

P-N переход

# Основные и неосновные носители заряда

- **P область**

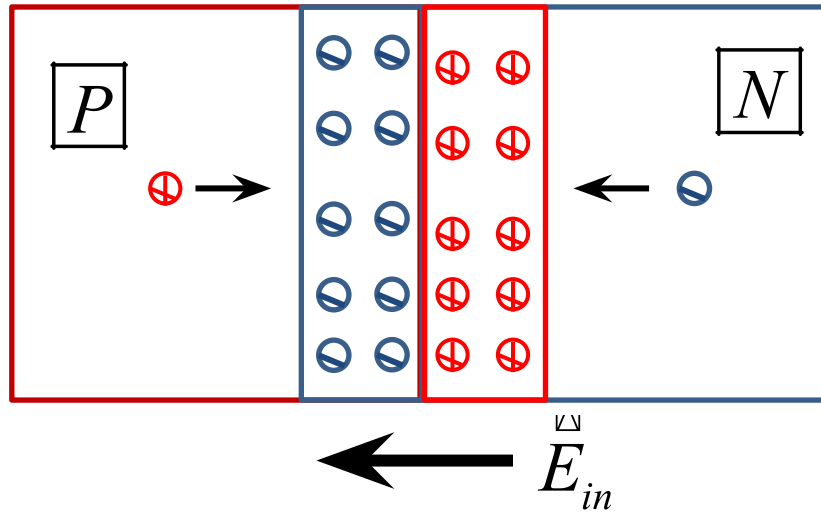
- Основные – дырки, концентрация  $p_p$

- Неосновные электроны  $n_p$

- **N область**

- Основные – электроны  $n_n$

- Неосновные дырки  $p_n$



Возникает диффузионный ток дырок из P – области в N-область (основные носители)  $I_p$   
 и диффузионный ток электронов из N – области в P-область (основные носители)

$$I_{p0} = eD_p S \frac{dp}{dx}$$

Диффузионный ток  
дырок

$D_p$  Коэффициент диффузии  
дырок

$S$  Площадь перехода

$\frac{dp}{dx}$  Градиент концентрации  
дырок

$$I_{n0} = eD_n S \frac{dn}{dx}$$

Диффузионный ток  
электронов

$D_n$  Коэффициент диффузии  
электронов

$S$  Площадь перехода

$\frac{dn}{dx}$  Градиент концентрации  
электронов

На границе возникает электрическое поле,  
препятствующее движению основных  
носителей

- Под действием возникшего  
электрического поля появляется  
**дрейфовый ток неосновных  
носителей** заряда

$$I_{n_{\text{дрейф}}} = S\sigma_n E_{in} = Se\mu_n n_p E_{in}$$

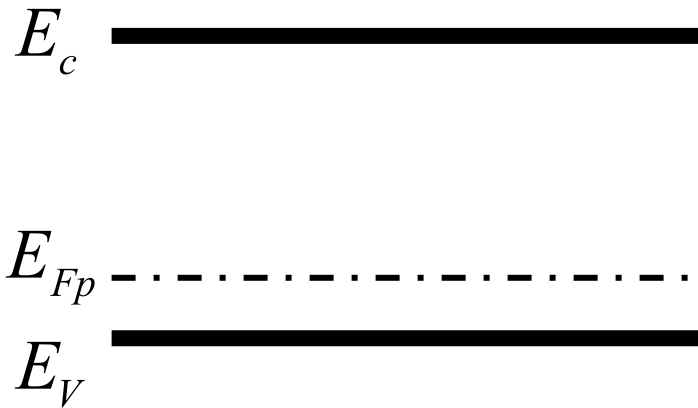
$$I_{p_{\text{дрейф}}} = S\sigma_p E_{in} = Se\mu_p p_n E_{in}$$

- В состоянии равновесия суммарный ток через переход равен 0

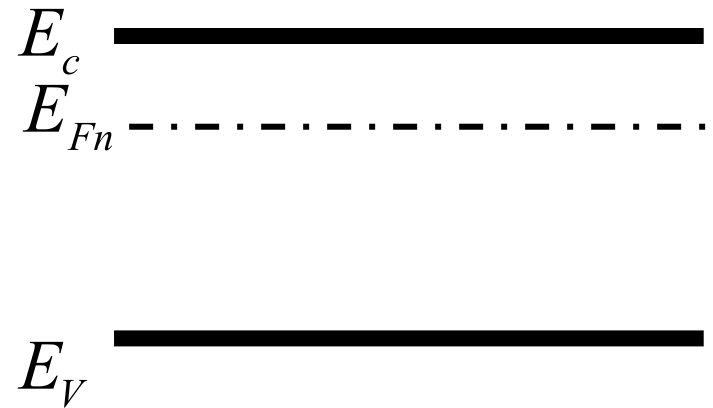
$$I_{p0} + I_{n0} = I_{p_{\text{дрейф}}} + I_{n_{\text{дрейф}}}$$

