Тема 3.

Движение квазичастиц электронов в электрическом поле

Полупроводники в электрическом поле

Электрон, находящийся на определенном уровне энергии в зоне движется в попеременно ускоряющем и замедляющем его движение периодическом потенциале

Средняя скорость е равна нулю

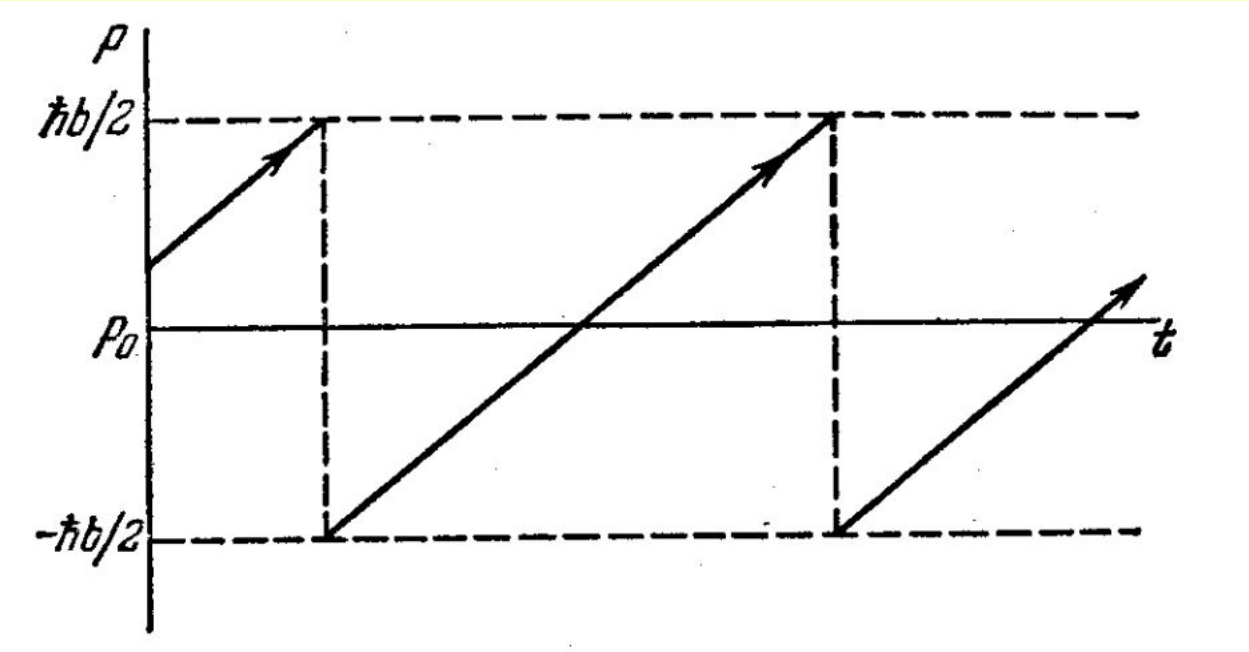
Если же кристалл поместить во внешнее электрическое поле, то это поле создает силу, ускоряющую электрон. ***Таким образом, электрон в кристалле можно рассматривать как свободную классическую частицу, движение которой подчиняется закону Ньютона.***

$dp/dt = F$

Движение эл. в электрическом поле

В электрическом поле сила F=-e*E*

dp/dt = - e*E* ⟶ p = p$_0$ - *eEt*   p = p+ □*b*



Для ***E*** || ***b***
Осцииляции с периодом

t$_0$ = □/***eEb***

ε(t) = ε(p - e*Et*)

Движение электронов в электрическом поле

$$\vec{j} = en\vec{v}_d \qquad \vec{j} = \sigma\vec{E} \qquad \sigma = en\mu = \frac{ne^2}{m}\tau$$

В стационарном состоянии первый член равен нулю

$$\frac{d(mv_d)}{dt} + \frac{mv_d}{\tau} - eE = 0 \qquad |v_d| = \mu|E| \quad \text{где} \quad \mu = \frac{|e|}{m}\tau$$

При выключении поля $\tau = ?$

$$mv_d = (mv_d)_{t=0}e^{(-\frac{t}{\tau})} \quad \textit{релаксация импульса}$$

В общем случае τ зависит конкретного механизма рассеяния и т.о. от температуры и энергии электрона.

