

## *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**

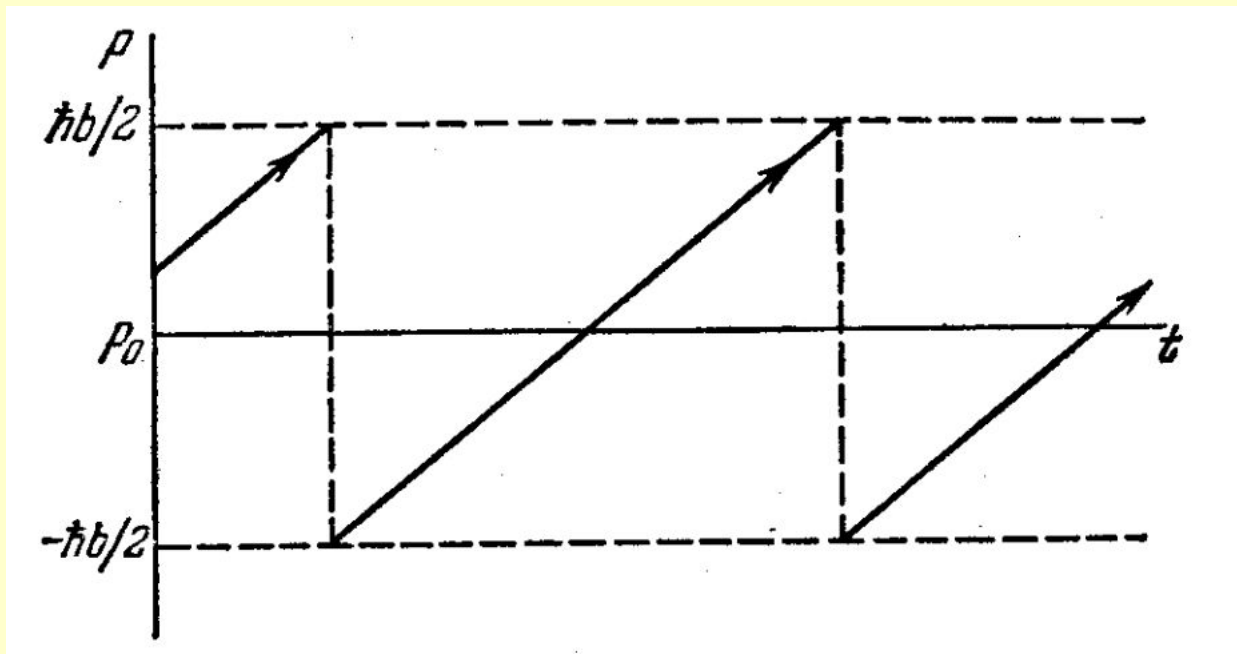
**Средняя скорость  $v$  равна нулю**

**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.***

# Движение эл. в электрическом поле

В электрическом поле сила  $F = -eE$

$$dp/dt = -eE \longrightarrow p = p_0 - eEt \quad p = p + \square b$$



Для  $E \parallel b$   
Осцилляции с  
периодом

$$t_0 = \square / eEb$$

$$\epsilon(t) = \epsilon(p - eEt)$$

# Движение электронов в электрическом

поле

$$\vec{j} = en\vec{v}_d$$

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}$$

$$\sigma = en\mu = \frac{ne^2}{m} \tau$$

В стационарном состоянии первый член равен нулю

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

При выключении поля  $\tau = ?$

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

В общем случае  $\tau$  зависит конкретного механизма рассеяния и т.о. от температуры и энергии электрона.

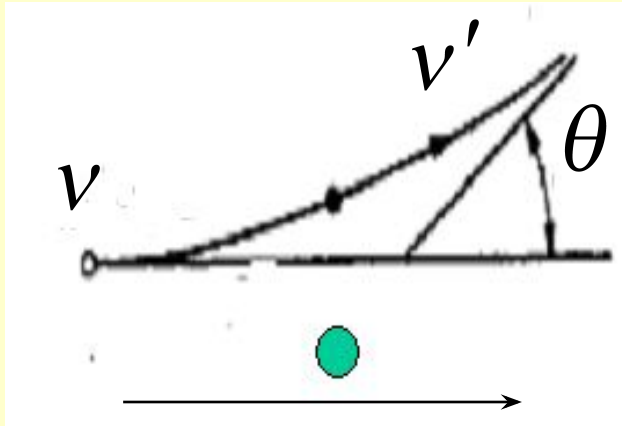
# Рассеяние электронов

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

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

Относительное изменение этой компоненты:

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



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

$$\frac{1}{\tau} = N \sigma_p v \quad \frac{1}{\tau} = N v 2\pi \int_0^\pi \sigma(\theta) (1 - \cos \theta) \sin \theta d\theta$$

# Рассеяние в приближении

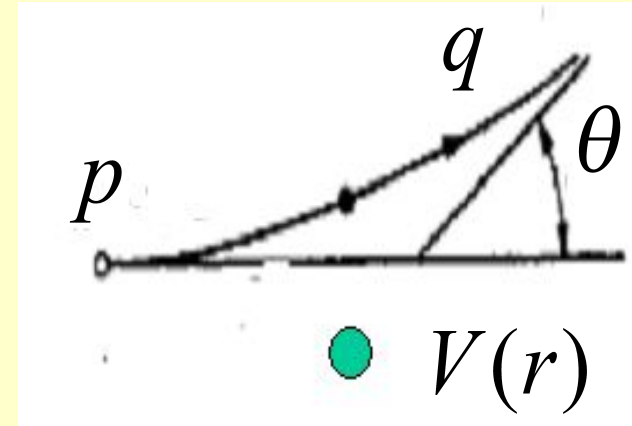
## Борна

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

$$H_{q,p} = \int \psi_q V(r) \psi_p d^3r \quad v' = \frac{q}{m}$$

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

$$\frac{1}{\tau} = \frac{V}{(2\pi\hbar)^3} \int q^2 dq \int_0^\pi S(p, q) (1 - \cos \theta) \sin \theta d\theta \quad \mathbf{3D}$$



# Механизмы рассеяния носителей заряда в 3D кристаллах

Рассеяние на ионизированных примесях.

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

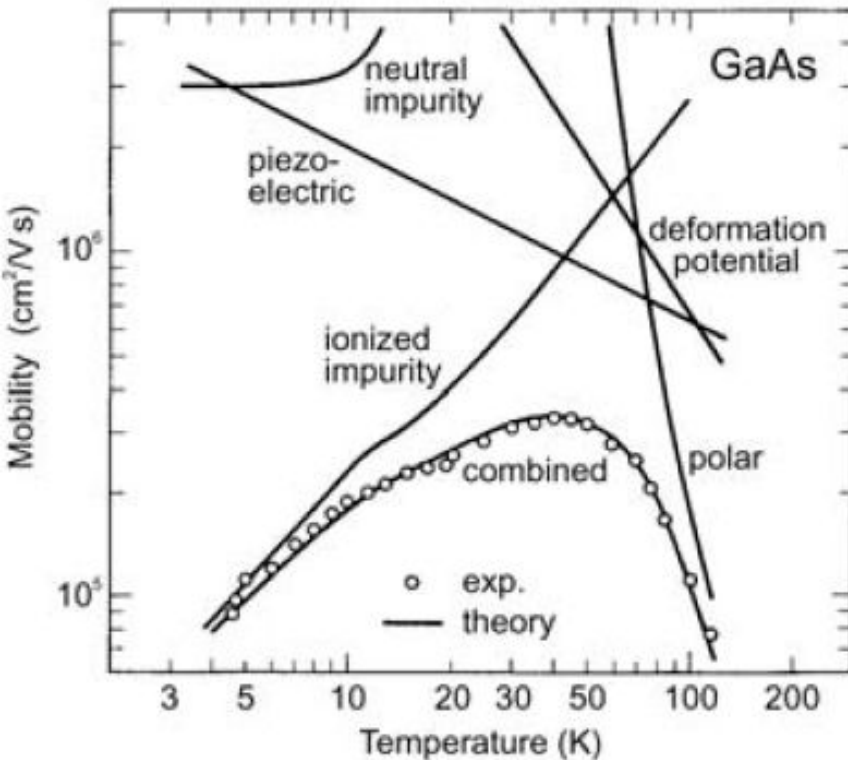
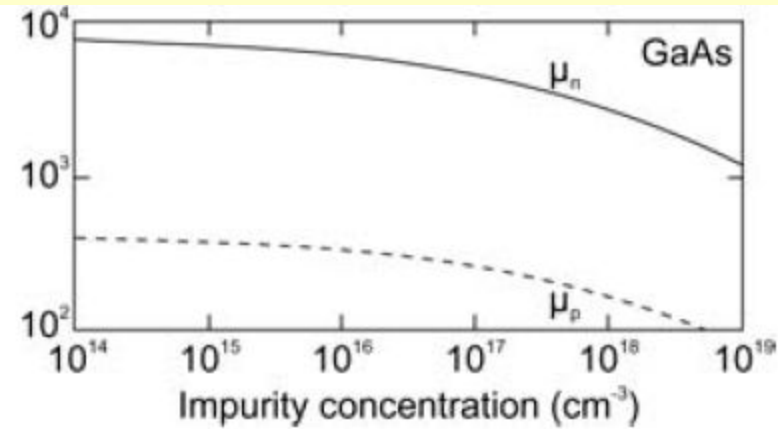
Рассеяние на  
фононах.