# Диаграмма перехода при равновесии

$P$



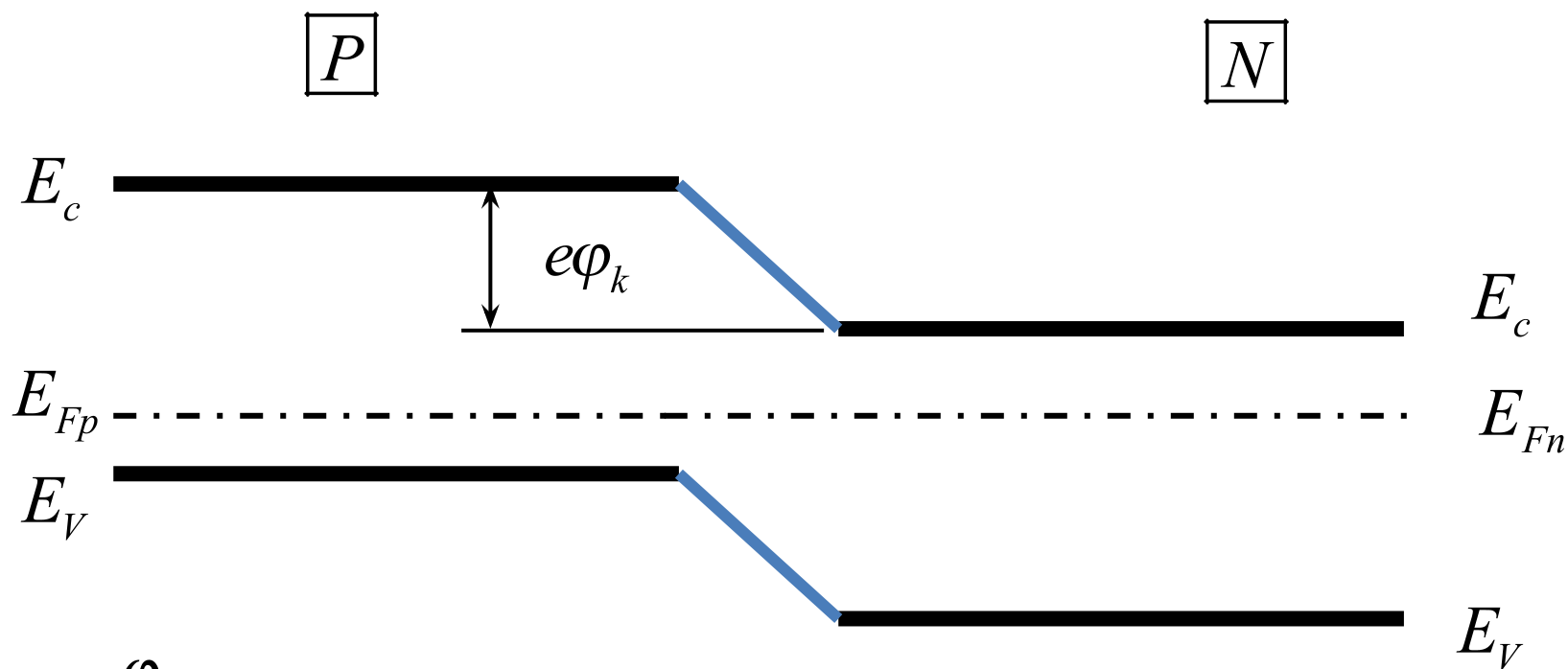
$N$



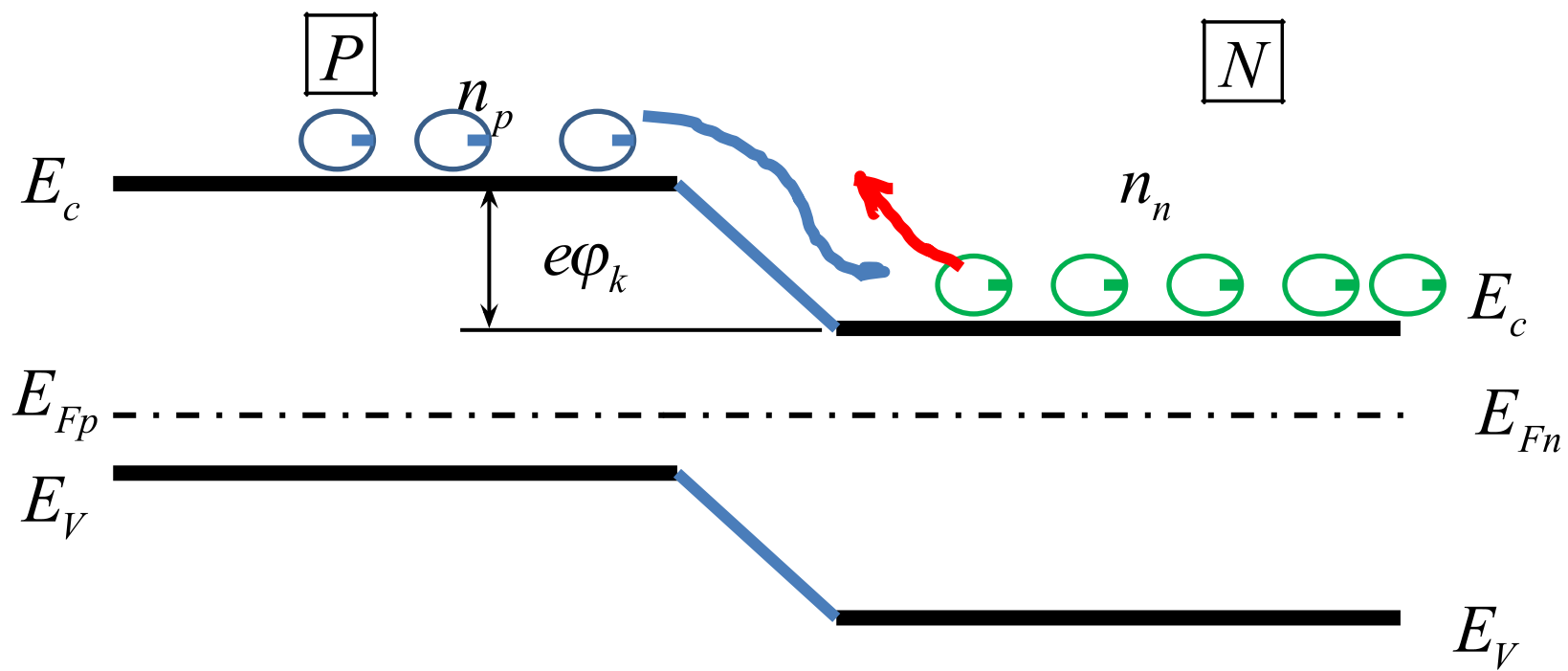