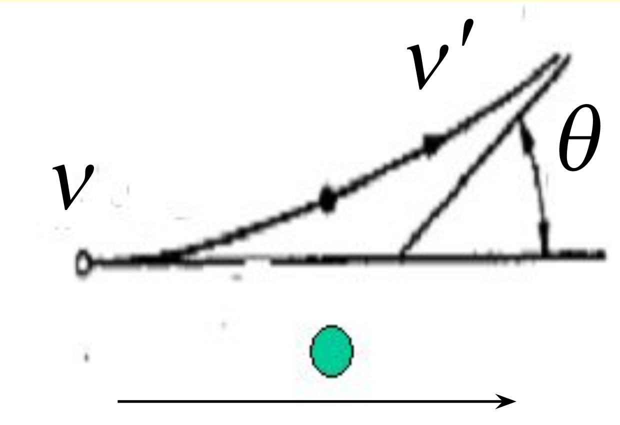
Рассеяние электронов

$$\frac{1}{\tau_c} = N\sigma_c v \qquad \sigma_c = \int_0^{2\pi}\int_0^{\pi} \sigma(\theta)\sin\theta d\theta d\varphi \qquad d\sigma(\theta) = \frac{dN(\theta)}{N}$$

Компонента скорости рассеявшегося электрона в направлении его движения до рассеяния равна: $v' = v \cdot \cos\theta$

Относительное изменение этой компоненты:

$$\frac{v - v \cdot \cos\theta}{v} = 1 - \cos\theta$$



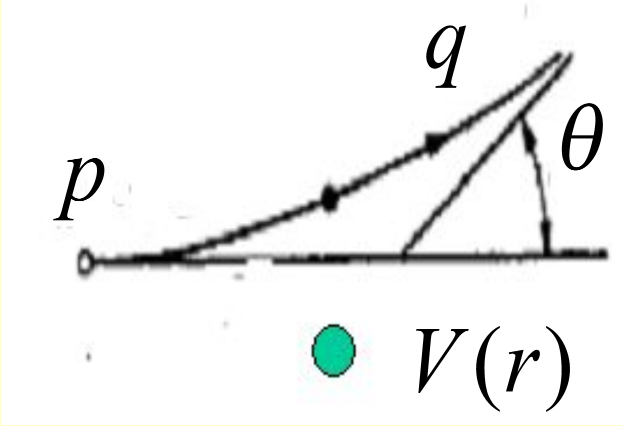
$$\sigma_p = 2\pi\int_0^{\pi} \sigma(\theta)(1-\cos\theta)\sin\theta\, d\theta$$

$$\frac{1}{\tau} = N\sigma_p v$$

$$\frac{1}{\tau} = Nv2\pi\int_0^{\pi} \sigma(\theta)(1-\cos\theta)\sin\theta\, d\theta$$

