

Лекция 7. Термоэлектрические и термомагнитные явления.

Диффузионный ток.

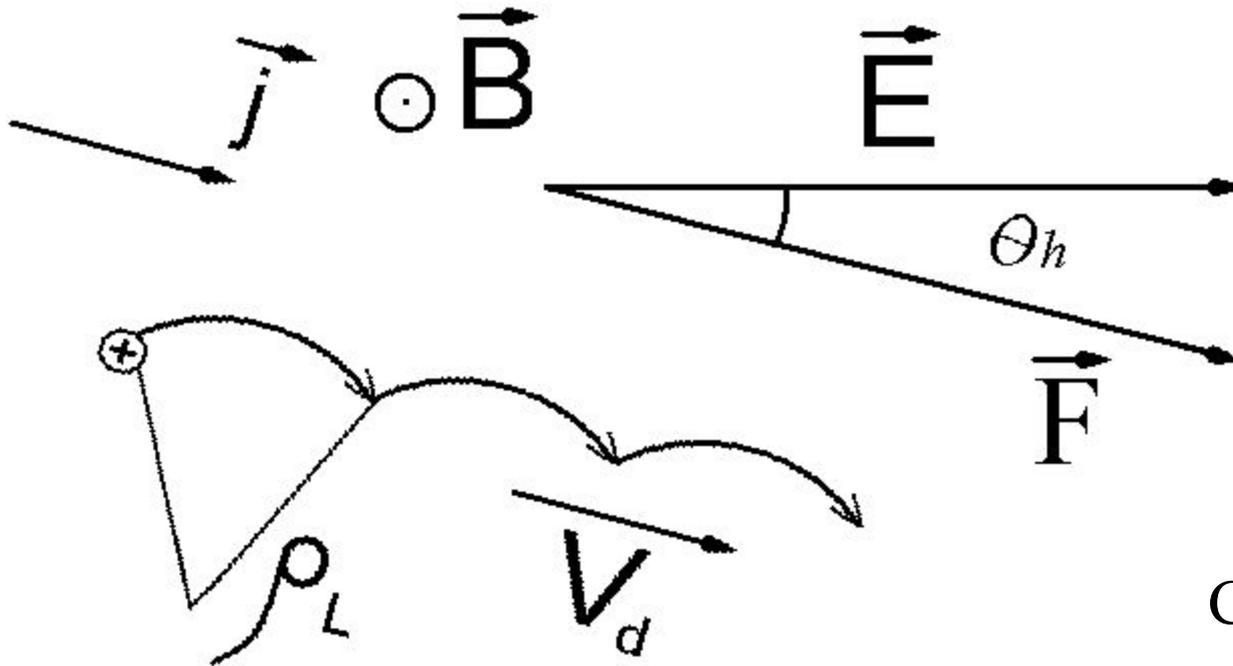
Эффект Холла. Тензор магнитосопротивления. Холловская подвижность.

Квантование электронов и дырок в сильном магнитном поле. Уровни Ландау.

Циклотронный резонанс. Квантовый эффект Холла.

Эффект Холла

В 1879 году, американский физик Э. Холл обнаружил, что если к образцу, по которому течёт электрический ток, приложить перпендикулярно этому току магнитное поле, то в направлении, ортогональном направлению тока и направлению магнитного поля возникает напряжение, пропорциональное току, протекающему через образец.

