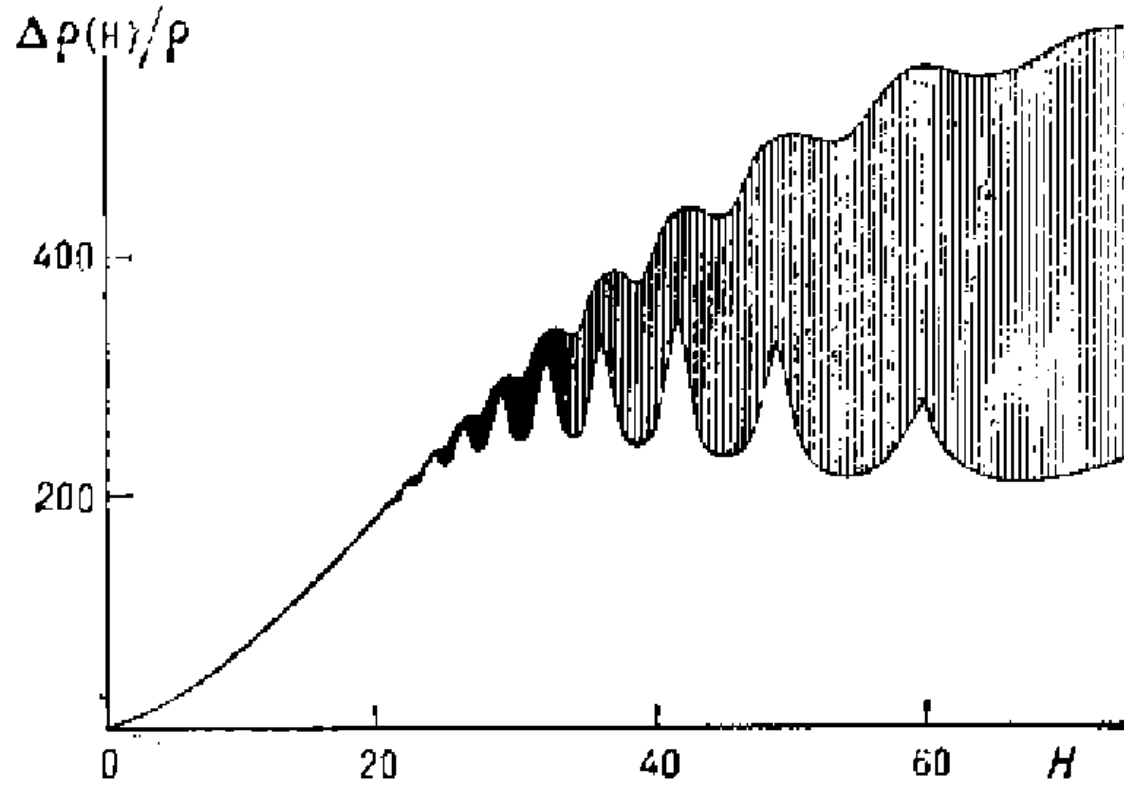
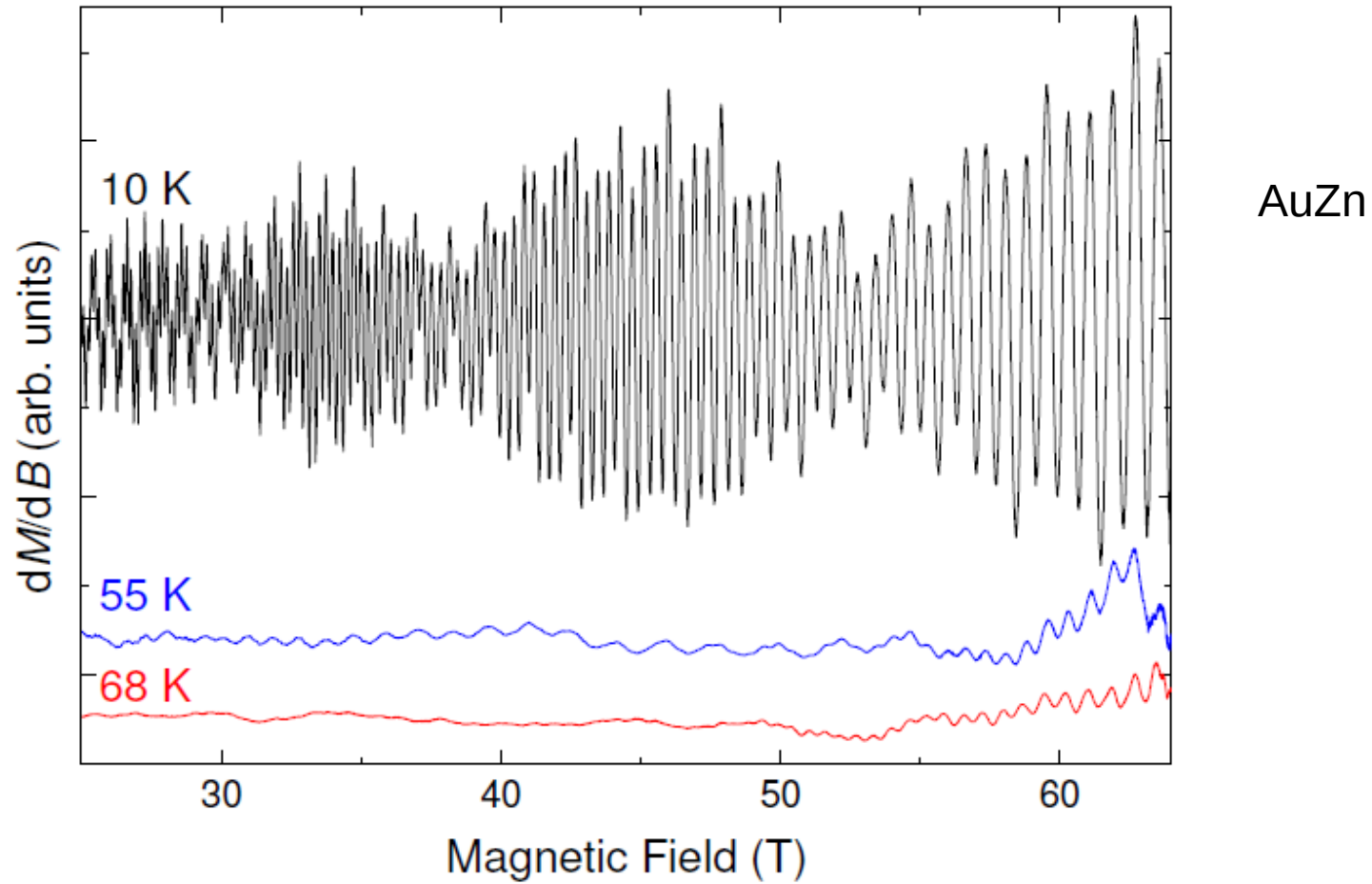