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

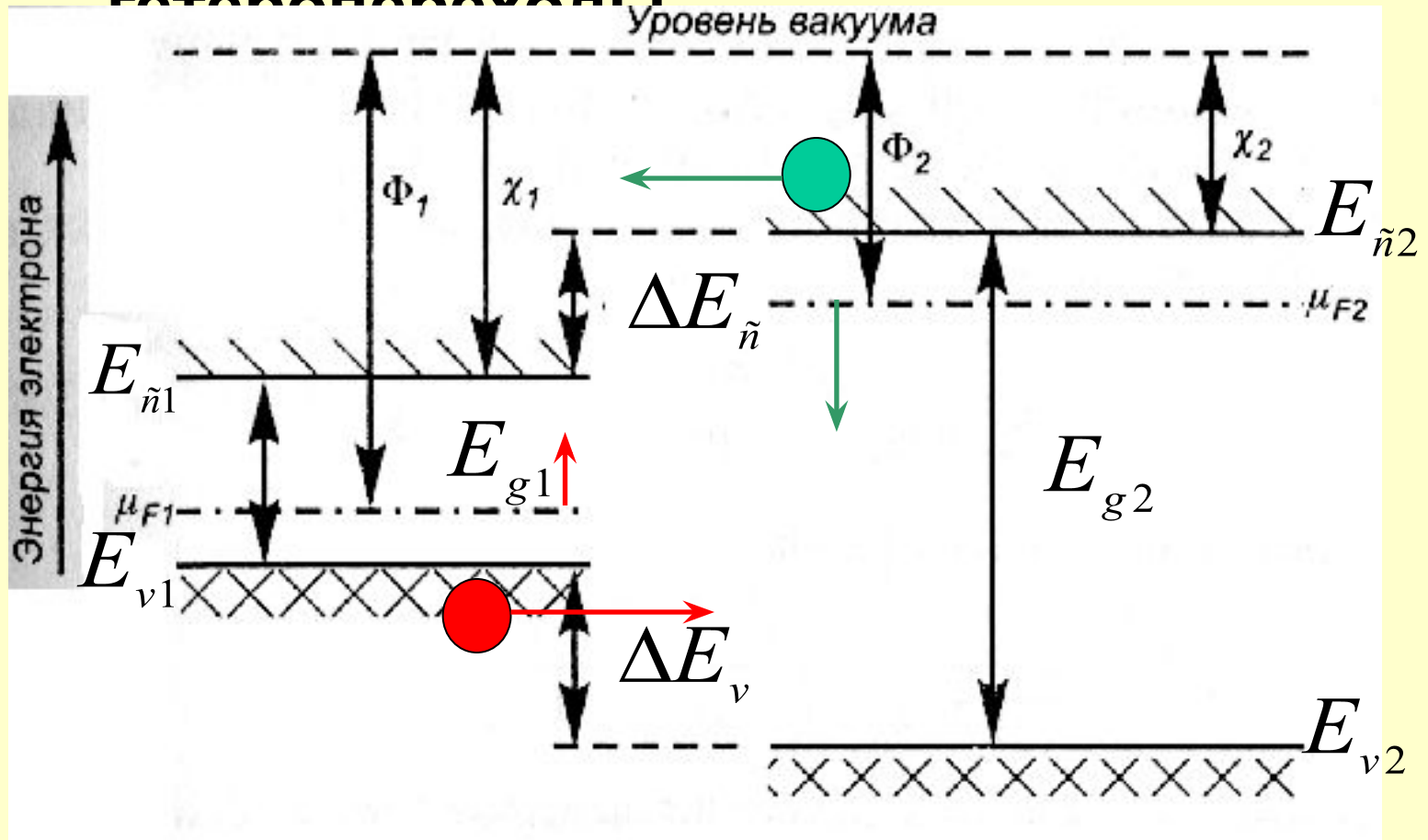
$$\mu \propto \frac{e^{\frac{\Theta}{T}}}{\omega} \text{ пол. опт.}$$