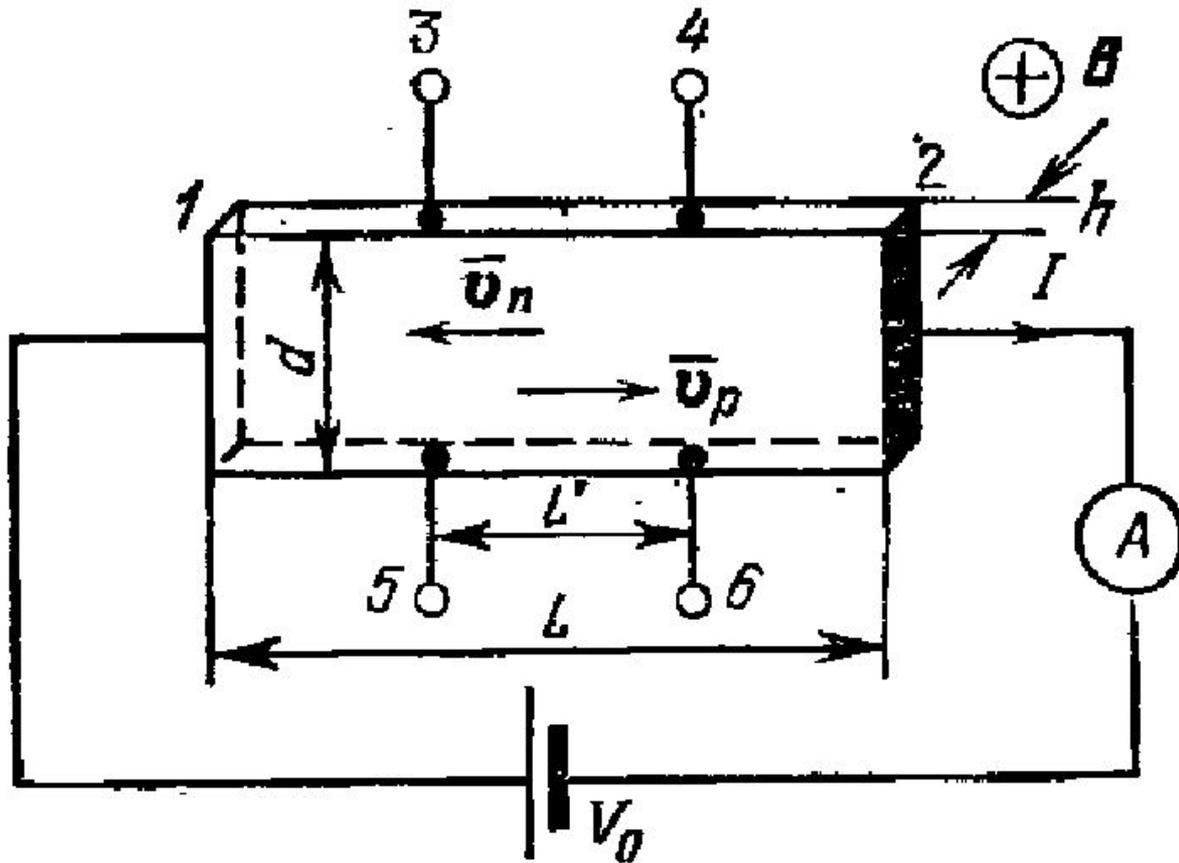


Сила Лоренца

Условие равновесия:

$$q \cdot \vec{E}_H + \frac{q}{c} [\vec{v}_d \times \vec{B}] = 0$$

Схема измерения эффекта Холла



$$E_H = \frac{\mu \cdot B}{c} \cdot E_{par}$$

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\mu \cdot B}{c}$$

$$U_{3-5} = \frac{I \cdot B}{h} \cdot \tilde{R}$$

$$\tilde{R} = \frac{p\mu_h^2 - n\mu_e^2}{e \cdot c \cdot (p\mu_h + n\mu_e)^2}$$

По знаку Холловского напряжения можно определить знак основного типа носителей заряда.

Зная геометрию образца, можно определить Холловскую подвижность.

Измерив удельное сопротивление, можно определить концентрацию носителей заряда.

Датчики Холла – измерения магнитного поля, измерения частоты вращения.

Тензор магнетосопротивления, квантовый эффект Холла

$$j_{\alpha} = \sigma_{\alpha\beta} \cdot E_{\beta}$$

$$\omega_c = \frac{e \cdot B}{m\tau}$$

Циклотронная частота, если, $\omega_c \cdot \tau \gg 1$
то возможно поглощение
ЭМ при переходе на
следующий уровень

$$\hbar \omega_c \gg kT$$

«квантующие» магнитные поля

квантование в магнитном поле, уровни Ландау

Квантовый эффект Холла (Нобелевская премия, фон Клитцинг с коллегами)

Двумерный электронный газ, фактор заполнения.

При целочисленном факторе заполнения $\nu_{3-4} = 0$, а отношение Холловского напряжения к току было кратно кванту сопротивления (25813 Ом).

Диффузионный ток

Диффузия. Соотношение Эйнштейна.

Неравновесные носители заряда. Время жизни неравновесных носителей заряда. Амбиполярная диффузия.

Термоэлектрические и термомагнитные явления.

Связь плотности тока и градиента квазиуровня Ферми в полупроводниках.