Осцилляции Шубникова-де Гааза



Sn $T = 2$ K

Осцилляции де Гааза — ван Альфена



Уровни Ландау

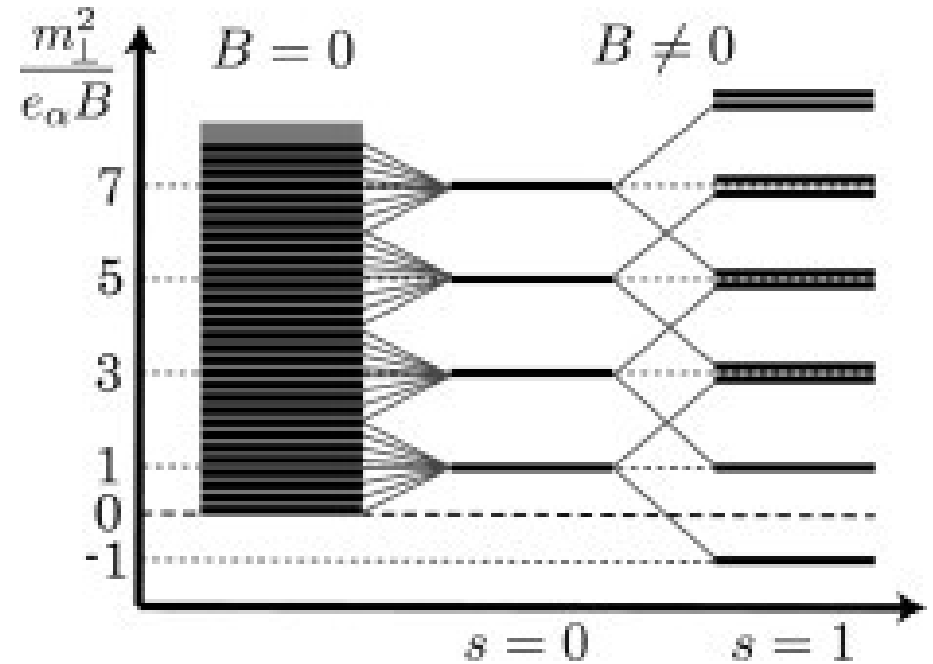
Выражение для энергетического спектра электронов в квантующем магнитном поле.

Решение уравнения Шредингера для электрона в магнитном поле

$$E_{ce} = \frac{e \hbar B}{m_e} \left(n_e + 1/2 \right) \pm g_e \mu_B B s + \frac{p_B^2}{2 m_e}$$

