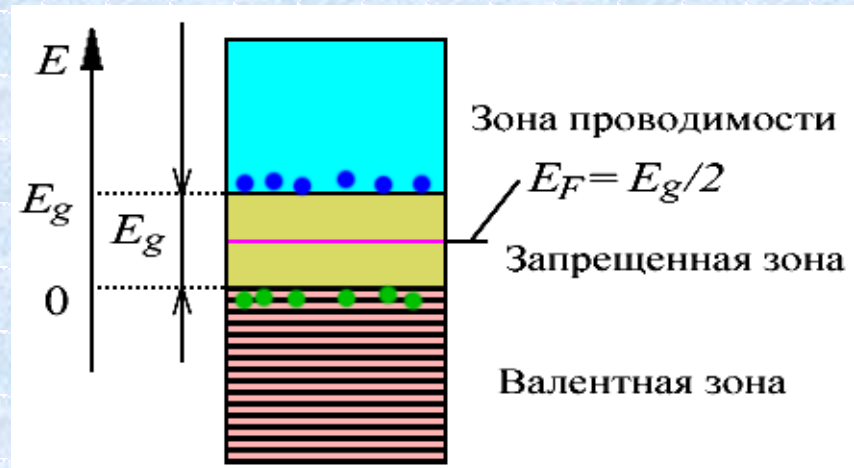
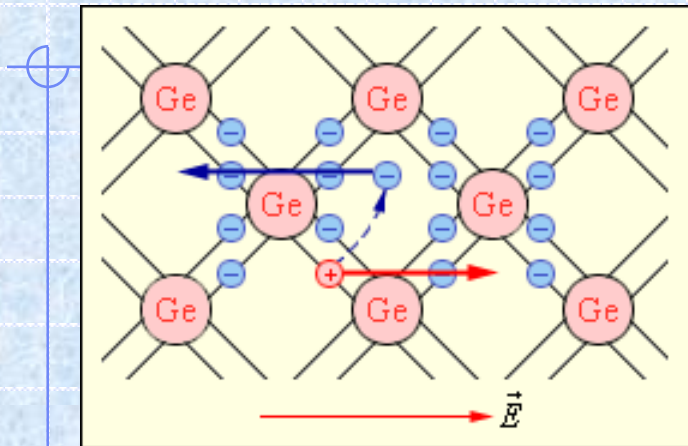
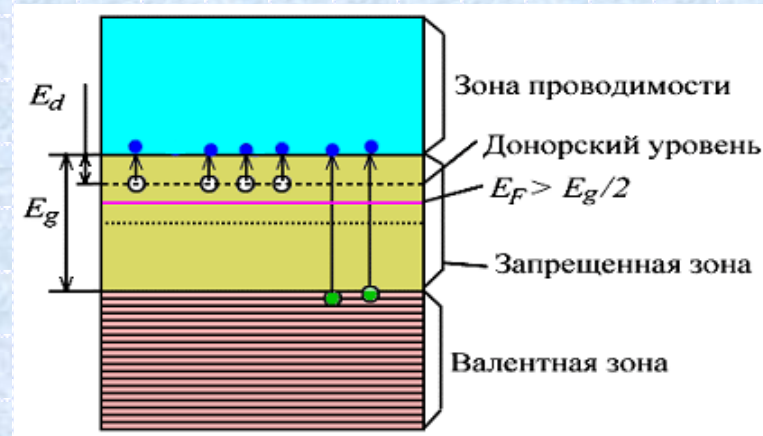
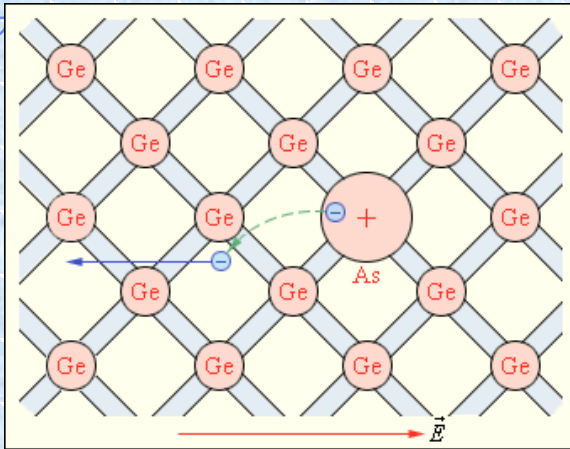


