به نام خدا

فیزیک الکترونیک
مکانیزم‌های ایجاد جریان الکتریکی

ارائه دهنده: حسین کرمی طاهری
برگرفته از محتوای آموزشی پروفسور Mark Lundstrom

روابط چگالی بار در حالت تعادل

$$n_0 p_0 = n_i^2$$

$$n_i = \sqrt{N_c N_v} e^{-\frac{E_g}{2k_B T}}$$

- $n_{n0} = N_D$
- $p_{n0} = \frac{n_i^2}{n_{n0}} = \frac{n_i^2}{N_D}$
- $n_{n0} = N_c e^{\frac{E_f - E_c}{k_B T}} = n_i e^{\frac{E_f - E_i}{k_B T}}$
- $p_{n0} = N_v e^{\frac{E_v - E_f}{k_B T}} = n_i e^{\frac{E_i - E_f}{k_B T}}$

- $p_{p0} = N_A$
- $n_{p0} = \frac{n_i^2}{p_{p0}} = \frac{n_i^2}{N_A}$
- $n_{p0} = N_c e^{\frac{E_f - E_c}{k_B T}} = n_i e^{\frac{E_f - E_i}{k_B T}}$
- $p_{p0} = N_v e^{\frac{E_v - E_f}{k_B T}} = n_i e^{\frac{E_i - E_f}{k_B T}}$

روابط چگالی بار در حالت غیر تعادل

$np \neq n_i^2$

$n_i = \sqrt{N_c N_v} e^{-\frac{E_g}{2k_B T}}$

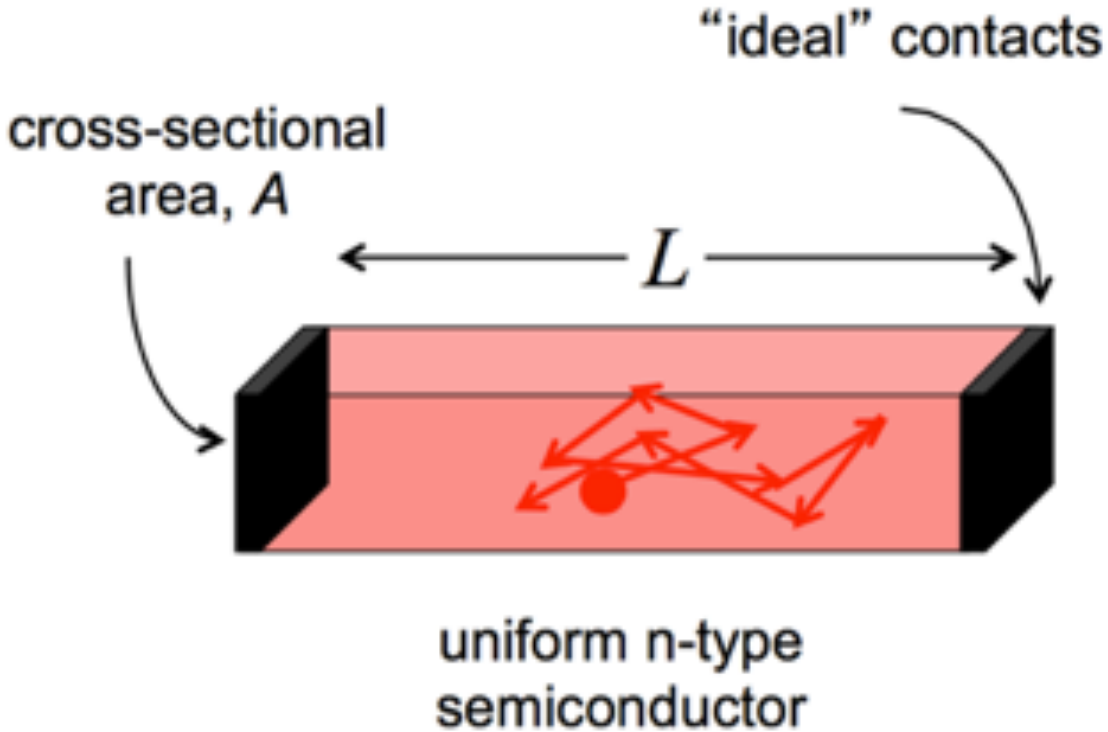
انرژی های شبه فرمی

- $n_n = N_c e^{\frac{E_{fn}-E_c}{k_B T}} = n_i e^{\frac{E_{fn}-E_i}{k_B T}}$
- $p_n = N_v e^{\frac{E_v-E_{fp}}{k_B T}} = n_i e^{\frac{E_i-E_{fp}}{k_B T}}$
- $n_p = N_c e^{\frac{E_{fn}-E_c}{k_B T}} = n_i e^{\frac{E_{fn}-E_i}{k_B T}}$