Рассеяние в приближении Борна

$$S(p,q)=\frac{2\pi}{\hbar}\left|H_{q,p}\right|^{2}\delta(E(p)-E(q))$$



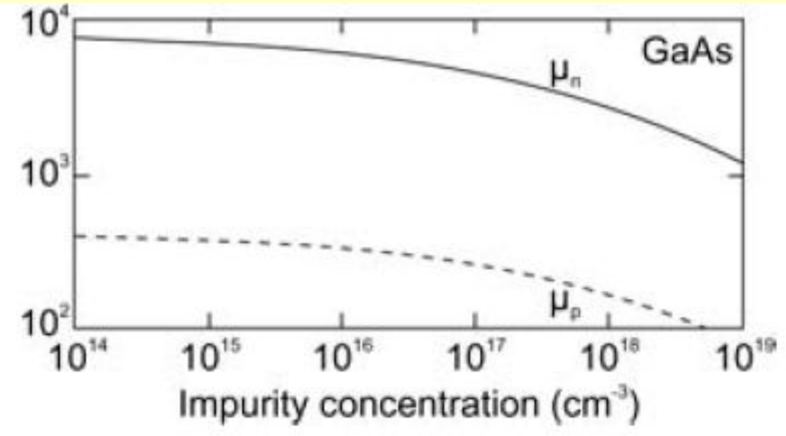
$$H_{q,p}=\int\psi_{q}V(r)\psi_{p}d^{3}\vec{r}\qquad v'=\frac{q}{m}$$

$$\sigma(\theta)=\frac{V^{2}m^{2}}{(2\pi\hbar)^{3}p}\int S(p,q)qdE(q)\qquad E(q)=\frac{q^{2}}{2m}$$

$$\frac{1}{\tau}=\frac{V}{(2\pi\hbar)^{3}}\int q^{2}dq\int_{0}^{\pi}S(p,q)(1-\cos\theta)\sin\theta\,d\theta$$

3D

Механизмы рассеяния носителей заряда в 3D кристаллах



Рассеяние на ионизированных примесях.

$$\mu \propto T^{3/2}$$

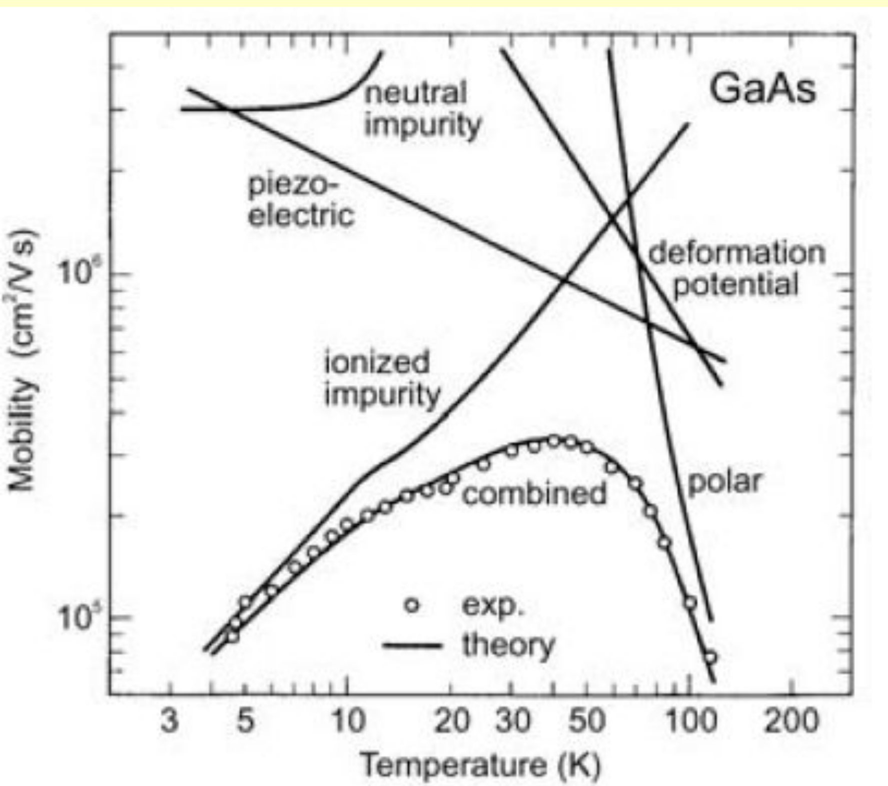
Рассеяние на фононах.