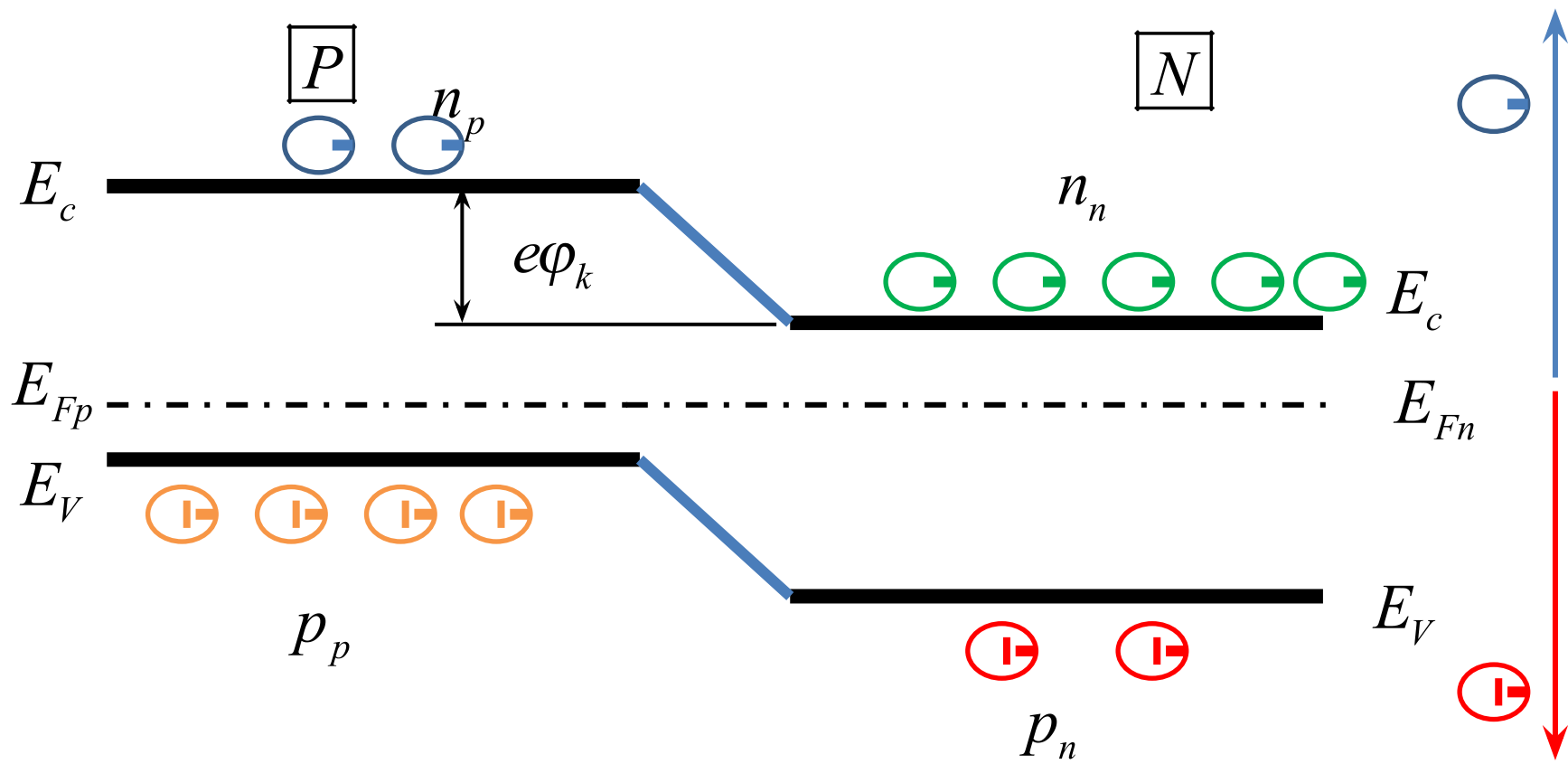
СОЕДИНИМ ДВА ПОЛУПРОВОДНИКА

**ПРИ РАВНОВЕСИИ ПОЛОЖЕНИЕ УРОВНЯ ФЕРМИ ВЫРАВНИВАЕТСЯ**



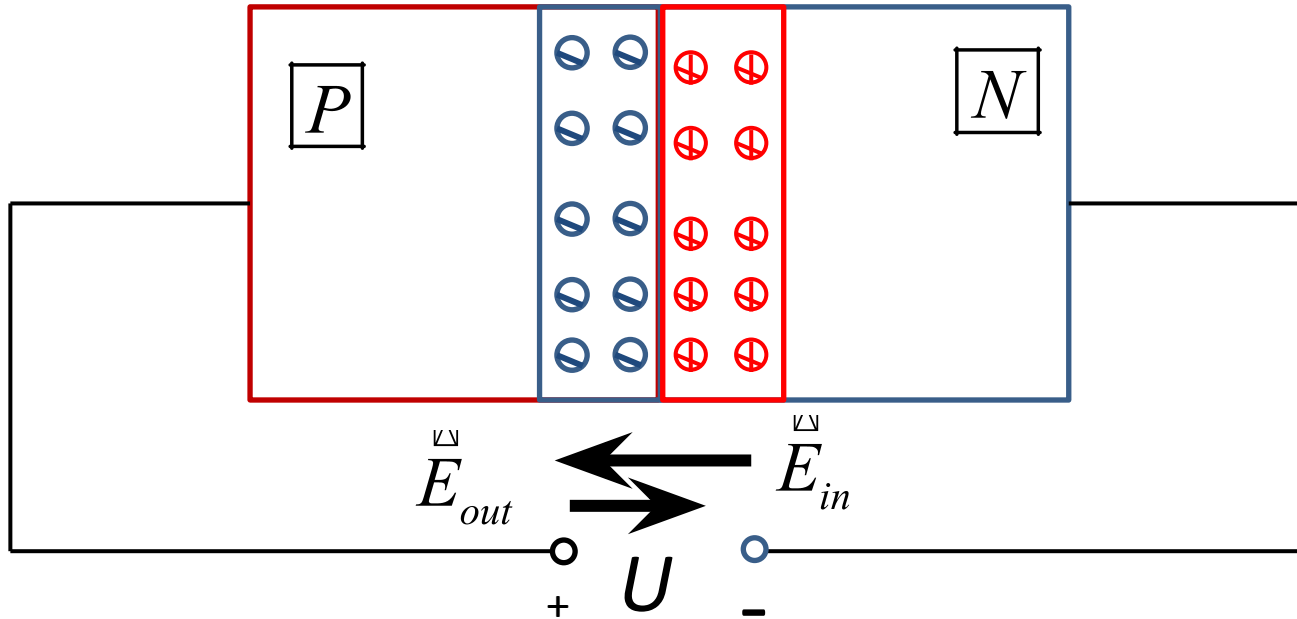
$\varphi_k$  **КОНТАКТНАЯ РАЗНОСТЬ ПОТЕНЦИАЛОВ**  
–на границе