- $p_p = N_v e^{\frac{E_v-E_{fp}}{k_B T}} = n_i e^{\frac{E_i-E_{fp}}{k_B T}}$

جهت مقایسه

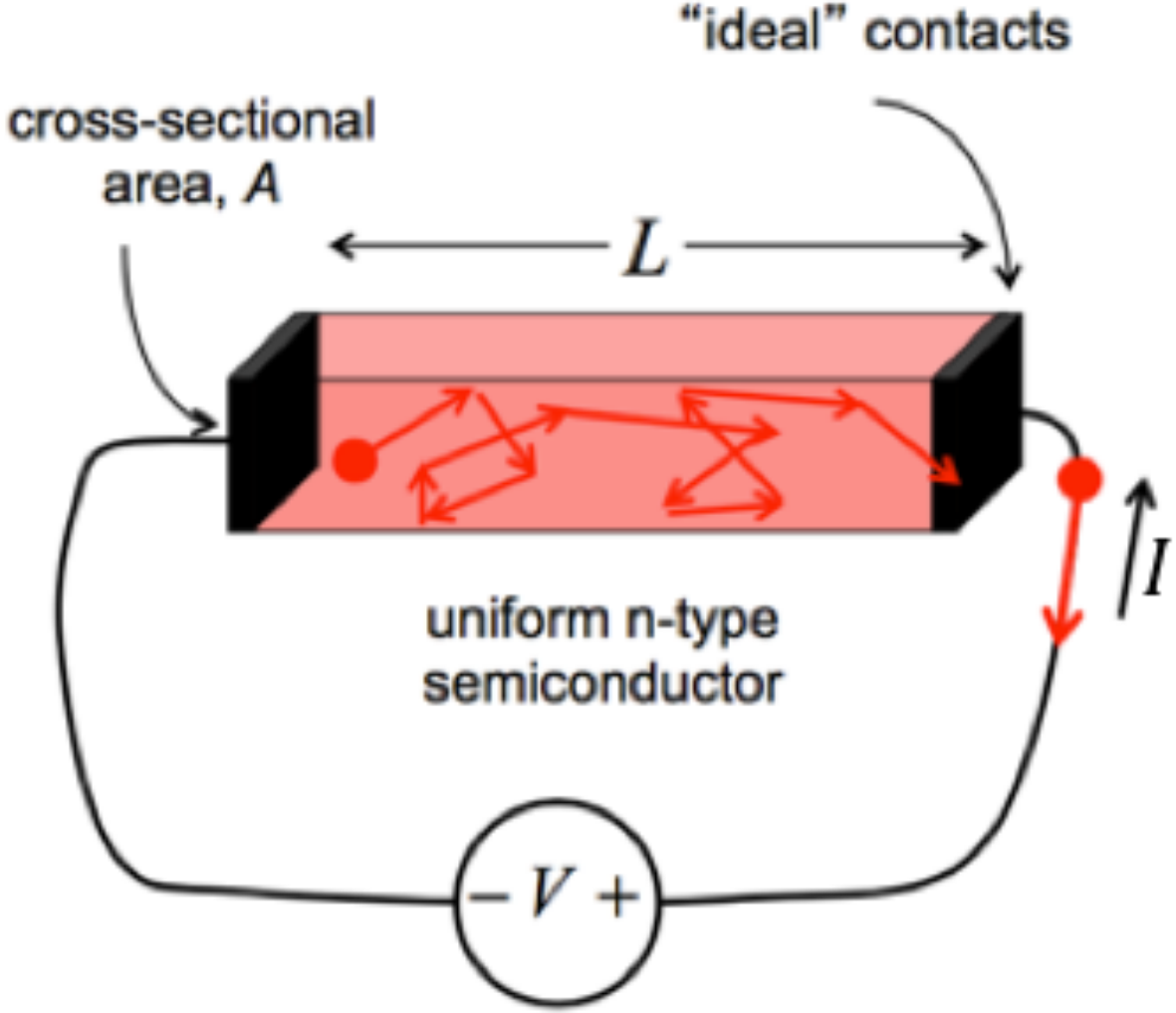
- $n_{n0} = N_c e^{\frac{E_f-E_c}{k_B T}} = n_i e^{\frac{E_f-E_i}{k_B T}}$
- $p_{n0} = N_v e^{\frac{E_v-E_f}{k_B T}} = n_i e^{\frac{E_i-E_f}{k_B T}}$
- $n_{p0} = N_c e^{\frac{E_f-E_c}{k_B T}} = n_i e^{\frac{E_f-E_i}{k_B T}}$
- $p_{p0} = N_v e^{\frac{E_v-E_f}{k_B T}} = n_i e^{\frac{E_i-E_f}{k_B T}}$