$$\mu \propto T^{-3/2} \text{ акуст.деф.пот.}$$

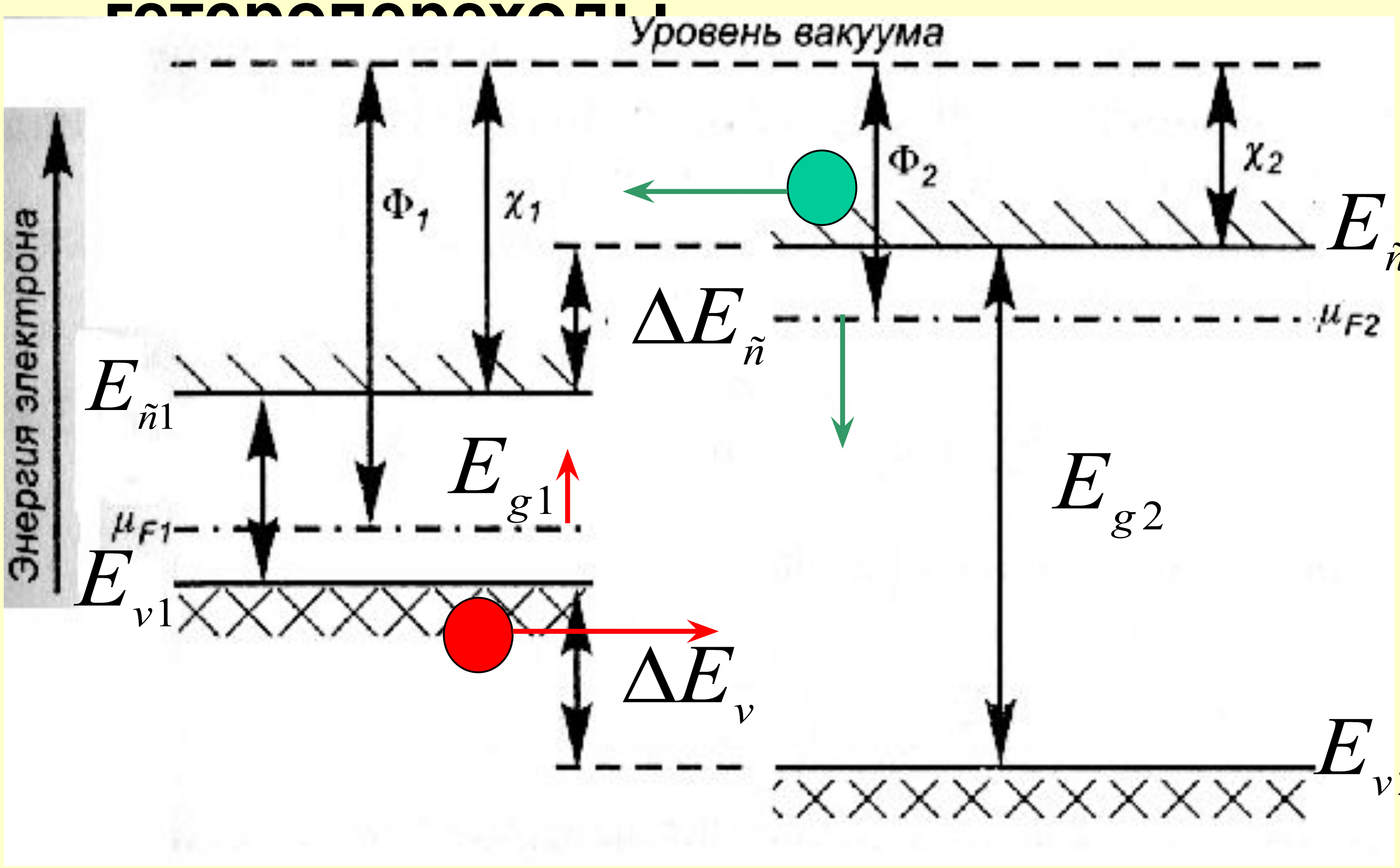
$$\mu \propto \frac{e^{\frac{\Theta}{T}}}{\omega} \text{ пол.опт.}$$