- В равновесном состоянии через переход течет ток неосновных носителей заряда

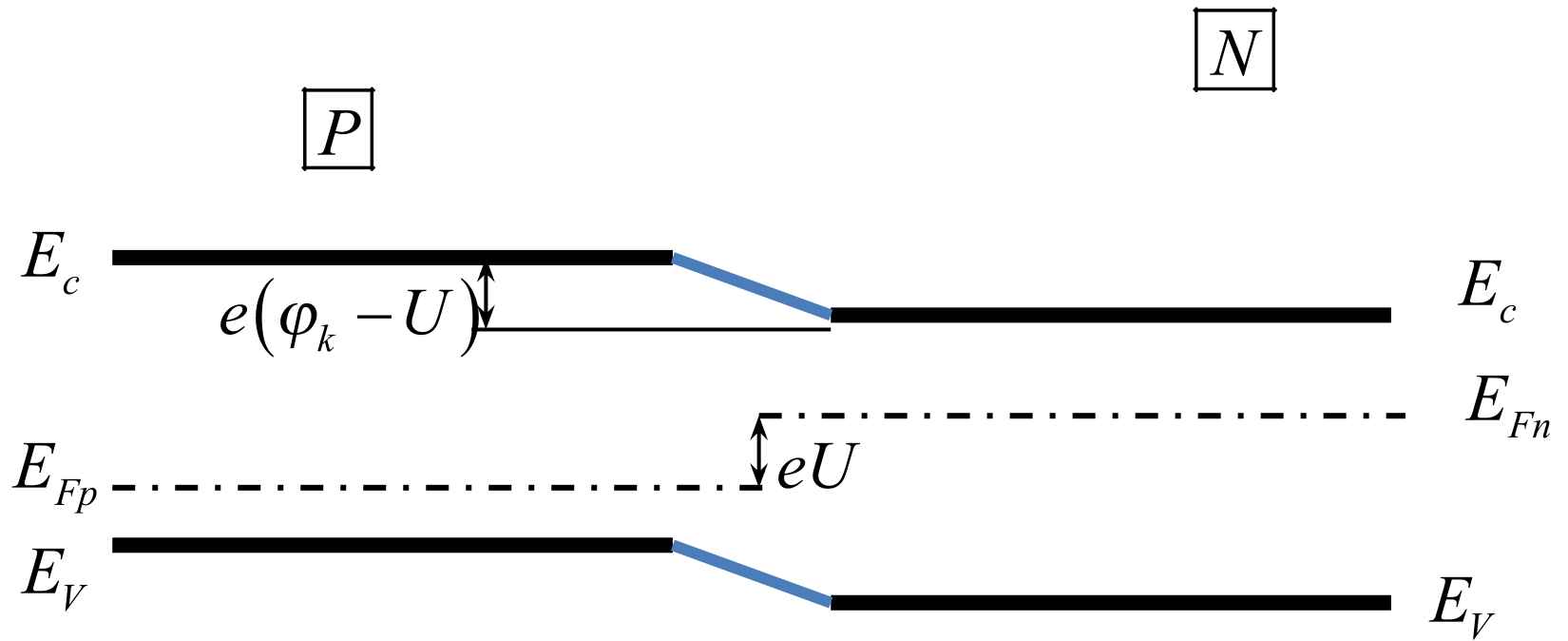
# Прямое смещение P-N перехода



$$E = E_{in} - E_{out}$$

Потенциальный барьер  
понижается

# Потенциальный барьер понижается



- Для основных носителей заряда потенциальный барьер понижается
- Ток неосновных носителей не меняется
- Основных значительно больше –  
прямой **ток определяется основными носителями заряда**

- Ток основных носителей увеличивается по сравнению с равновесным

$$I_{осн} = \left( I_{p0} + I_{n0} \right) e^{\frac{eU}{kT}}$$

- Ток неосновных носителей не меняется

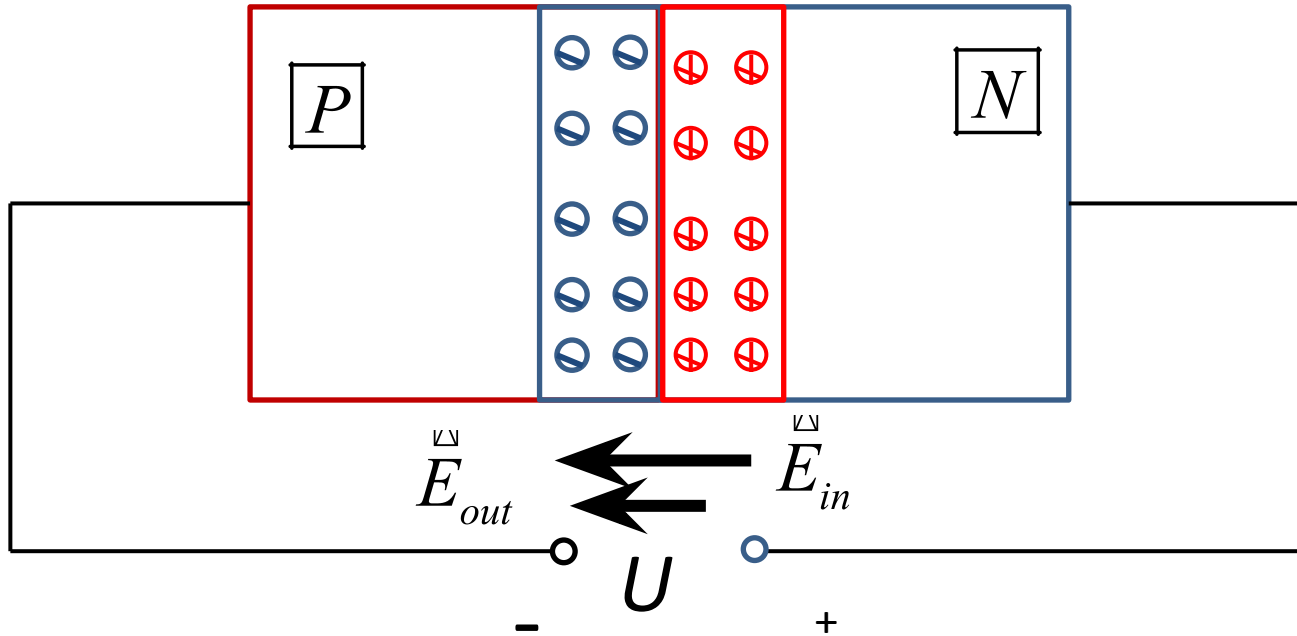
$$I_{неосн} = I_{p_{дрейф}} + I_{n_{дрейф}} = I_{p0} + I_{n0}$$