حرکت بار در حالت تعادل



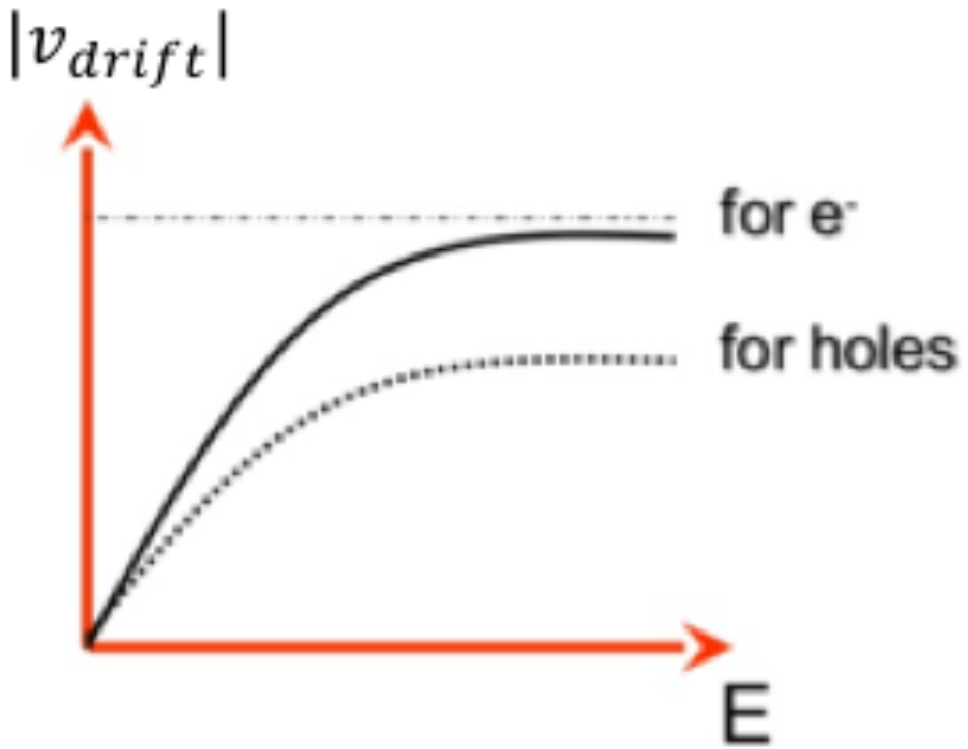
- انرژی جنبشی الکترون ها $\langle E_K \rangle = \frac{3}{2} k_B T$
- $\langle E_K \rangle = \frac{1}{2} m_n^* \langle v^2 \rangle$
- $v_{rms} = \sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3k_B T}{m_n^*}}$
- $v_{rms} \approx 10^7 \frac{cm}{s}$

جریان رانشی- Drift



- در اثر وجود میدان الکتریکی E
- حرکت تصادفی با تمایل به حرکت از سمت چپ به راست
- سرعت به طور متوسط ثابت است
- فرض می شود در اثر برخوردهای زیاد الکترون ها با سرعت متوسط $v_{drift,n}$ حرکت می کنند.