Пьезоэлектрическое рассеяние

$$\mu \propto T^{-1/2}$$

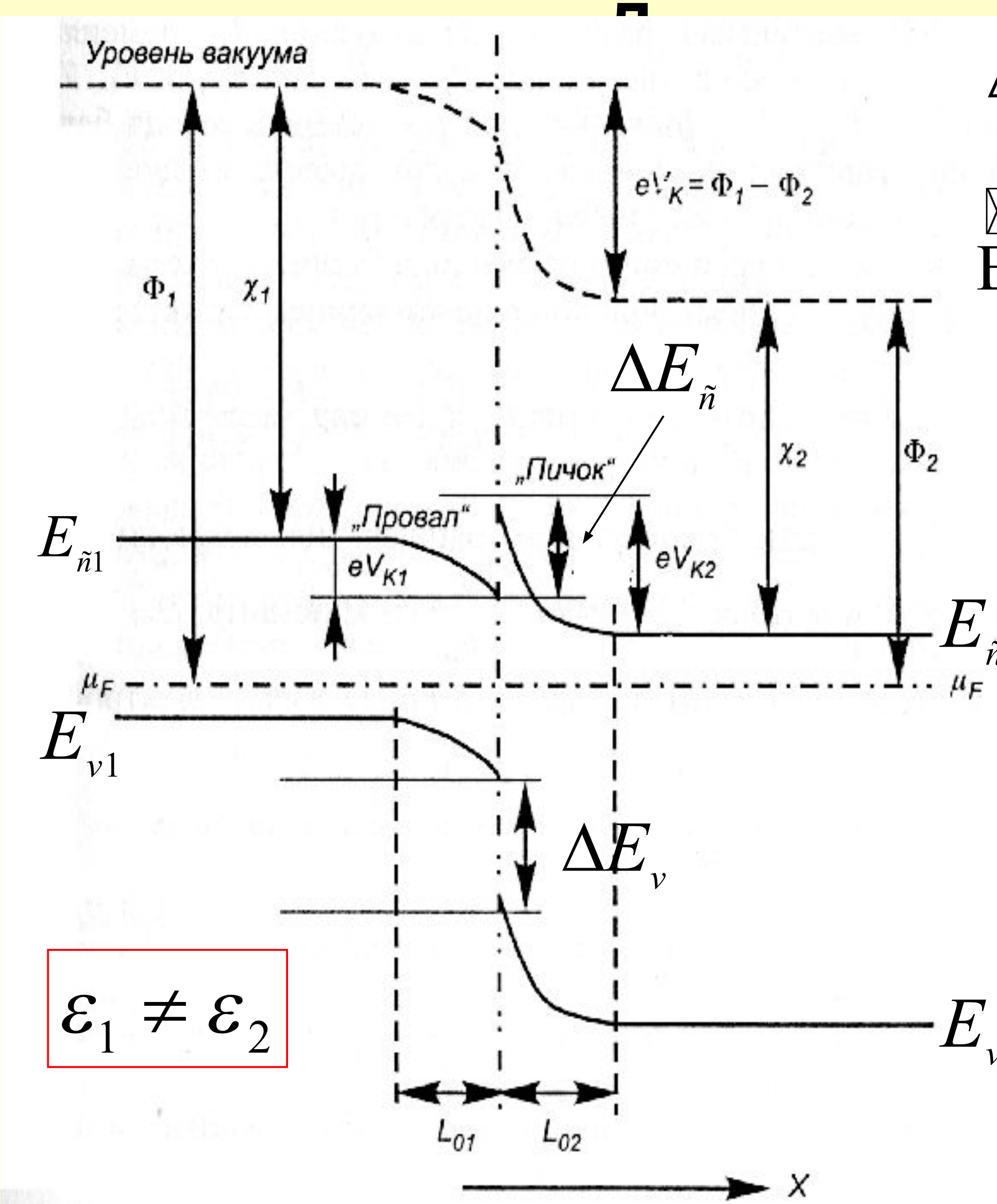


Резкие анизотипные гетеропереходы



$$V_k = V_{k1} + V_{k2} = \frac{1}{e}(\Phi_1 - \Phi_2)$$

Гетеропереход



$$\boxed{\varepsilon_1 \neq \varepsilon_2}$$

$$\Delta E_{\tilde{N}} = \chi_1 - \chi_2$$

$$\mathrm{E}_1 = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}\mathrm{E}_2 \ \textit{разрыв эл.поля}$$