- Суммарный ток при прямом включении

$$\begin{aligned} I &= I_{осн} - I_{неосн} = (I_{p0} + I_{n0}) e^{\frac{eU}{kT}} - (I_{p0} + I_{n0}) = \\ &= (I_{p0} + I_{n0}) \left( e^{\frac{eU}{kT}} - 1 \right) \\ &= I_0 \left( e^{\frac{eU}{kT}} - 1 \right) \end{aligned}$$

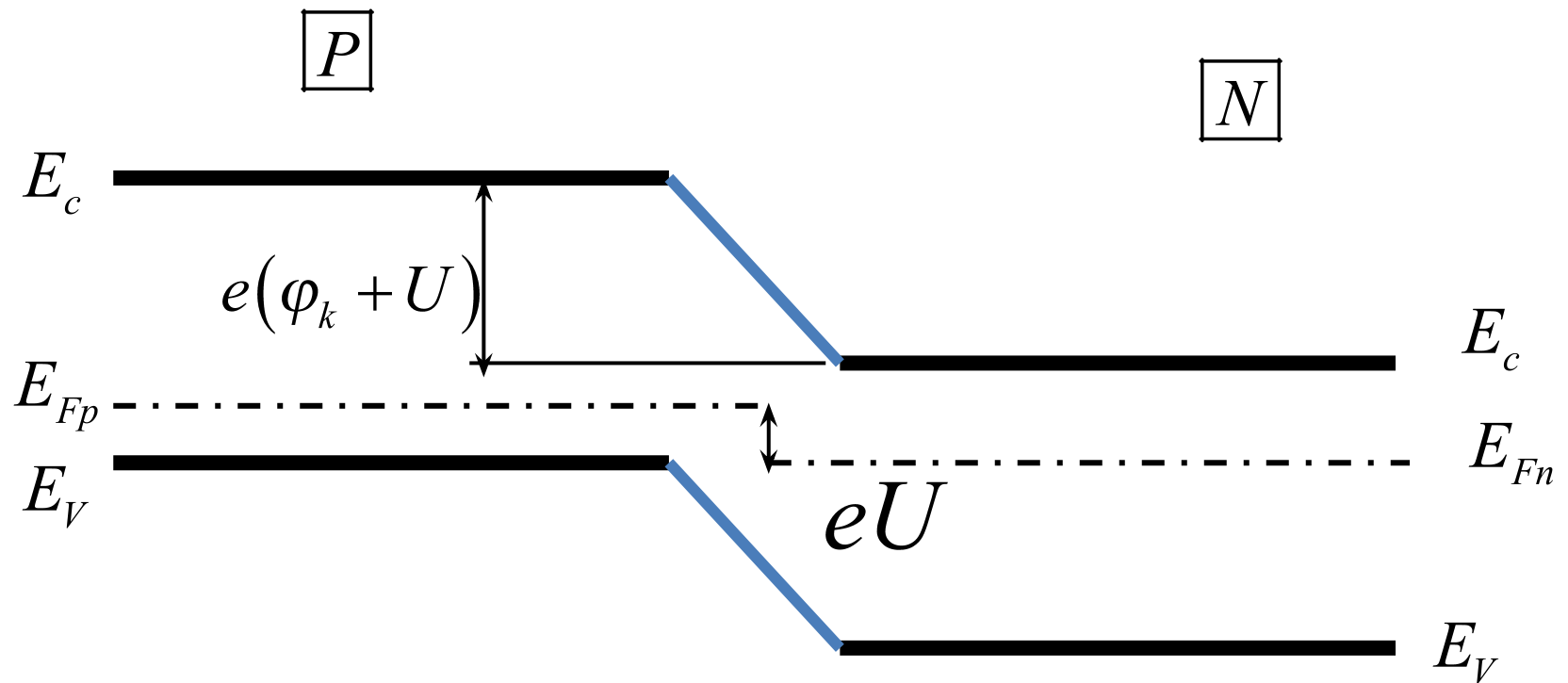
# Обратное смещение P-N перехода



$$E = E_{in} + E_{out}$$

Потенциальный барьер  
повышается

# Потенциальный барьер повышается



- Для основных носителей заряда потенциальный барьер повышается, немногие могут преодолеть потенциальный барьер
- Ток неосновных носителей не меняется
- **Обратный ток определяется неосновными носителями заряда**