Чистые полупроводники

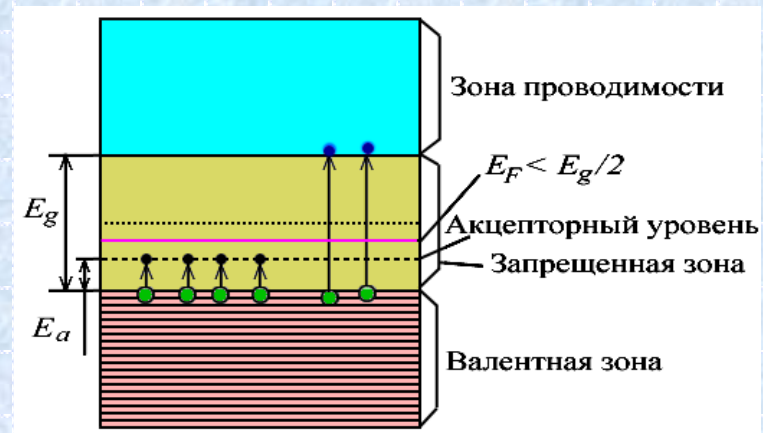
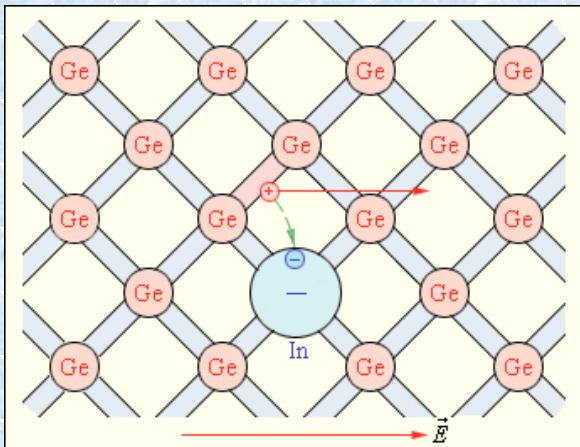


Примесные полупроводники

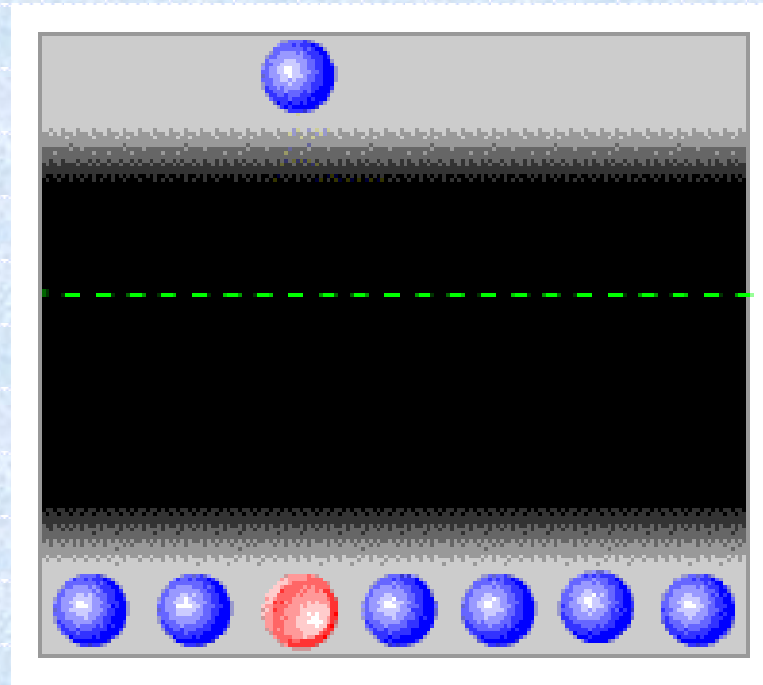
Донорная примесь (n – тип)