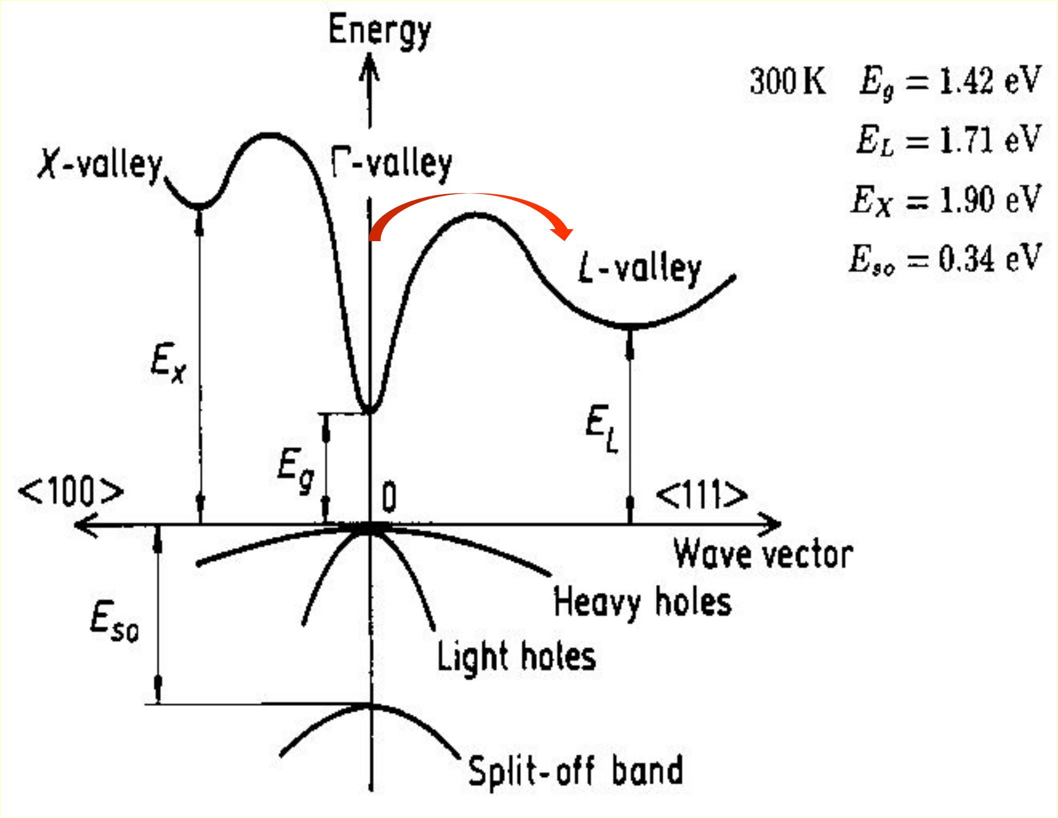
$$\frac{V_{k1}}{V_{k2}} = \frac{N_{d2}\varepsilon_2}{N_{a1}\varepsilon_1}$$

Толщины ОПЗ (обеднение!!!)

$$L_{01} = \sqrt{\frac{2N_{a1}\varepsilon_1\varepsilon_2 V_k}{2N_{d2}(\varepsilon_1 N_{a1} + \varepsilon_2 N_{d2})}}$$

$$L_{02} = \sqrt{\frac{2N_{d2}\varepsilon_1\varepsilon_2 V_k}{2N_{a1}(\varepsilon_1 N_{a1} + \varepsilon_2 N_{d2})}}$$

Явление междолинного переноса электронов в полупроводниках



$$\mathrm{E} = e\,E\,x$$

E ~ 3x10^3 V/cm

Определяется длиной свободного пробега