Кратность вырождения уровней Ландау

$$N_B = \frac{1}{2 \pi l_B^2} \quad l_B^2 = \frac{\hbar}{e B}$$

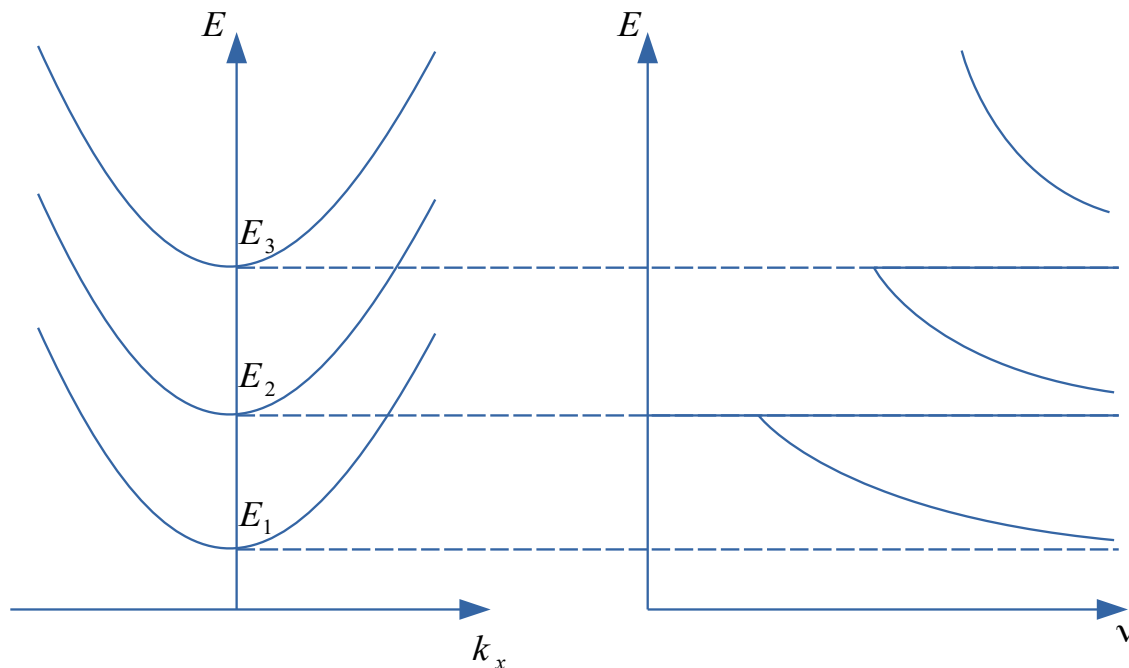
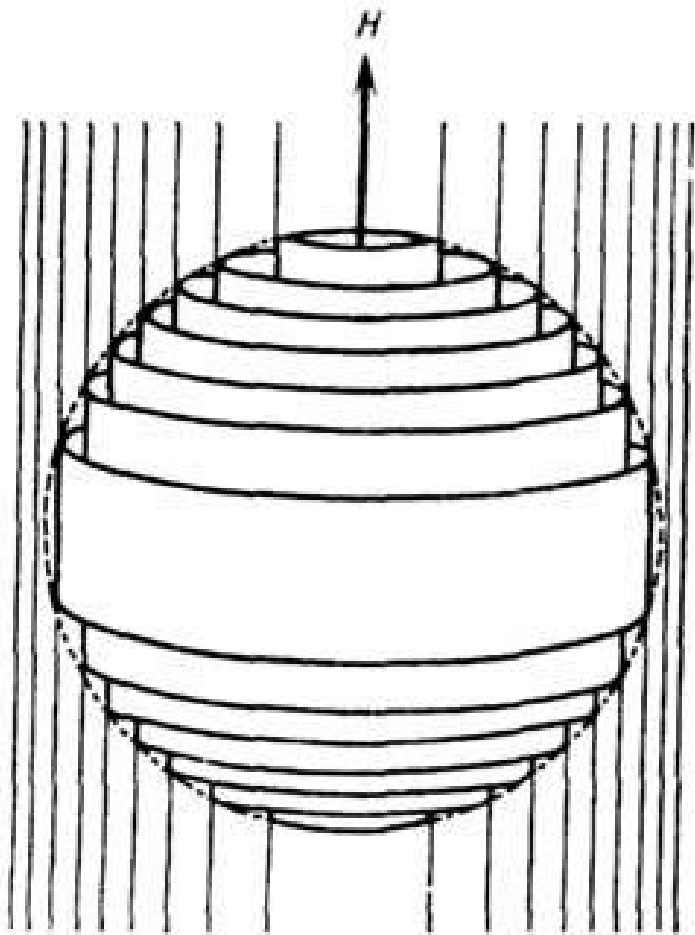


Состояния электрона в р-пространстве в квантующем магнитном поле. Плотность электронных состояний.