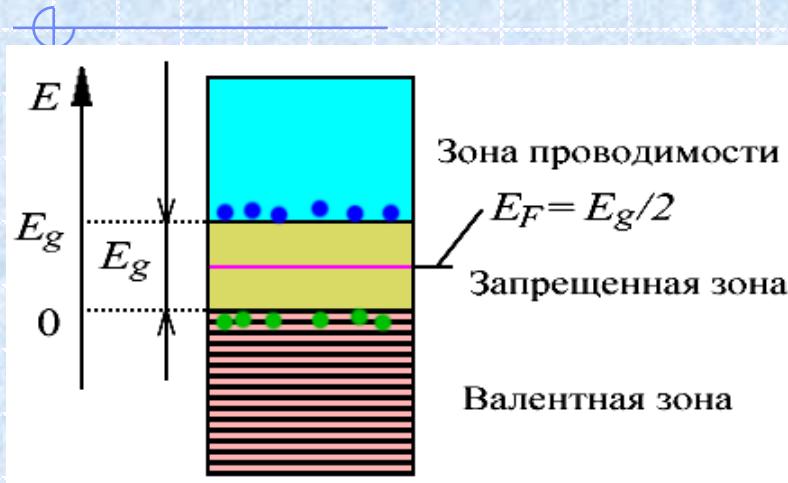
Акцепторная примесь (p – тип)