سرعت رانش و میدان الکتریکی

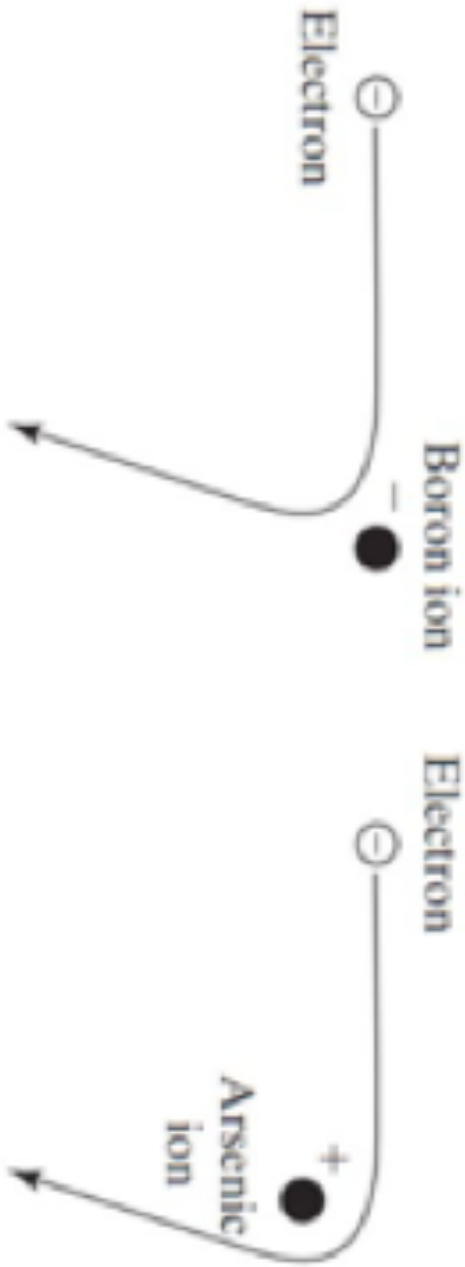


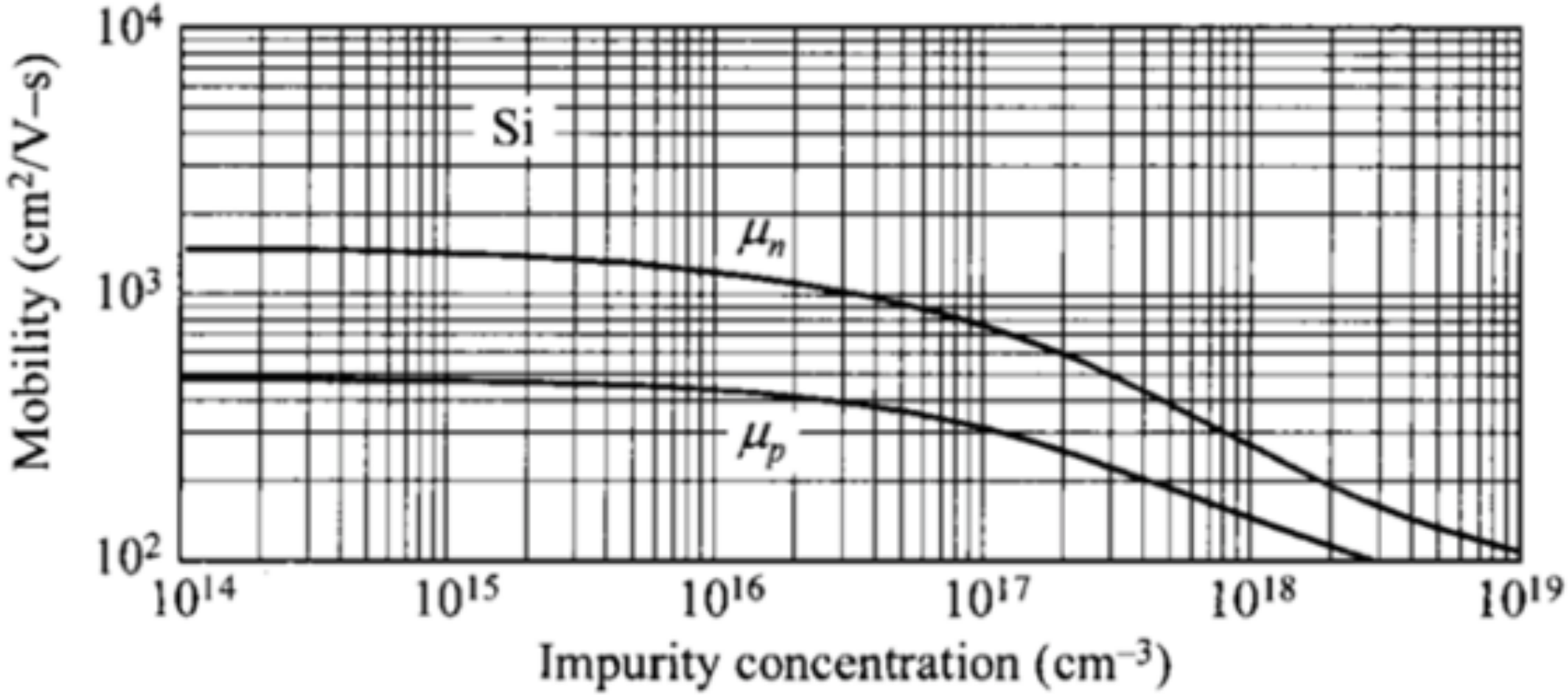
- میدان های الکتریکی کم: سرعت رانش متناسب با میدان الکتریکی

$$\vec{v}_{drift,n} = -\mu_n \vec{E}$$
$$\vec{v}_{drift,p} = +\mu_p \vec{E}$$

- ضریب تناسب μ قابلیت تحرک، mobility، نامیده می شود
- میدان الکتریکی بالا: سرعت اشباع
- قابلیت تحرک به جنس ماده، نوع حامل، میزان ناخالصی، دما و ... بستگی دارد