- Ток основных носителей уменьшается по сравнению с равновесным

$$I_{осн} = (I_{p0} + I_{n0}) e^{-\frac{eU}{kT}}$$

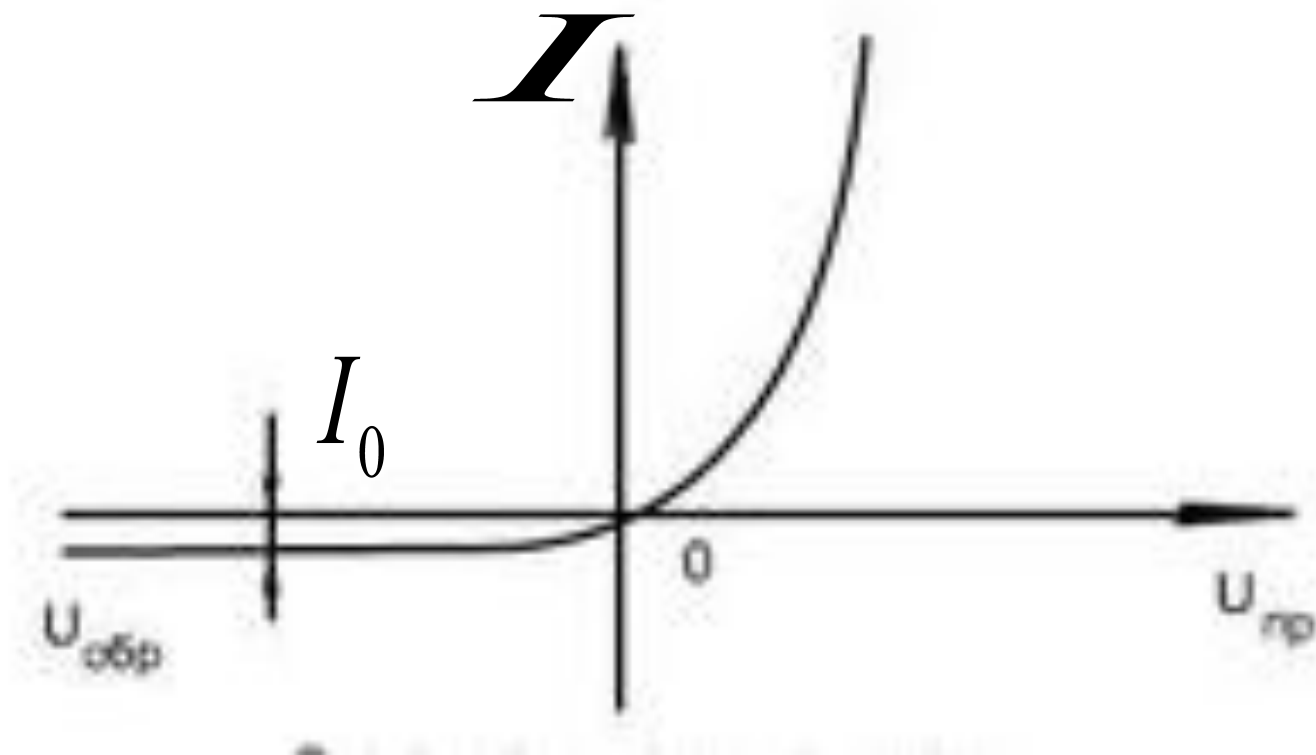
- Ток неосновных носителей не меняется

$$I_{неосн} = I_{p_{дрейф}} + I_{n_{дрейф}} = I_{p0} + I_{n0}$$

- Суммарный ток при обратном включении

$$\begin{aligned} I &= I_{осн} - I_{неосн} = (I_{p0} + I_{n0}) e^{-\frac{eU}{kT}} - (I_{p0} + I_{n0}) = \\ &= (I_{p0} + I_{n0}) \left( e^{-\frac{eU}{kT}} - 1 \right) \\ &= I_0 \left( e^{-\frac{eU}{kT}} - 1 \right) \\ &\approx -I_0 \end{aligned}$$