Рекомбинация

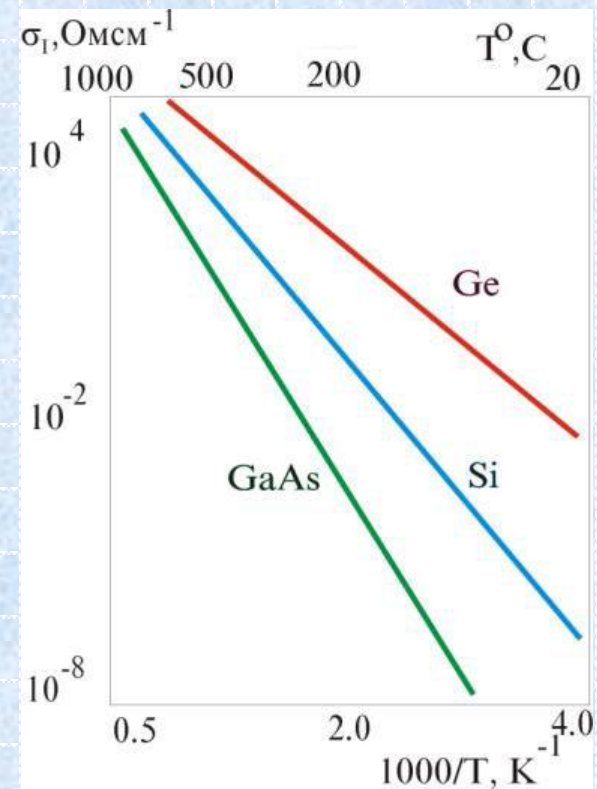


Температурная зависимость сопротивления полупроводников

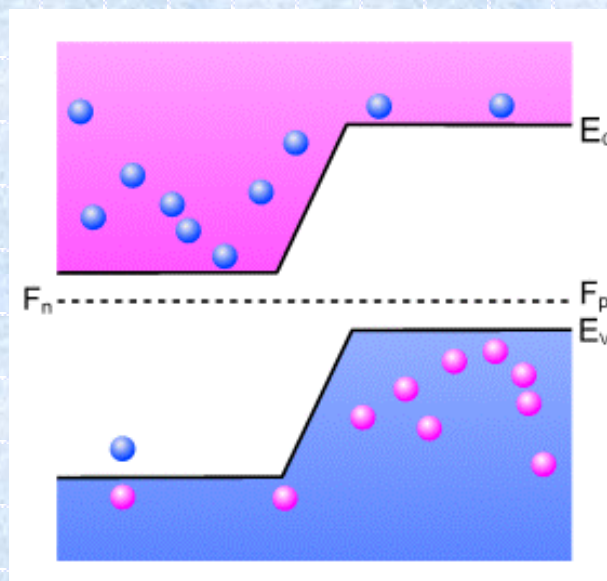
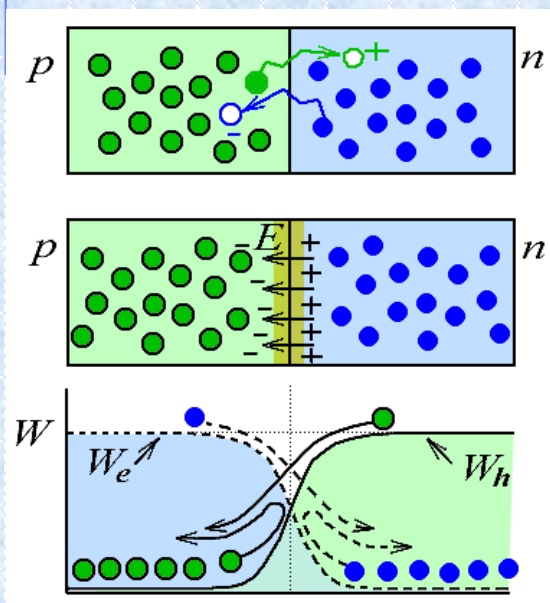
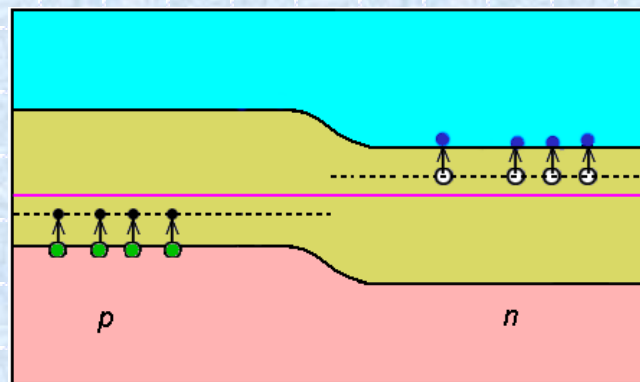
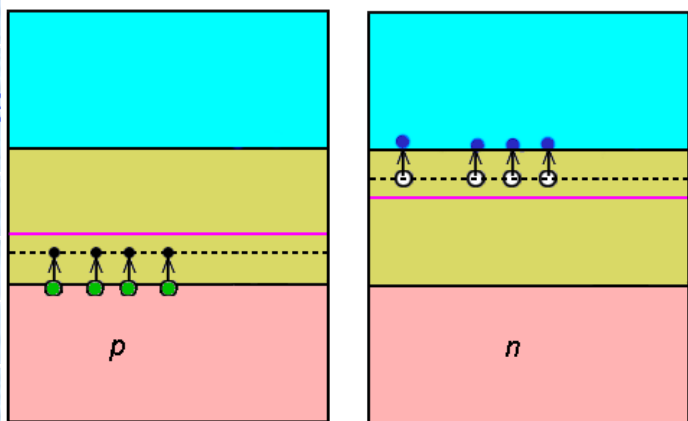


$$n_e = n_p = A e^{-\frac{E_g}{2kT}}$$

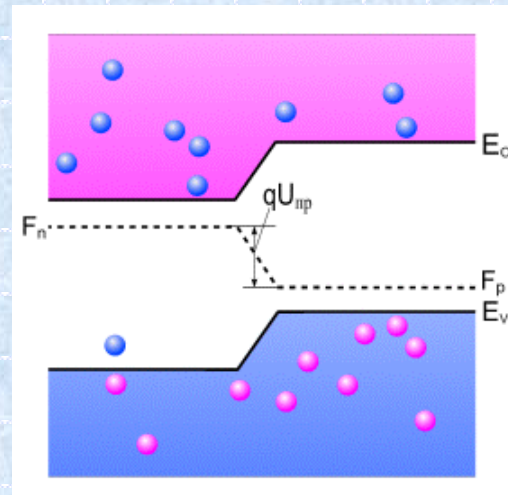
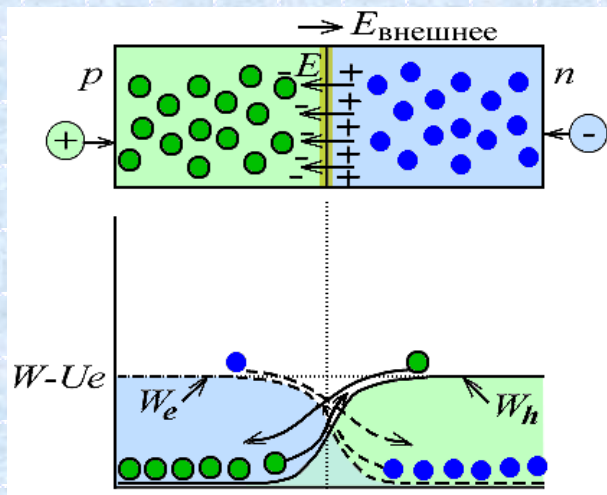
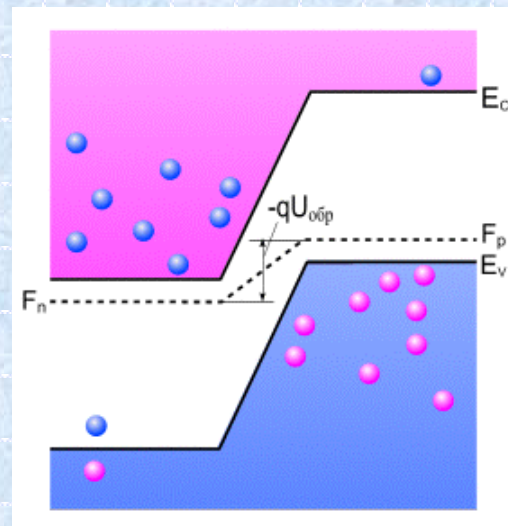
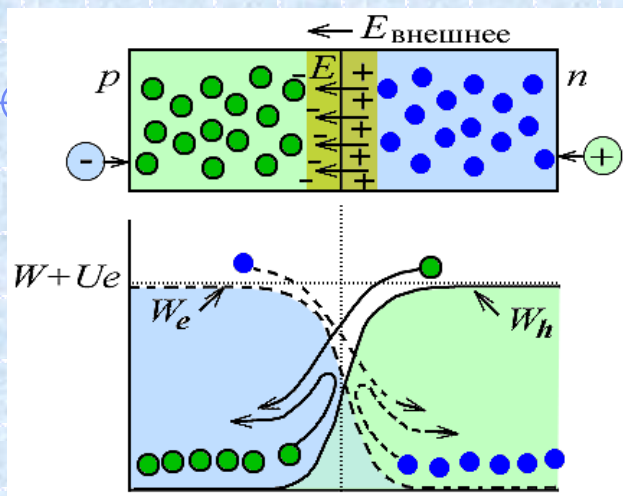
$$\sigma \sim n \Rightarrow \ln \sigma \sim \frac{1}{T}$$