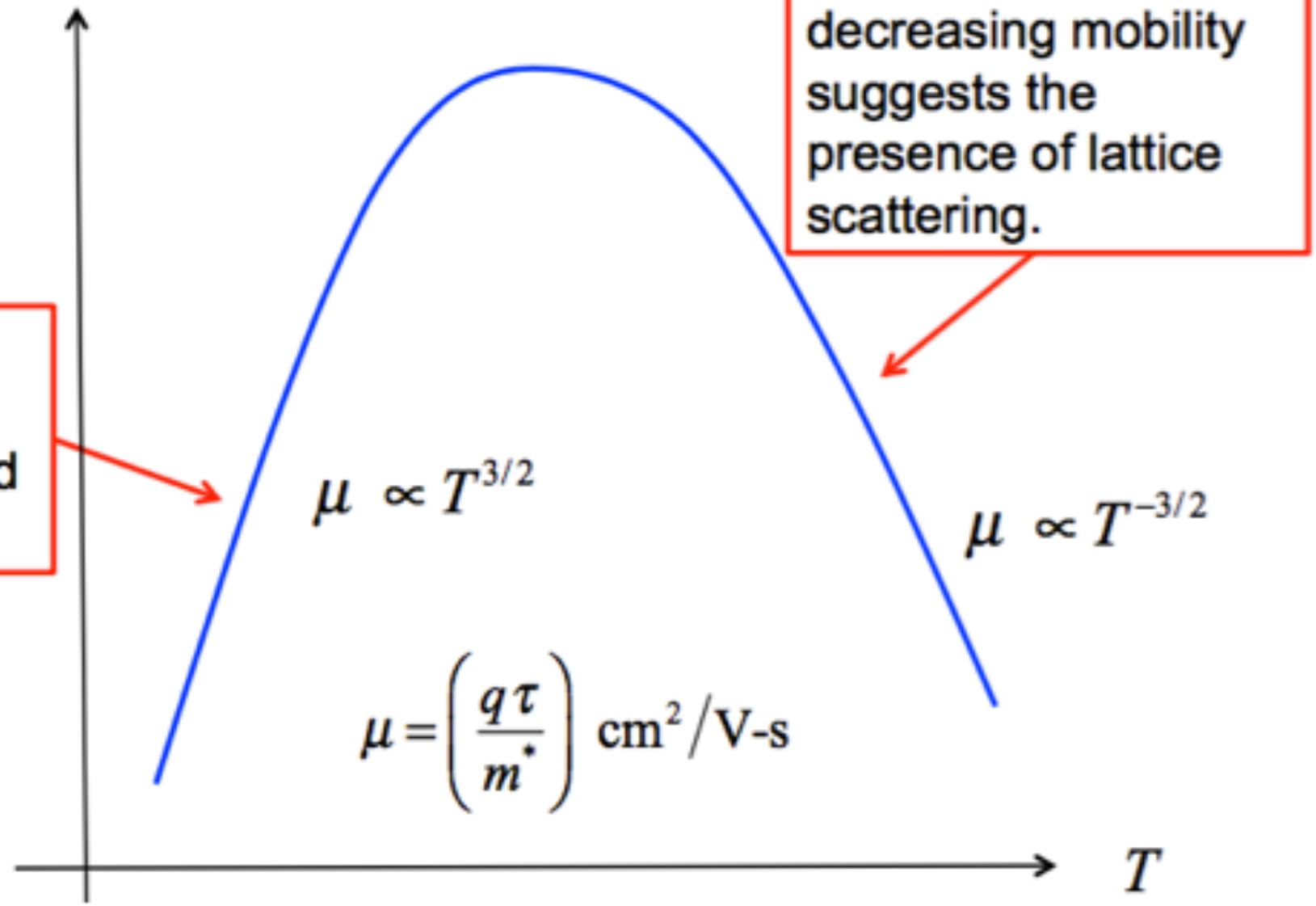
قابلیت تحرک و چگالی ناخالصی



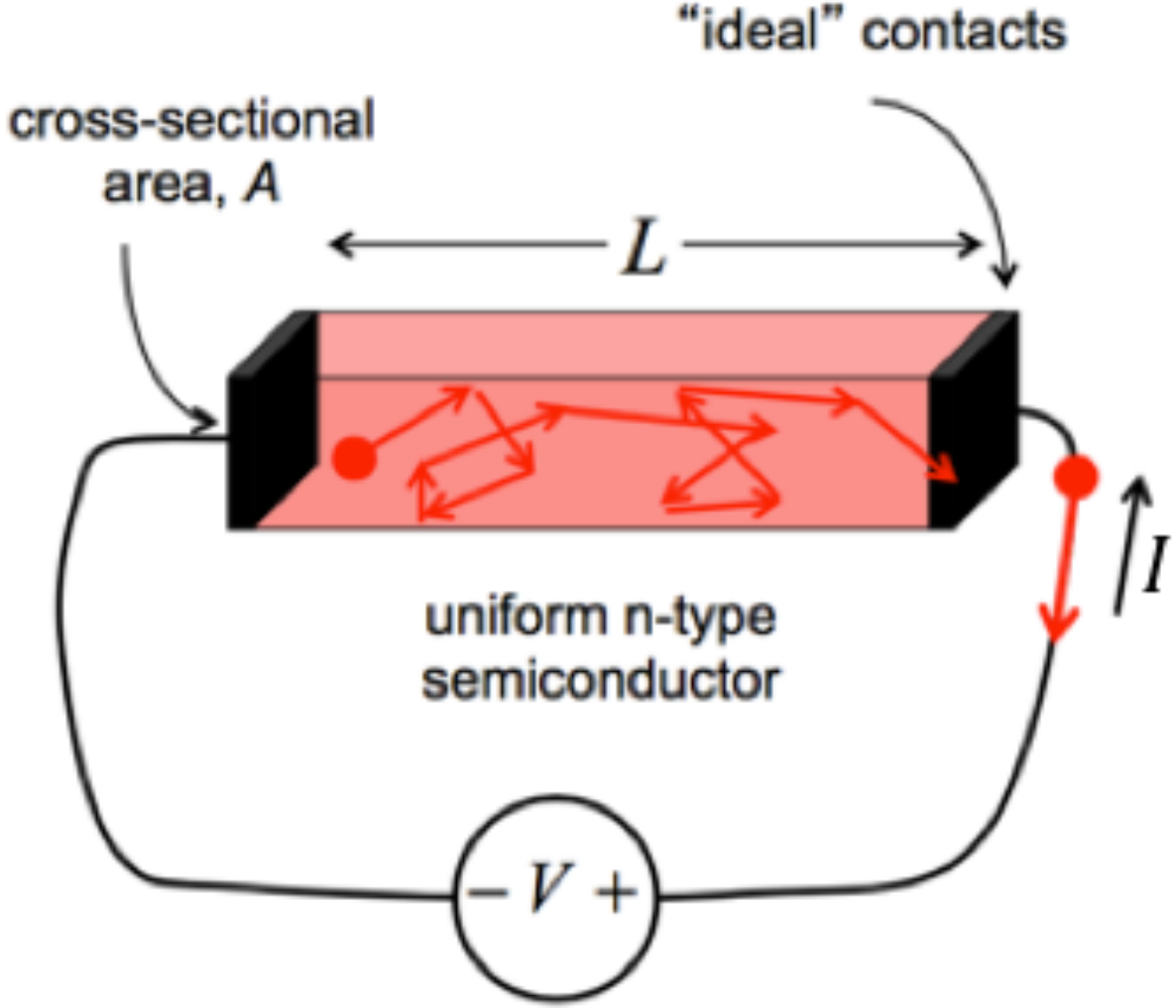


قابلیت تحرک و دما

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu_l} + \frac{1}{\mu_i} + \cdots$$



جریان رانشی الکترون ها



- $|I_{drift,n}| = \frac{|Q|}{t_t}$
- $Q = -qnAL$
- $t_t = \frac{L}{|\vec{v}_{drift,n}|}$
- $\vec{I}_{drift,n} = -qn\vec{v}_{drift,n}A$

در میدان های الکتریکی کوچک

- $\vec{I}_{drift,n} = qn\mu_n\vec{E}A$
- $\vec{J}_{drift,n} = qn\mu_n\vec{E} = \sigma_n\vec{E}$
- $\sigma_n = qn\mu_n$

جریان رانشی، هدایت الکتریکی و مقاومت

- $\vec{J}_{drift,n} = qn\mu_n\vec{E} = \sigma_n\vec{E}$, $\vec{J}_{drift,p} = qp\mu_p\vec{E} = \sigma_p\vec{E}$
- $\vec{J}_{drift} = \vec{J}_{drift,n} + \vec{J}_{drift,p} = qn\mu_n\vec{E} + qp\mu_p\vec{E} = \sigma\vec{E}$

هدایت الکتریکی ویژه:

- $\sigma = \sigma_n + \sigma_p = qn\mu_n + qp\mu_p$

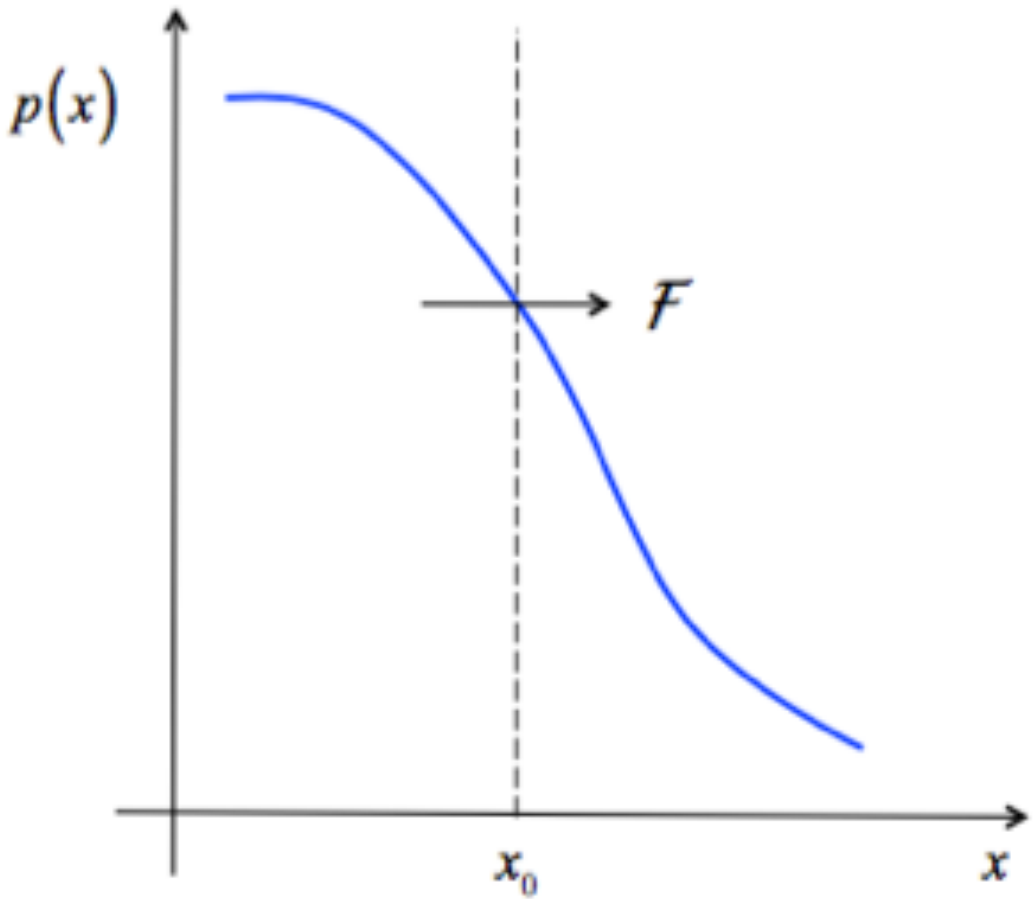
مقاومت ویژه:

- $\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{\sigma_n+\sigma_p} = \frac{1}{qn\mu_n+qp\mu_p}$

مقاومت:

- $R = \frac{\rho L}{A}$

جریان نفوذ



- $\vec{J}_{diff,p} = -qD_p\vec{\nabla}p$
- $\vec{J}_{diff,n} = +qD_n\vec{\nabla}n$

در یک بعد

- $J_{diff,p} = -qD_p\frac{dp}{dx}$
- $J_{diff,n} = +qD_n\frac{dn}{dx}$
- $J_{diff} = J_{diff,n} + J_{diff,p}$
$= +qD_n\frac{dn}{dx} - qD_p\frac{dp}{dx}$

رابطه انیشتین

- $D = \frac{k_BT}{q}\mu$

روابط چگالی جریان

- $J = J_n + J_p$
- $J_n = J_{drift,n} + J_{diff,n} = qn\mu_n E + qD_n \frac{dn}{dx}$
- $J_p = J_{drift,p} + J_{diff,p} = qp\mu_p E - qD_p \frac{dp}{dx}$

تمرین:

$$J_n = \mu_n n \frac{dE_{fn}}{dx} \quad , \quad J_p = \mu_p p \frac{dE_{fp}}{dx}$$

راهنمایی: $E = \frac{1}{q}\frac{dE_i}{dx}$ میدان الکتریکی