Пьезоэлектрическое  
рассеяние

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



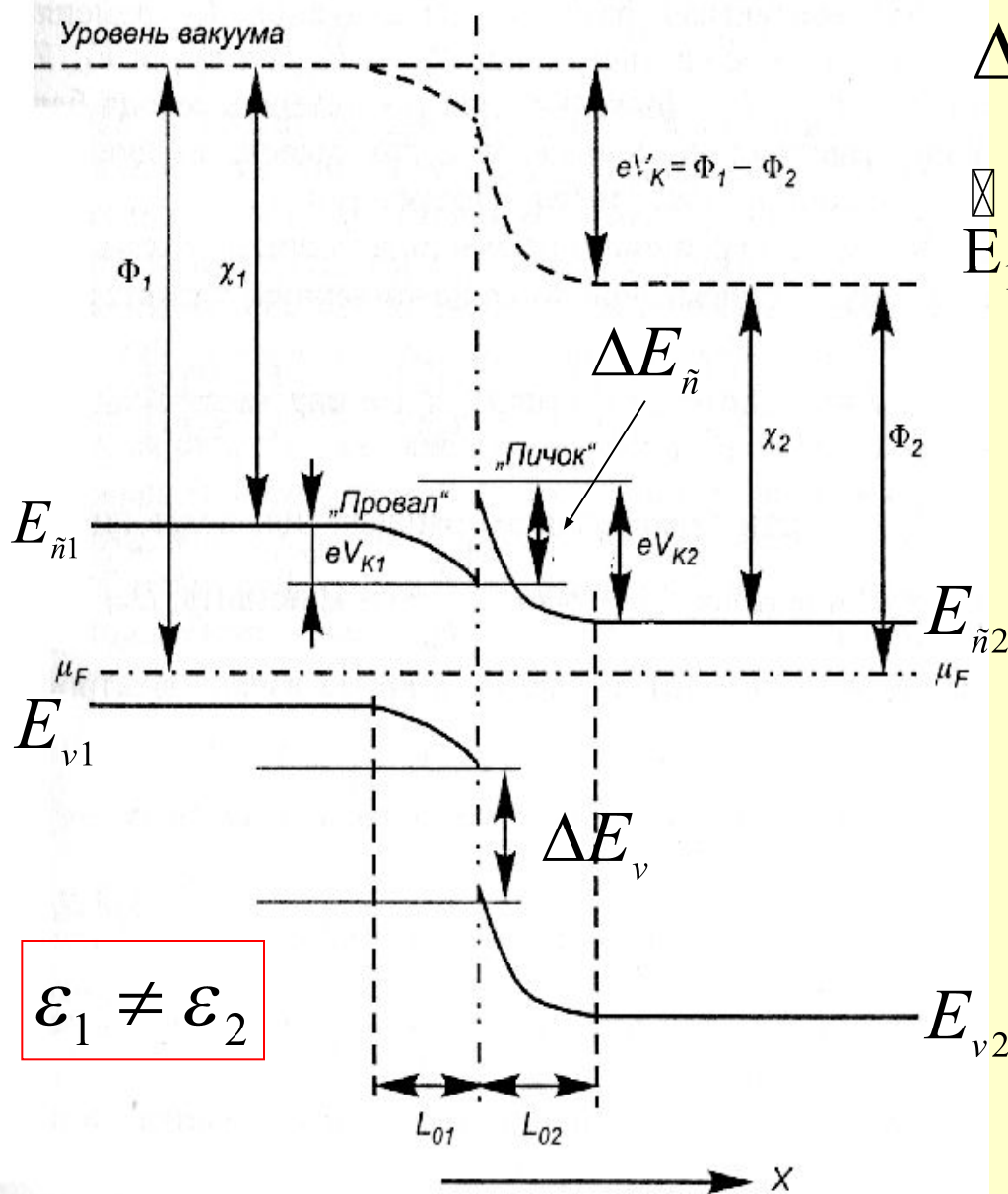
# Резкие анизотипные гетероструктуры



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



# Гетероперехо



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

$$\boxed{\epsilon_1} E_1 = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \boxed{\epsilon_2} E_2 \text{ разрыв эл.поля}$$