p - n переход



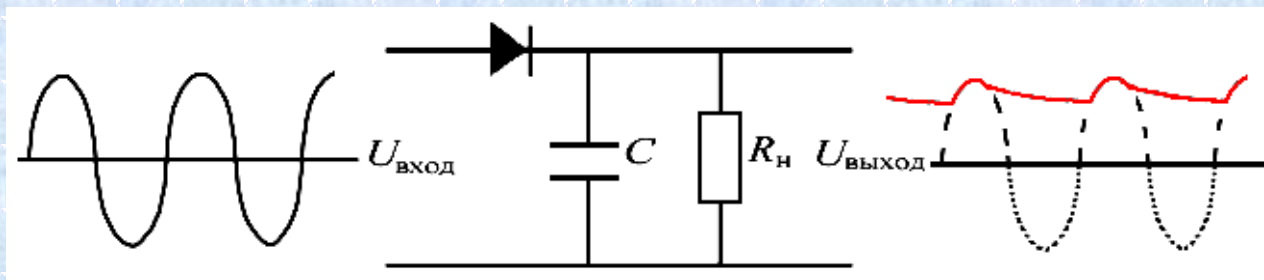
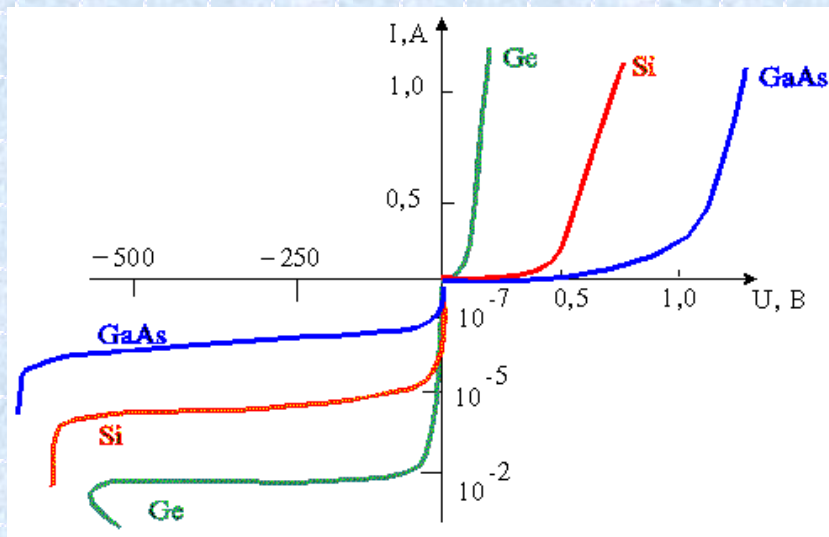
p - n переход