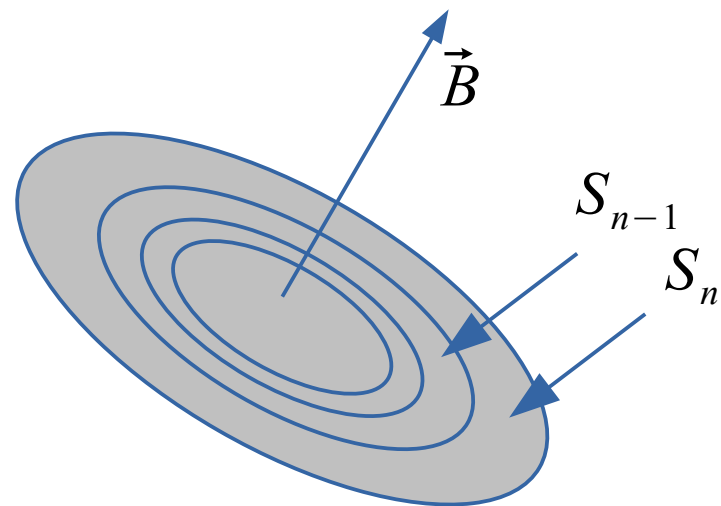
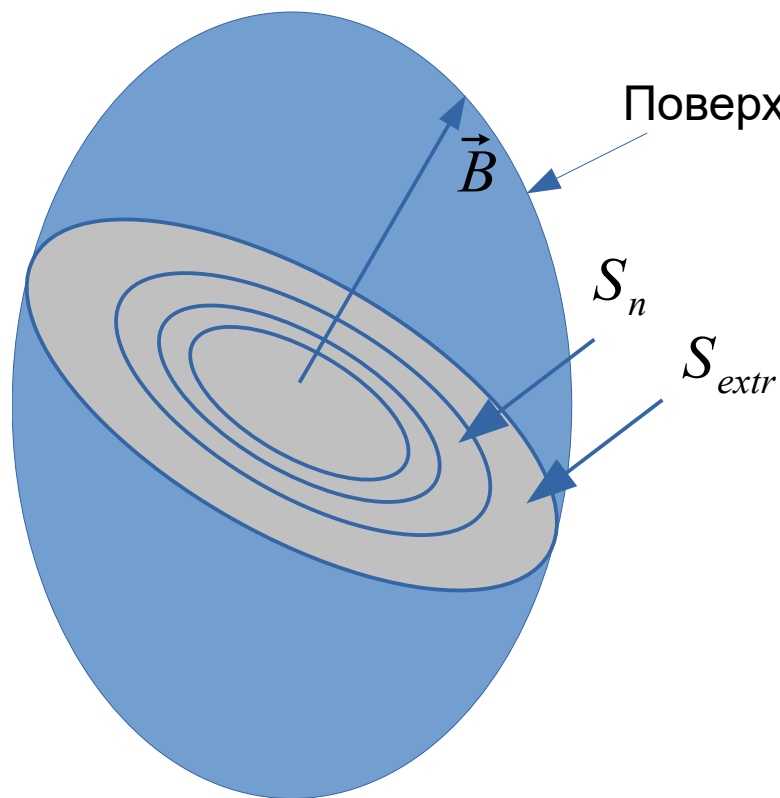
$$p_{cn}^2 = 2e\hbar B(n + 1/2)$$

$$N(E' < E) = \frac{N_B}{2\pi\hbar} \sum_n \sqrt{2m(E - E_{ln})}$$

$$g(E) = \frac{\partial N(E' < E)}{\partial E} = \frac{N_B}{2\sqrt{2}\pi\hbar} \sum_n \frac{1}{\sqrt{2m(E - E_{ln})}}$$



Квантование энергии электронов в кристаллах. Правило квантования Бора-Зоммерфельда.



Правило квантование площадей сечения
изоэнергетических поверхностей:

$$S_n(E_n, p_B=0) = 2\pi\hbar eB(n+\gamma)$$

n — натуральное число. Правило работает при $n \gg 1$

Период и частота осцилляций в магнитном поле

При изменении магнитного поля квантованная площадь изменяется. При совпадении квантованной площади поверхности с площадью экстремального (максимального или минимального) сечения поверхности Ферми наблюдаются особенности сопротивления, диамагнитной восприимчивости, теплоёмкости. Запишем условие совпадения для n -ой и $n+1$ квантованной площади

$$S_{extr} = 2\pi\hbar e B_n (n + \gamma) \quad S_{extr} = 2\pi\hbar e B_{n+1} (n + 1 + \gamma)$$

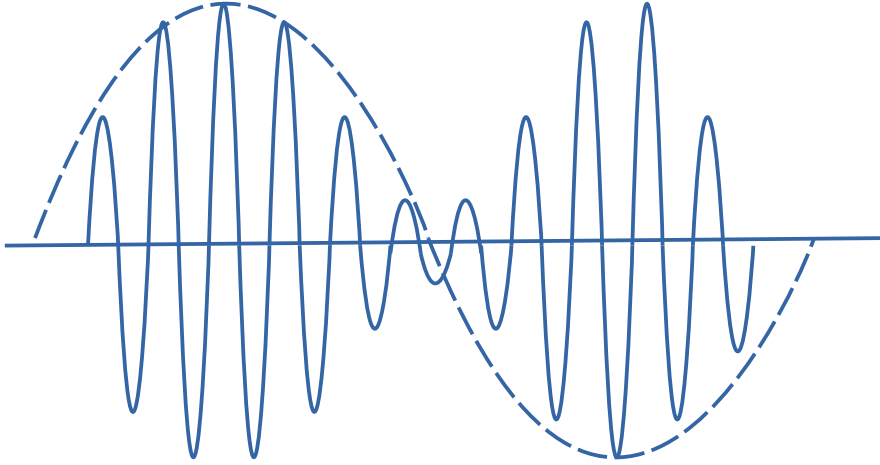
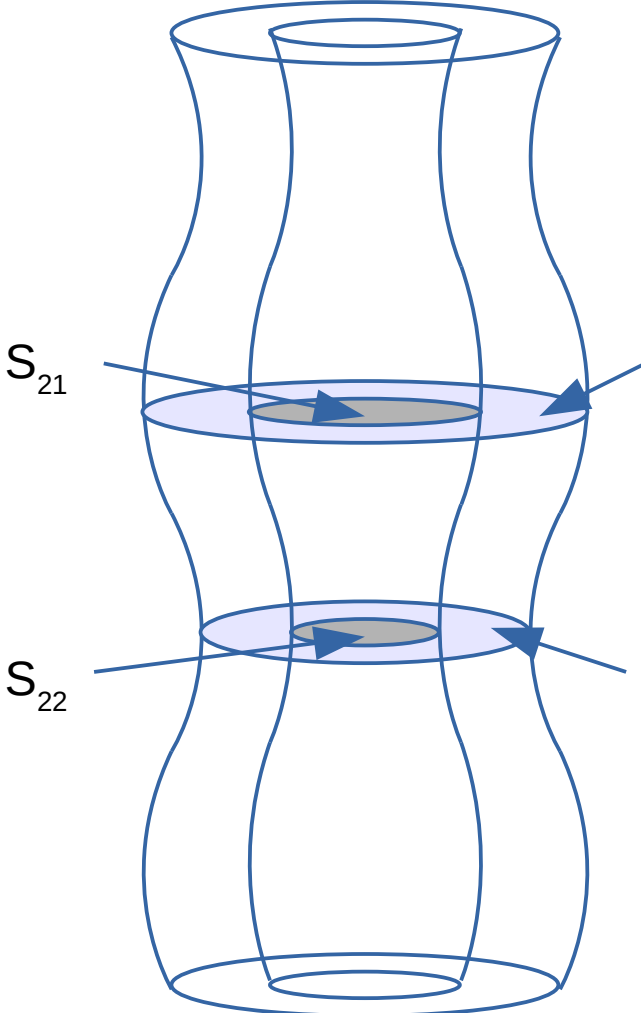
Перепишем в виде