# Вольт- амперная характеристика



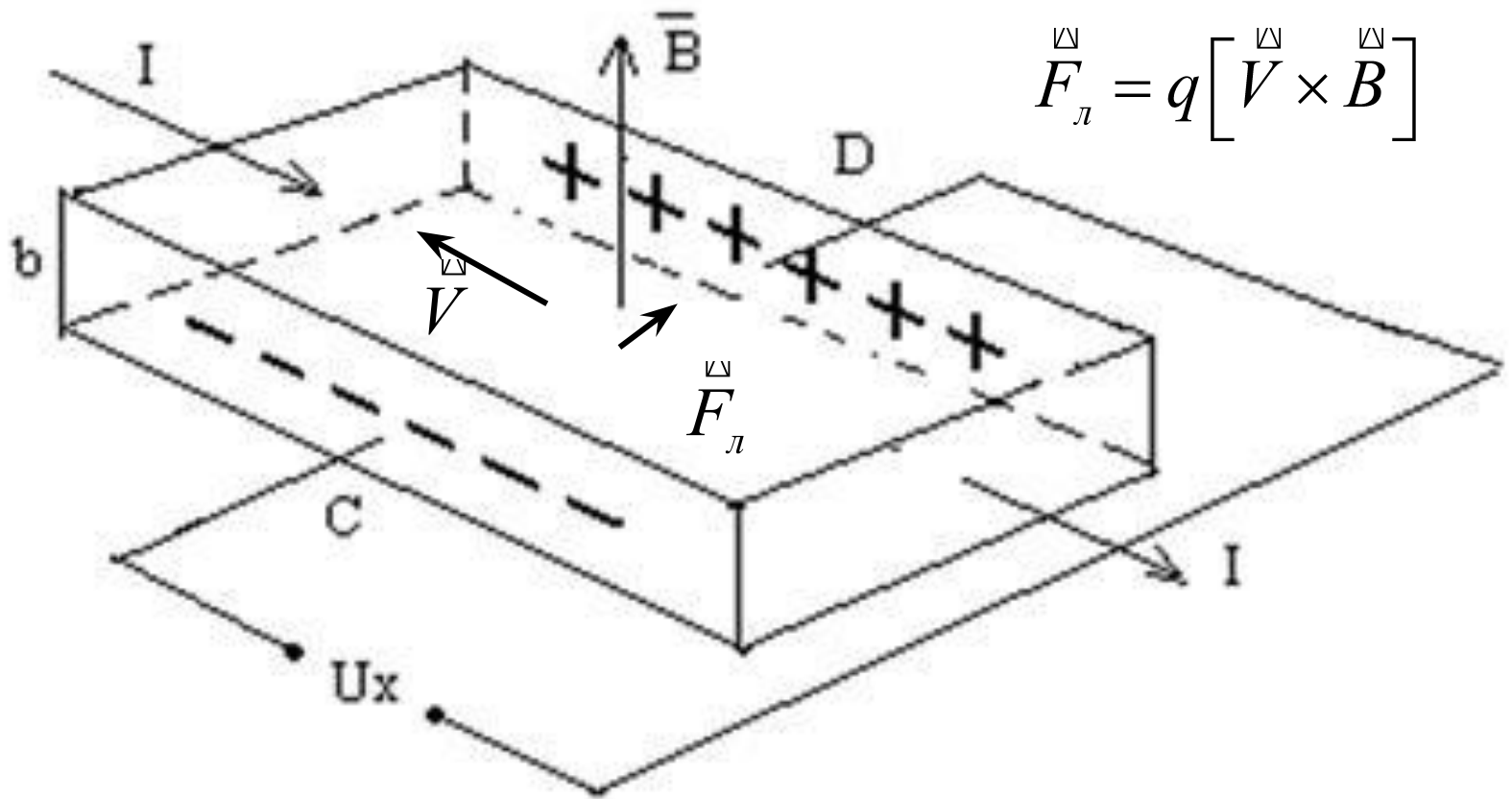
# Свойства p-N перехода

- **Выпрямляющее** – ток в прямом направлении много больше тока в обратном направлении
- При повышении температуры концентрация неосновных носителей резко возрастает, а основных не меняется (количество примеси)
- Выпрямляющие свойства исчезают при  $75^{\circ}\text{C}$  для Ge и  $150^{\circ}\text{C}$  для Si



# ЭФФЕКТ ХОЛЛА

- Возникновение поперечной разности потенциалов в металле или полупроводнике с током во внешнем магнитном поле



$$\vec{F}_L = q[\vec{V} \times \vec{B}]$$

- Под действием силы Лоренца электроны отклоняются на переднюю грань , а дырки – на заднюю
- Возникает поперечное электрическое поле с напряженностью  $E_H$
- Сила Лоренца уравновешивается силой Кулона

$$eE_H = eVB$$

$$E_H = VB$$

$$U_H = E_H b = VBb$$

$U_H$  Холловская разность  
потенциалов  
 $b$  Толщина образца

- По закону Ома  $j = \sigma E$

$j$  Плотность тока

$\sigma = en\mu$  электропроводность

$n$  Концентрация  
носителей заряда

$\mu$  Подвижность

$$j = \sigma E = en\mu E = enV$$

$$\mu E = V \text{ скорость}$$

$$V = \frac{j}{en} = \frac{I}{S} \cdot \frac{1}{en}$$

$$U_H = VBb = \frac{1}{en} \cdot IB \cdot \frac{b}{S}$$

Учтем, что не все электроны движутся с одинаковыми скоростями и механизмы рассеяния тоже разные

$$U_H = \frac{A}{en} \cdot IB \cdot \frac{b}{S}$$

$$R = \frac{A}{en} \quad \text{Постоянная Холла}$$

$A$  Определяется механизмом рассеяния

$A = 1$  В металлах

$A = 1.18$  В атомных кристаллах

$A = 1.93$  В решетках с ионизированными примесями



- Если носители заряда двух типов

$$R = \frac{A}{e} \cdot \frac{p\mu_p^2 - n\mu_n^2}{(p\mu_p + n\mu_n)^2}$$

- Если собственный полупроводник

$$R = \frac{A}{e} \cdot \frac{\mu_p - \mu_n}{\mu_p + \mu_n}$$

- По знаку эдс Холла можно определить тип носителей заряда в полупроводнике