Выпрямление тока

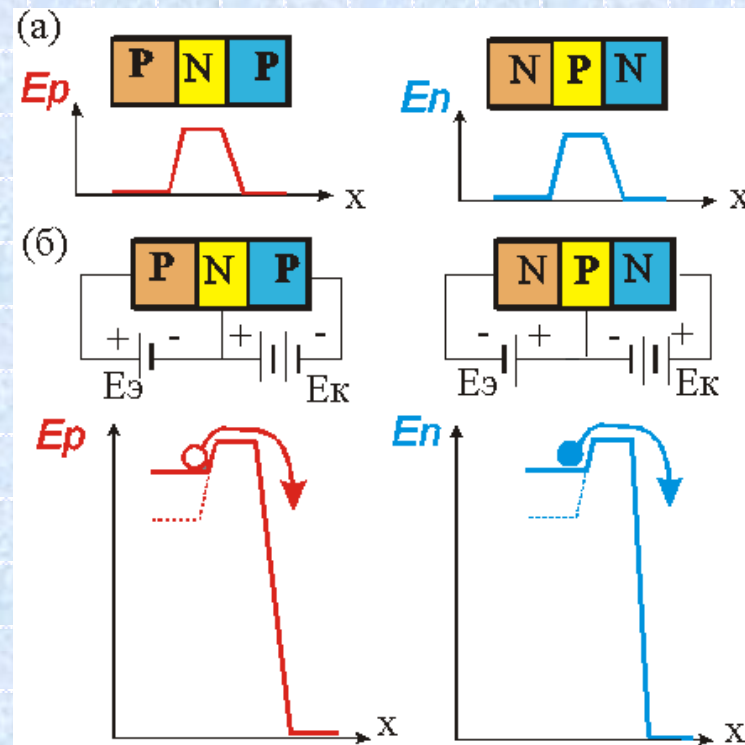
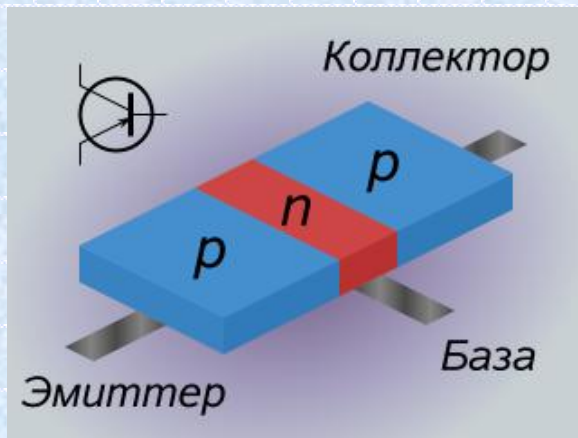
К. Браун, 1874 г. Явление односторонней проводимости.

Вольт-амперная характеристика диода



Биполярный транзистор

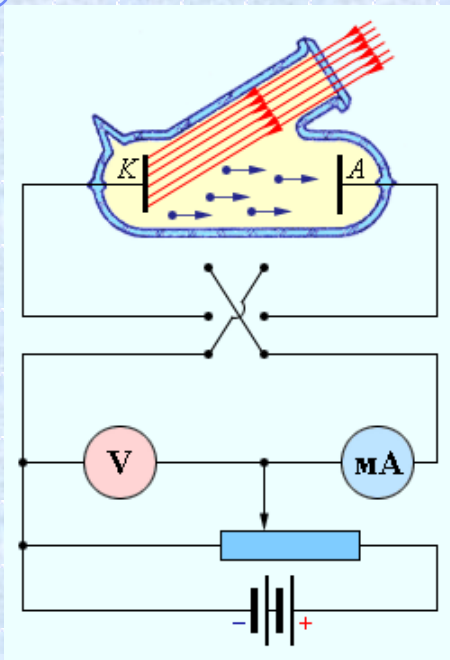
1947 г.



$$I_{\text{Э}} \approx I_{\text{К}} \quad R_{\text{ЭБ}} \ll R_{\text{БК}} \quad U_{\text{ВХ}} \ll U_{\text{ВЫХ}}$$

У. Шокли, У. Браттейн, Дж. Бардин Нобелевская премия 1956 г.

Фотоэффект



1905 г. Эйнштейн: свет состоит из потока дискретных частиц (квантов) – фотонов.

Уравнение Эйнштейна $\hbar\omega = A + mv^2/2$

Энергия кванта расходуется на работу выхода электрона из металла и на сообщение электрону кинетической энергии.