$$\frac{V_{k1}}{V_{k2}} = \frac{N_{d2} \epsilon_2}{N_{a1} \epsilon_1}$$

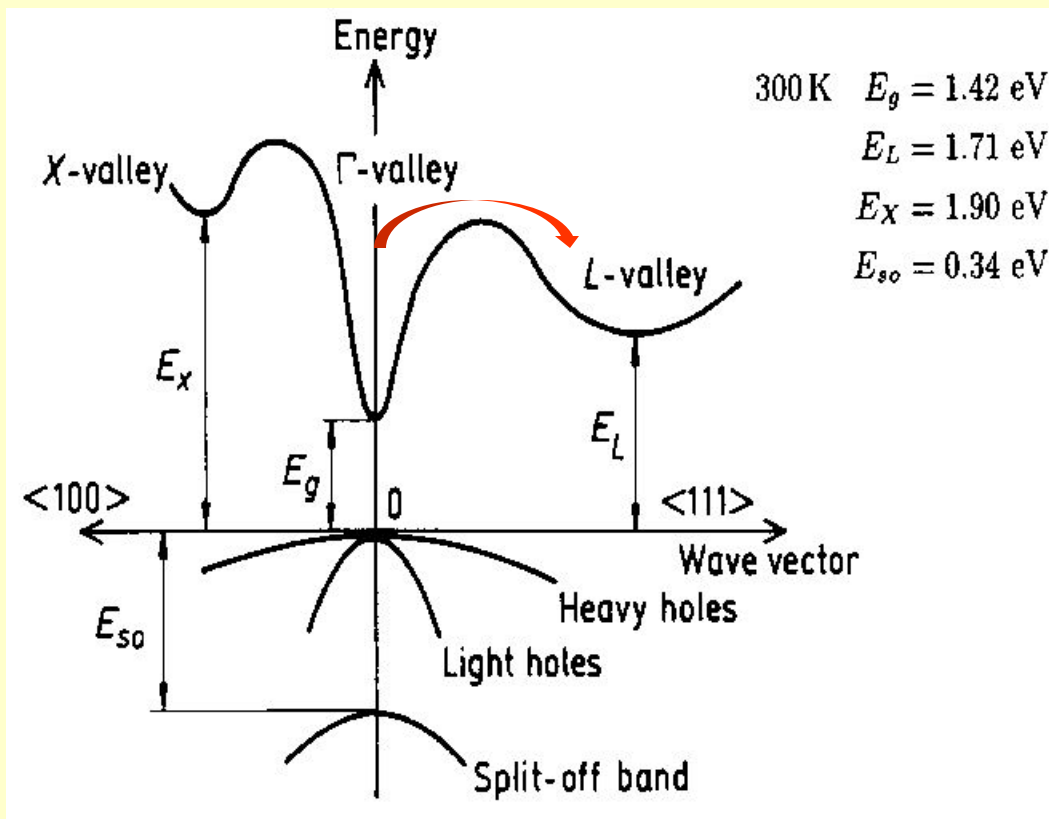
$$\frac{V_{k1}}{V_{k2}} = \frac{N_{d2} \epsilon_2}{N_{a1} \epsilon_1}$$

**Толщины ОПЗ (обеднение!!!)**

$$L_{01} = \sqrt{\frac{2N_{a1} \epsilon_1 \epsilon_2 V_k}{2N_{d2} (\epsilon_1 N_{a1} + \epsilon_2 N_{d2})}}$$

$$L_{02} = \sqrt{\frac{2N_{d2} \epsilon_1 \epsilon_2 V_k}{2N_{a1} (\epsilon_1 N_{a1} + \epsilon_2 N_{d2})}}$$

# Явление междолинного переноса электронов в полупроводниках



$$E = e E x$$

$$E \sim 3 \times 10^3 \text{ V/cm}$$

↑  
Определяется длиной свободного пробега