$$n + \gamma = \frac{S_{extr}}{2\pi\hbar e B_n} \quad n + 1 + \gamma = \frac{S_{extr}}{2\pi\hbar e B_{n+1}}$$

Вычитая из правого левое получаем для периода T_B и частоты f_B осцилляций в зависимости от обратного поля:

$$T_B = \frac{2\pi\hbar e}{S_{extr}} \quad f_B = \frac{S_{extr}}{2\pi\hbar e}$$

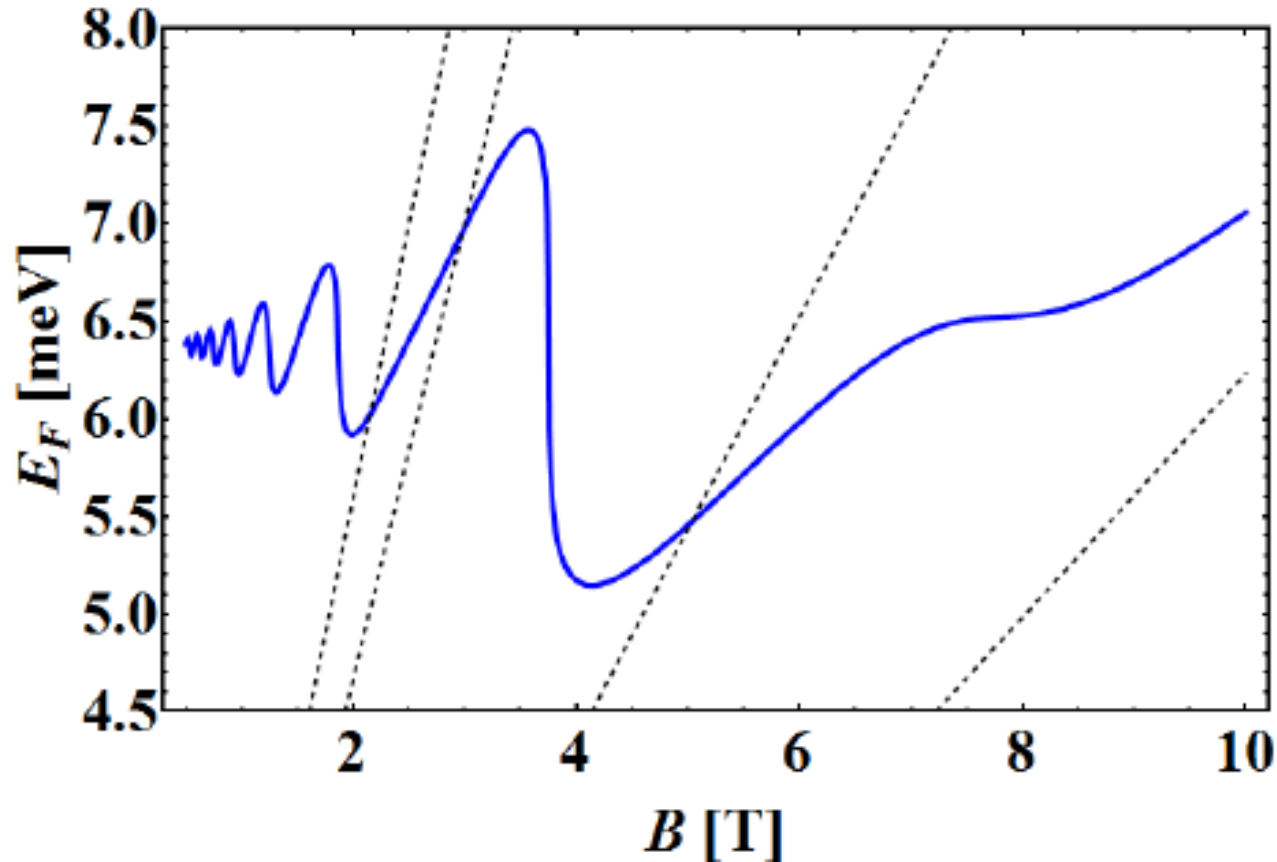
Осцилляции при наличии нескольких экстремальных сечений у поверхности Ферми