Красная граница фотоэффекта

соответствует энергии фотона, равной работе выхода

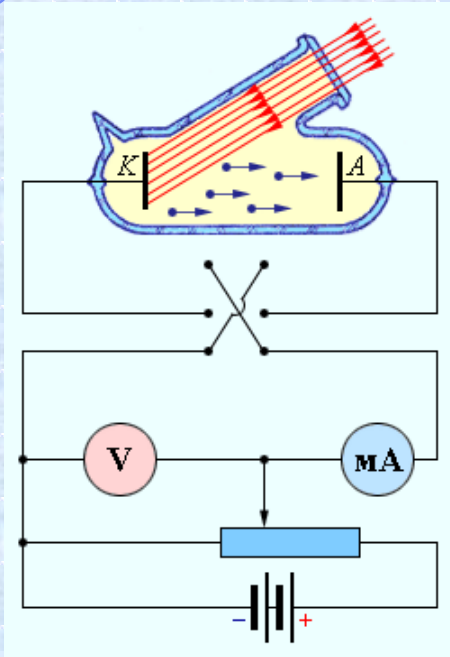
$$\hbar\omega_0 = A$$

$$\lambda_0 = 2\pi c\hbar/A$$

Нобелевская премия 1921 г.

Фотоэлементы

Внешний фотоэффект (Г. Герц, 1887)



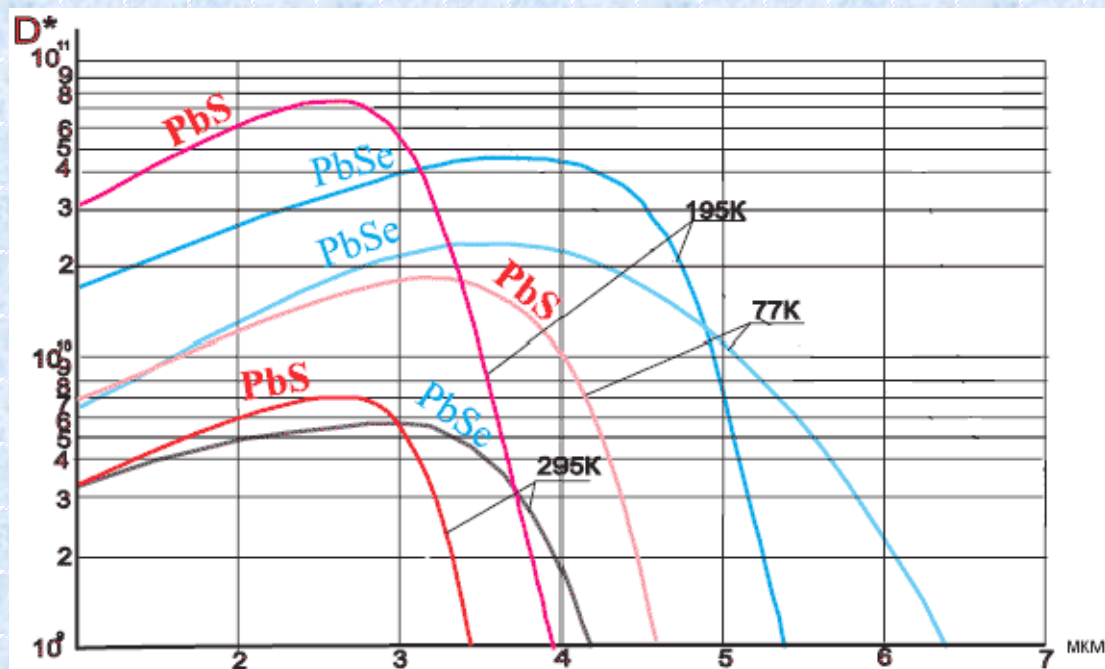
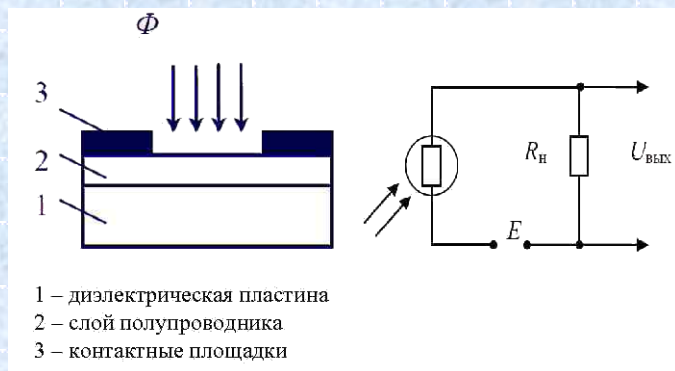
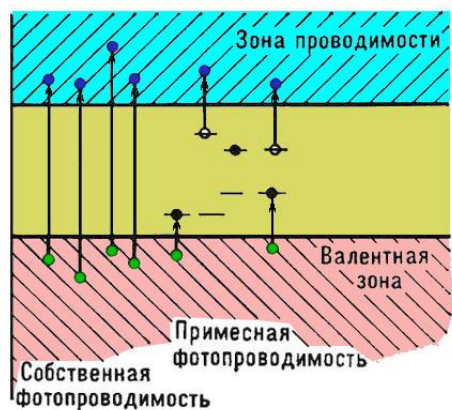
Вольфрам: $A=4,3$ эВ [116]; $5,35$ эВ [110]