Соотношение Эйнштейна

Диффузионный ток $j_{x,d} = e \cdot D \cdot \frac{\delta n}{\delta x}$

Связь коэффициента диффузии и длины свободного пробега $D = \frac{1}{3} l v_T$

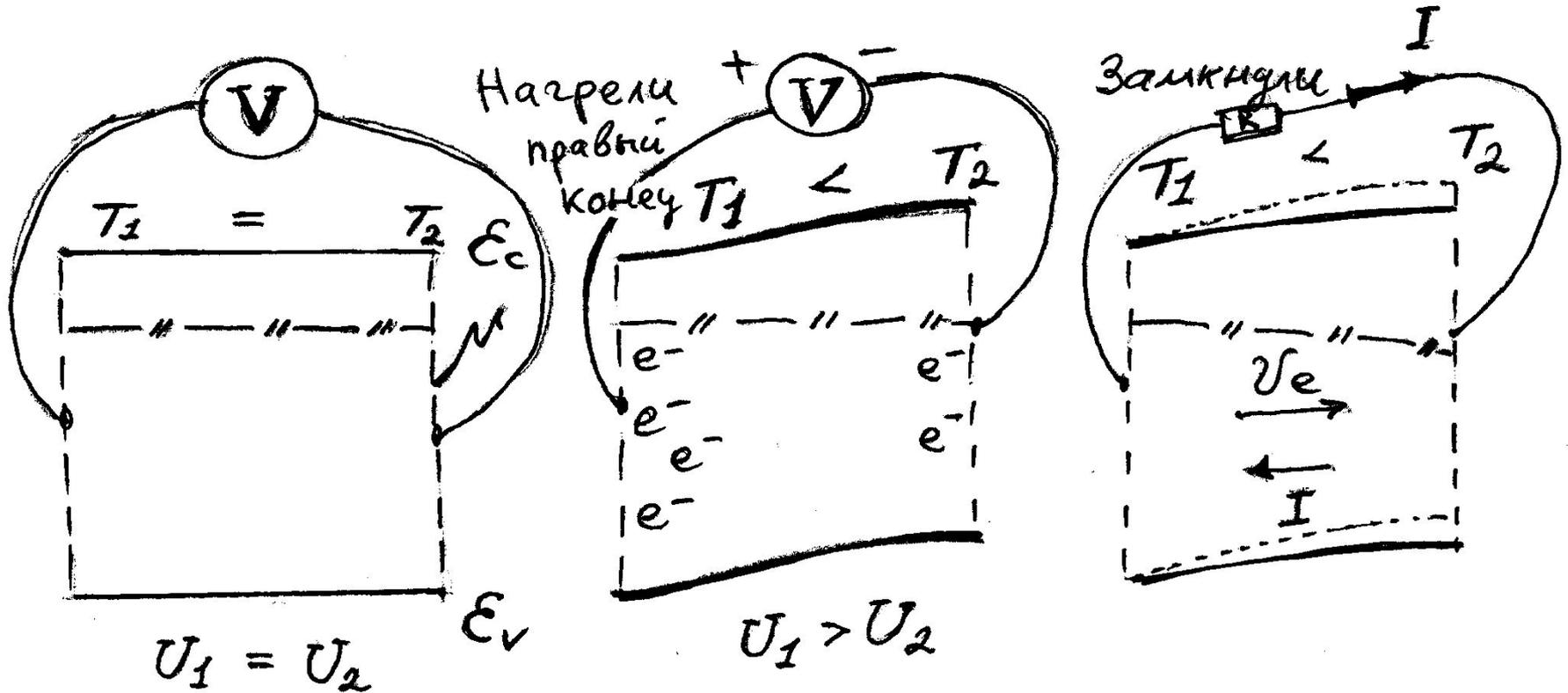
Соотношение Эйнштейна: $D = \frac{1}{3} \tau v_T^2 = \frac{kT}{m^*} \tau = \frac{kT}{e} \cdot \mu$

$$\frac{m^* v_T^2}{2} = \frac{3}{2} kT$$

Диффузия неравновесных носителей заряда (генерация фотонами, инжекция). Амбиполярная диффузия.