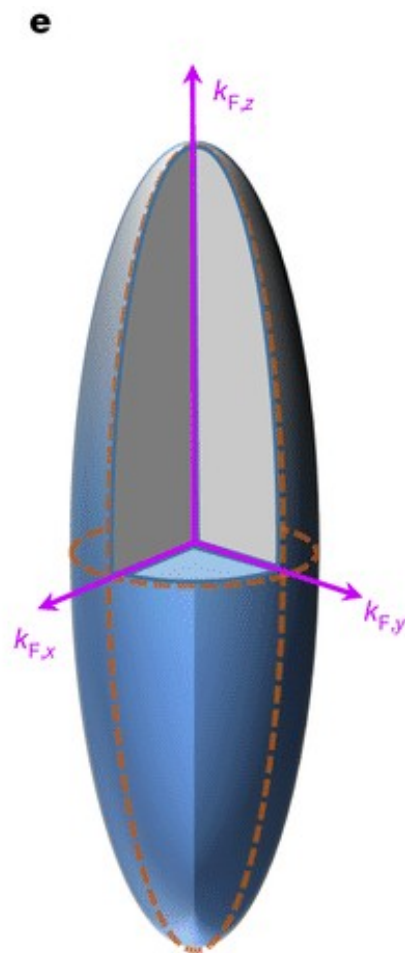
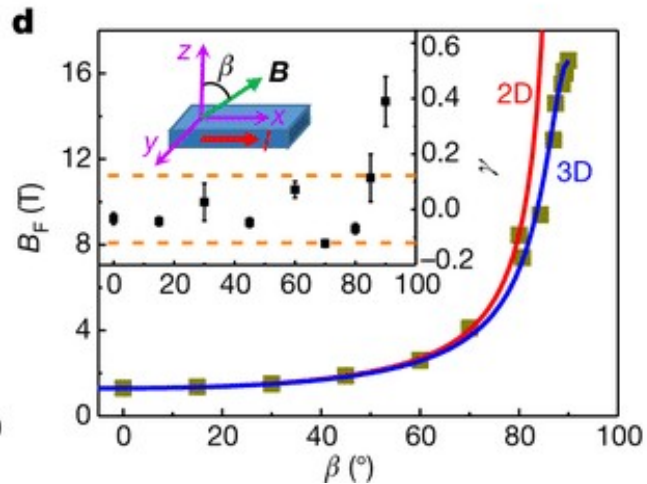
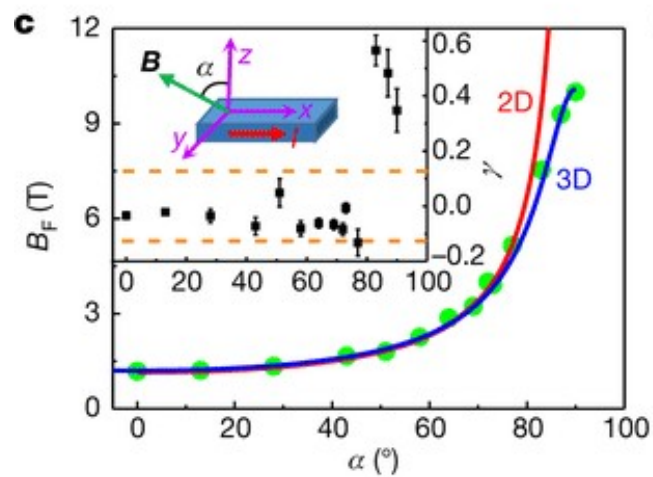
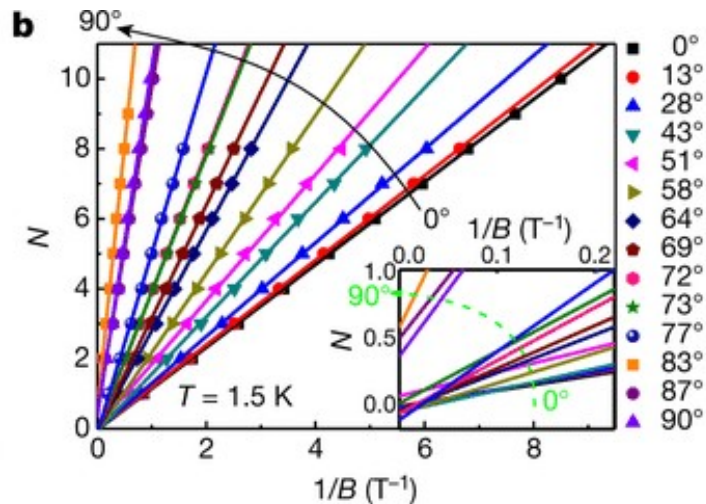
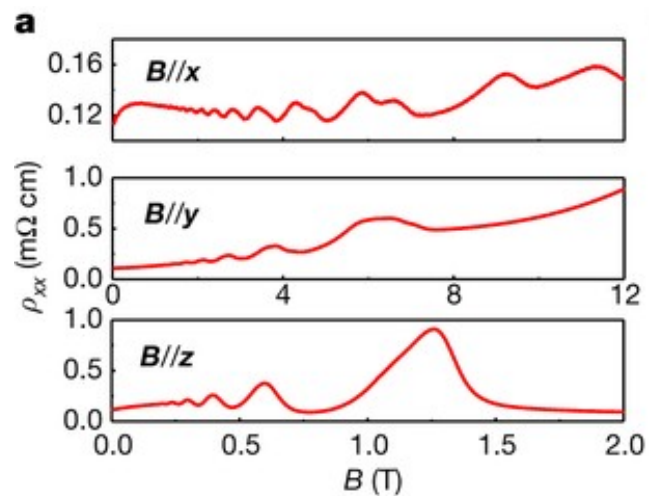
Зависимость энергии Ферми от магнитного поля

