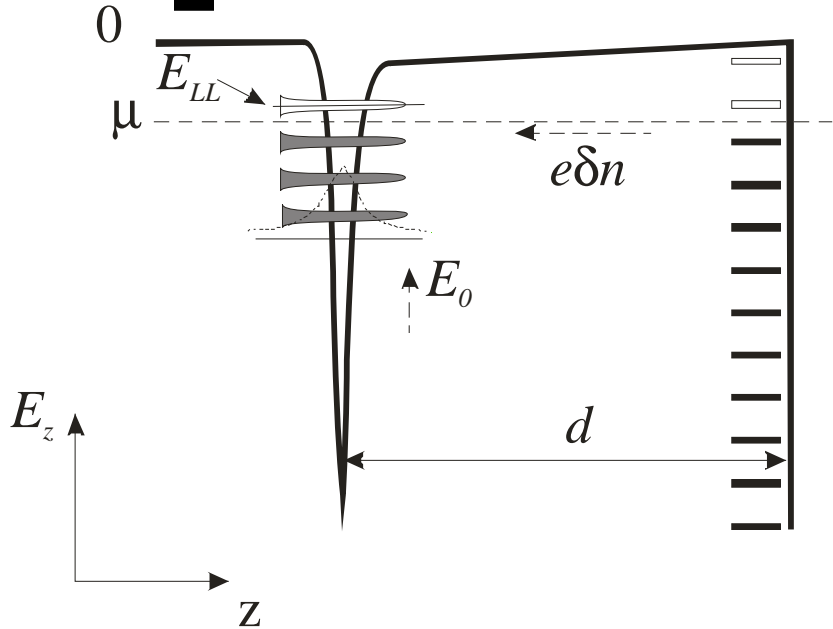
$$S_{xy} = \frac{e^2 n \omega_c t^2}{m(1 + \omega_c^2 t^2)} \approx \frac{e^2 n}{m \omega_c} = \frac{e^2}{h} n$$

При $\nu = M \in \mathbb{N}$, $1/\tau \rightarrow 0$ и $\sigma_{xx} = 0$, а

$$s_{xy} = M s_0 = \frac{2 M e^2}{h}$$



Модель резервуара



$$dw_c = \frac{edB}{mc} \quad dE_{LL} = dE_0 + (N + 1/2)\hbar dw_c$$

$$dE_0 = \frac{e^2 dn}{C} \quad C = \frac{ee_0}{d}$$

$$dn = ndn_c = 2Ng_{2D}\hbar dw_c$$

$$\frac{1}{\hbar} \frac{\partial E_{LL}}{\partial w_c} = \frac{2e^2 Ng_{2D}}{C} + N + 1/2$$

Для замкнутой двумерной системы $n = \text{const}$, $d \rightarrow \infty$ и

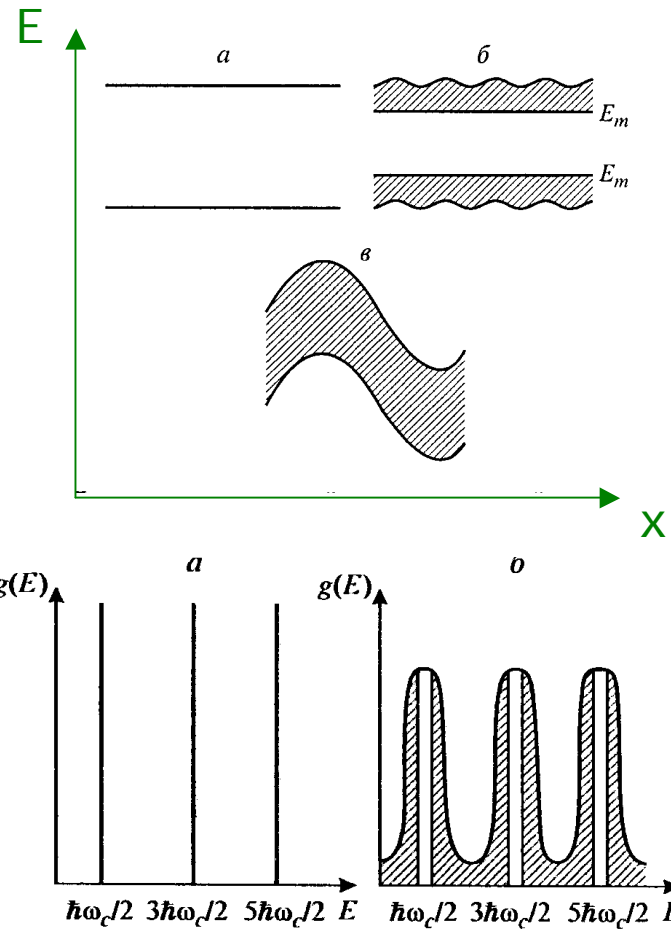
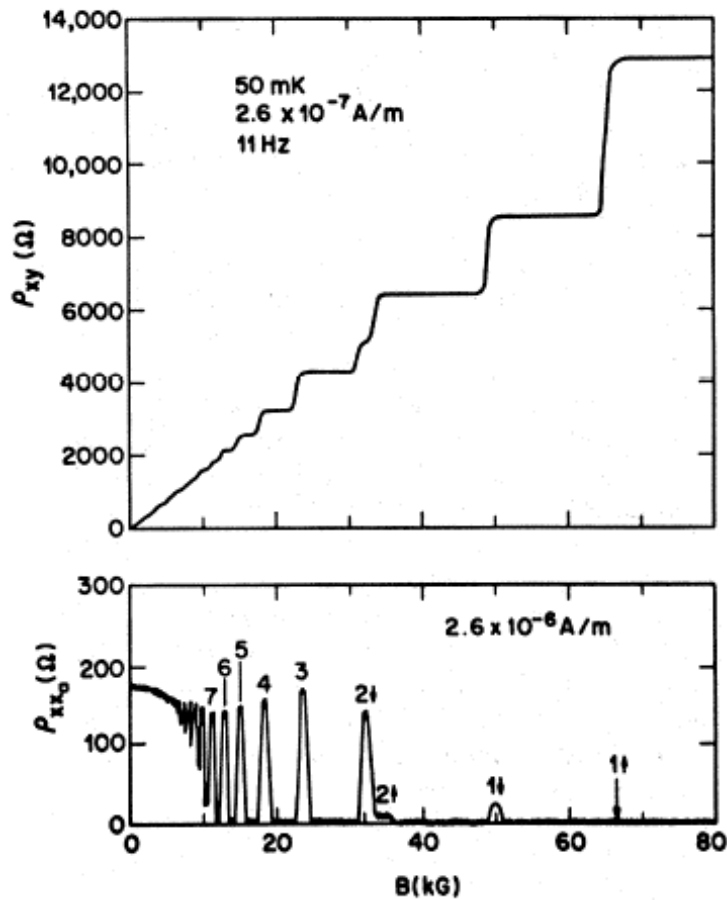
$$\frac{\partial E_{LL}}{\partial w_c} \rightarrow \infty$$