Термо-ЭДС

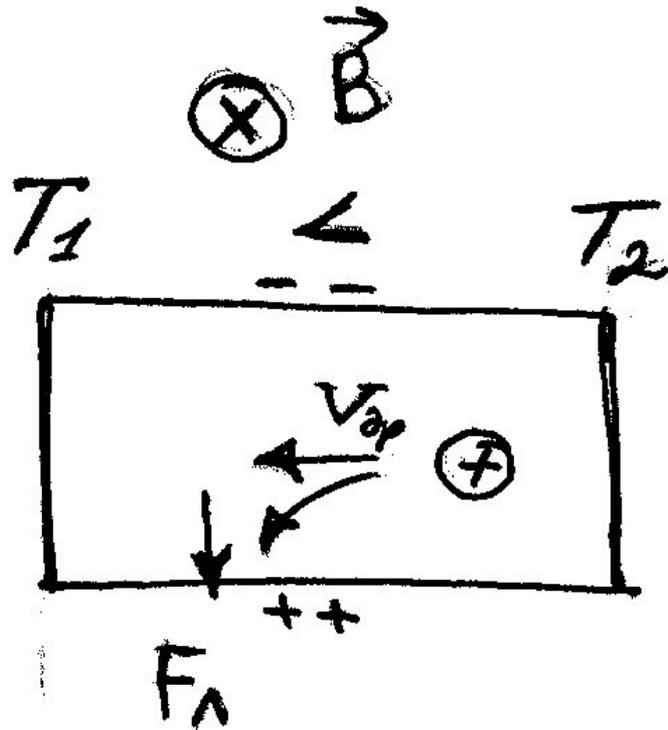
Термо-ЭДС как аналог эффекта Зеебека в металлах.
Термозонд. Эффект Пельте. Холодильники Пельте.
Контактные явления.



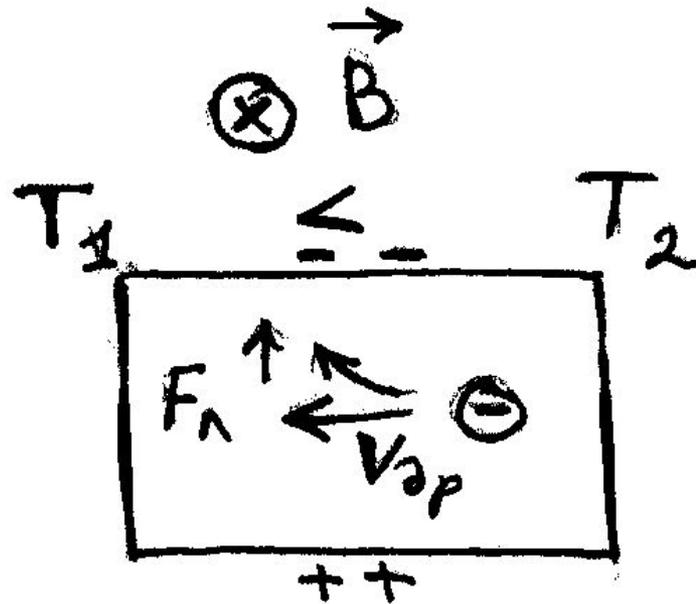
Терромагнитные явления

Поперечный эффект Нернста-Эттингсгаузена.

Аналог эффекта Холла. Влияние знака носителей заряда на знак эффекта.



p -тип



n -тип

Связь плотности тока и градиента квазиуровня Ферми в полупроводниках

$$j_x = \sigma \cdot E_x - eD \cdot \frac{\delta n}{\delta x} = -en\mu \cdot E_x - e \cdot \frac{kT}{e} \mu \cdot \frac{\delta n}{\delta x} \quad \begin{array}{l} \text{- ток для} \\ \text{электронов} \end{array}$$

$$j_x = n\mu \cdot \frac{\delta \varepsilon_c}{\delta x} - kT\mu \cdot \frac{\delta n}{\delta x} \quad n = N_c \cdot e^{\frac{\varepsilon_f - \varepsilon_c}{kT}} \quad \begin{array}{l} \text{в невырожденном} \\ \text{полупроводнике} \end{array}$$

$$j_x = n\mu \cdot \frac{\delta \varepsilon_c}{\delta x} - kT\mu \cdot \frac{N_c}{kT} \cdot e^{\frac{\varepsilon_f - \varepsilon_c}{kT}} \cdot \frac{\delta(\varepsilon_f - \varepsilon_c)}{\delta x} = -n\mu \cdot \frac{\delta \varepsilon_f}{\delta x}$$

Ток пропорционален градиенту уровня Ферми, концентрации и подвижности!!!

Классификация времён релаксации в полупроводниках

- 1) Время релаксации по энергии (время «термализации»). Электронная и фононная температура.
- 2) Время релаксации по импульсу.
- 3) Время жизни неравновесных носителей заряда. Рекомбинация носителей заряда в прямозонных и непрямозонных полупроводниках.