Основное условие — концентрация электронов не зависит от магнитного поля

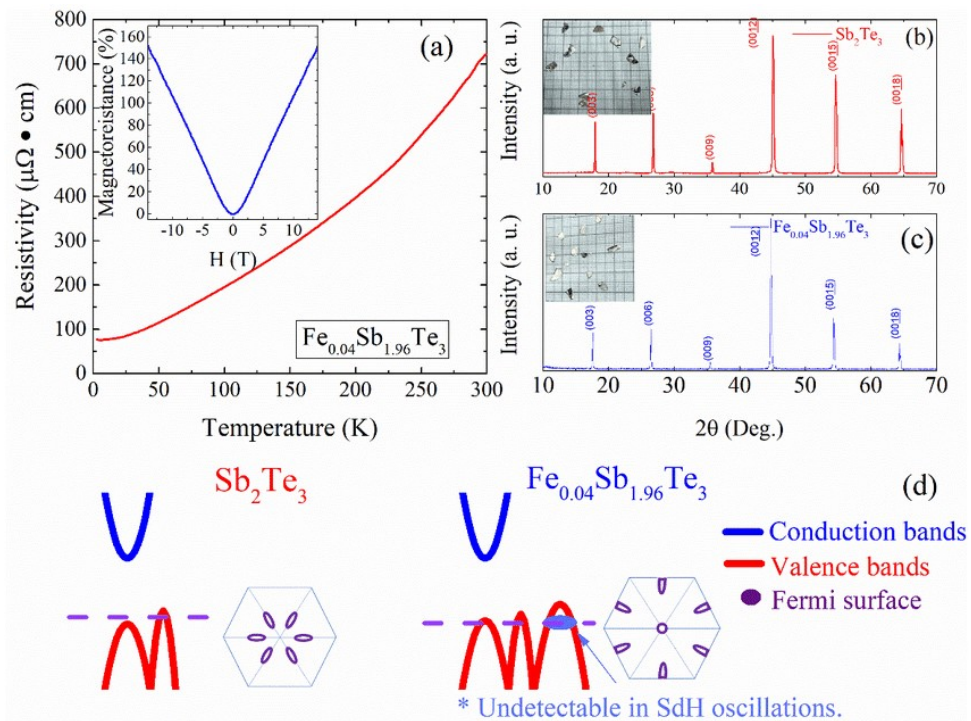
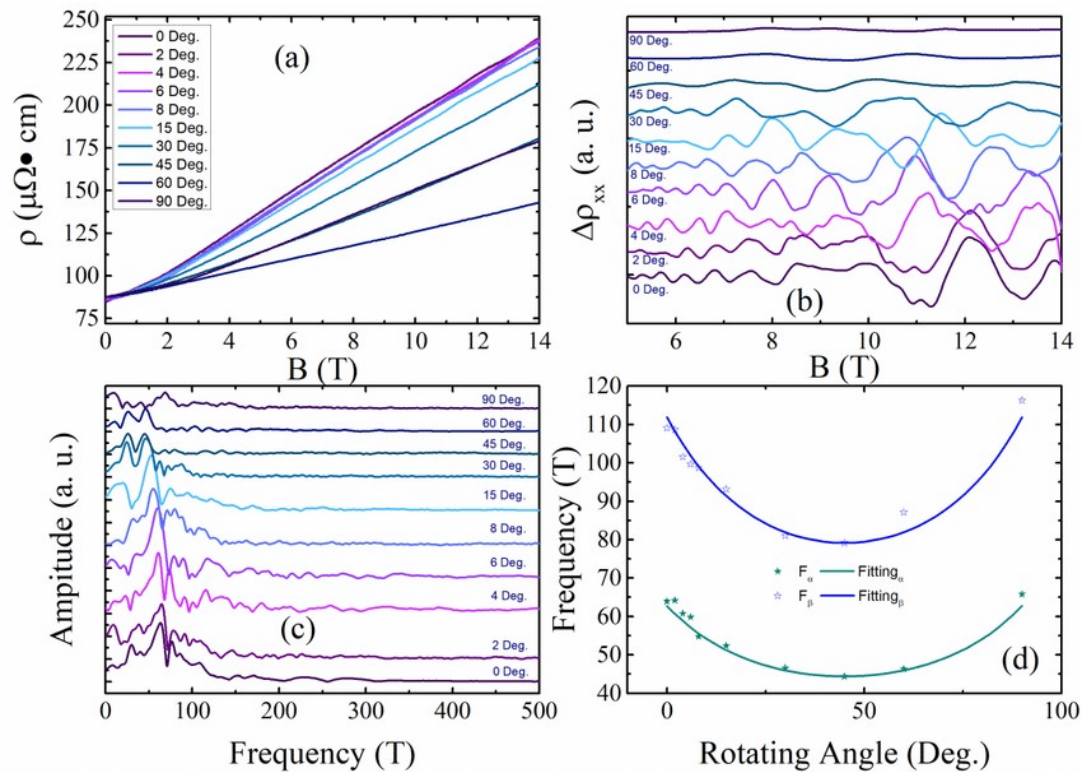
$$n = \int g(E) f_0(E, F, T)$$