Для двумерной системы с резервуаром производная конечна и ширина плато не нулевая.

Однако между плато

$$s_{xy} = \frac{e^2}{h} n = \frac{cen}{B}$$

Эксперимент в ультра низких температурах



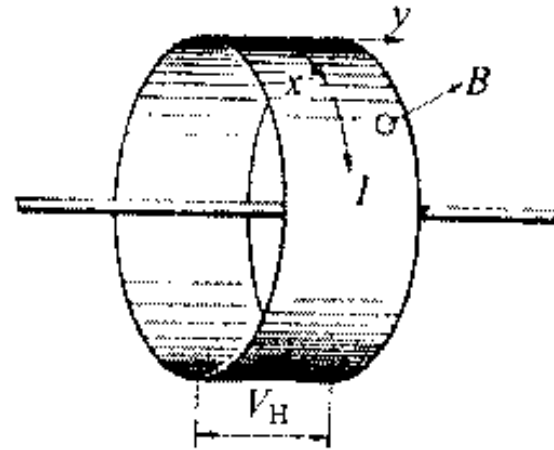
Эксперимент показал, что при $T = 50$ мК локализовано 95% состояний

Модель Лафлина

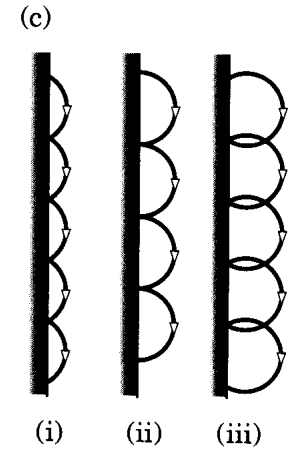
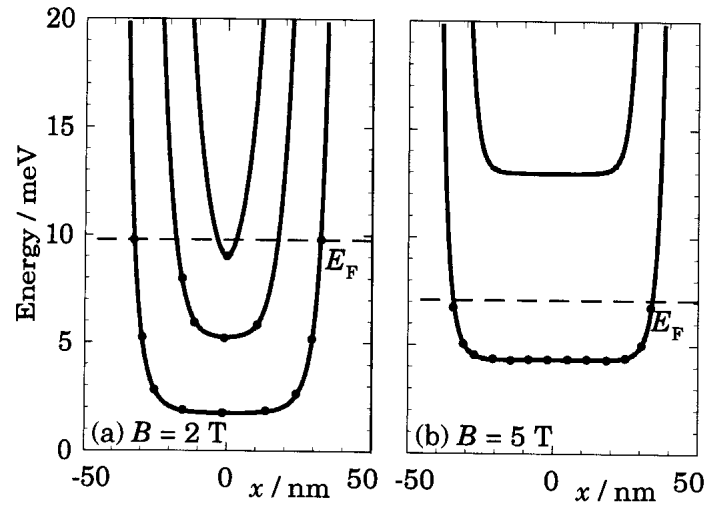
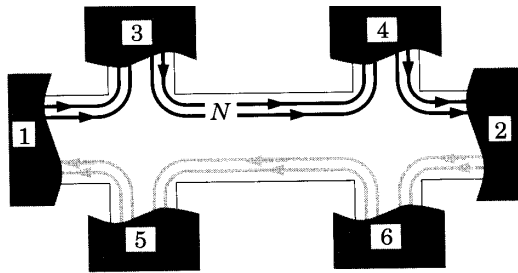
$$A_\varphi = \frac{\Phi}{2\pi R} \quad I = \frac{\delta F}{\delta \Phi} \quad I = \frac{1}{2\pi R} \frac{\partial F}{\partial A}$$

$$A_\varphi^{(j)} = A_\varphi^{(j)} - \frac{1}{R} \frac{\partial \Lambda^{(j)}}{\partial \varphi^{(j)}} \quad \Lambda^{(j)} = \frac{\kappa \Phi_0}{2\pi} \varphi^{(j)}$$

$$\delta F = NqV_H \quad I = \frac{\Delta F}{\Delta \Phi} = \frac{Nq^2 V_H}{h} \quad R_H = \frac{1}{N} \frac{h}{q^2}$$



Краевые состояния



$$j_1 = j_3 = j_4 = -V_1$$

$$J_1 = -\frac{e^2}{h} V_1$$

$$j_2 = j_6 = j_5 = 0$$

$$J = \sum_1^N J_i = -\frac{e^2}{h} N V_1 = \frac{e^2}{h} N (j_6 - j_4)$$