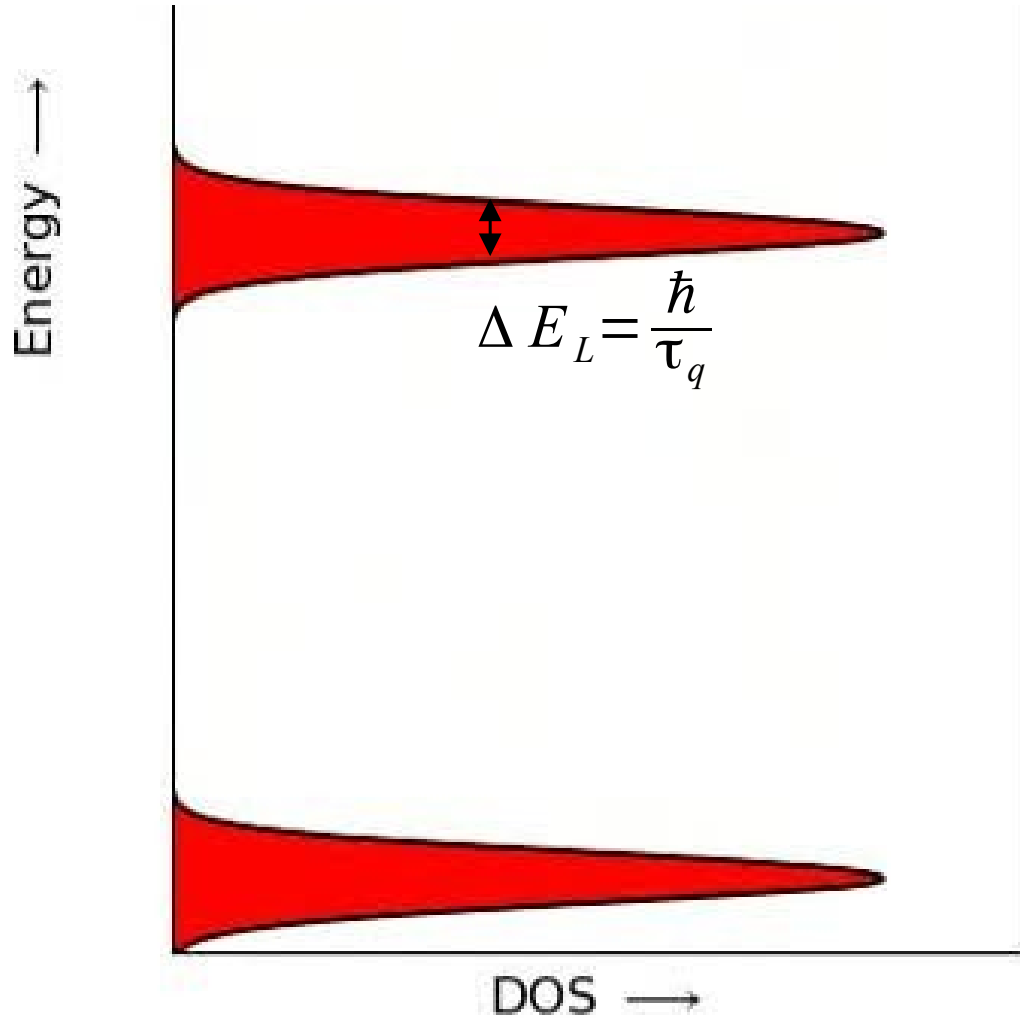
Определение полуосей поверхности Ферми в форме эллипсоида



Определение формы поверхности Ферми



Условия наблюдения осцилляций



$$E_{L_{n+1}} - E_{L_n} > \Delta E_L$$

$$E_{L_{n+1}} - E_{L_n} > k_B T$$

Зависимость амплитуды осцилляций от магнитного поля и температуры

$$A_{osc} \propto sh \left(- \frac{2\pi^2 m (T + T_d)}{\hbar e B} \right)$$

$$k_B T_d = \frac{\hbar}{\tau_q}$$