Металл	$A_{\text{вых}} / A_{\text{вольфрам}}$	
Вольфрам	1,00	272 нм
Молибден	0,92	
Тантал	0,91	
Торий	0,75	
Барий	0,52	484 нм
Цезий	0,40	662 нм

$$\Delta E = 1 \text{ эВ} \Rightarrow \lambda_{\text{max}} = 1,23 \text{ мкм}$$

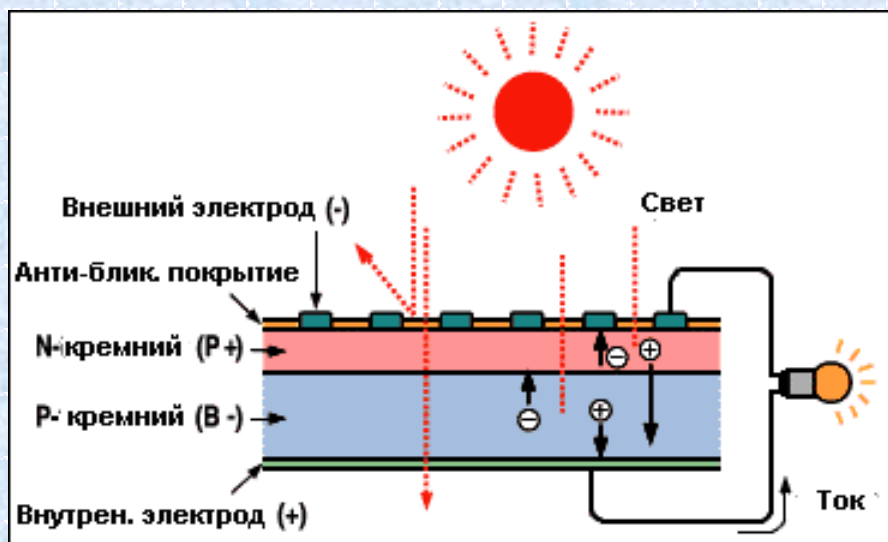
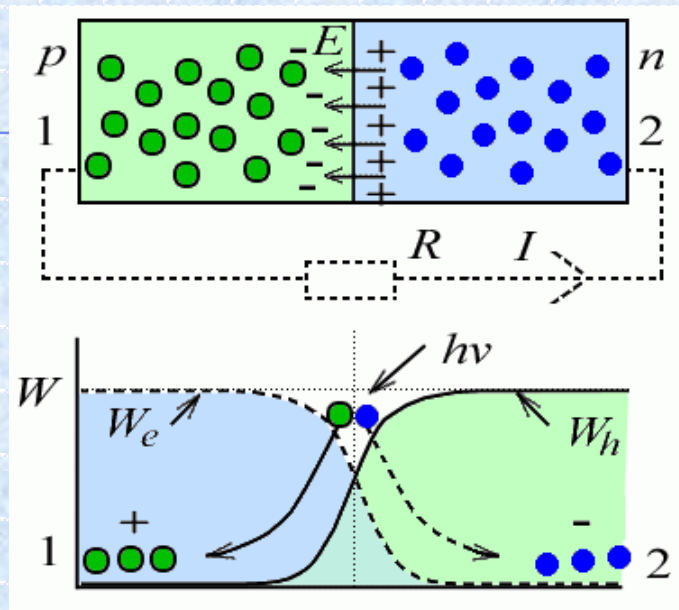
Фотоэлементы

Внутренний фотоэффект

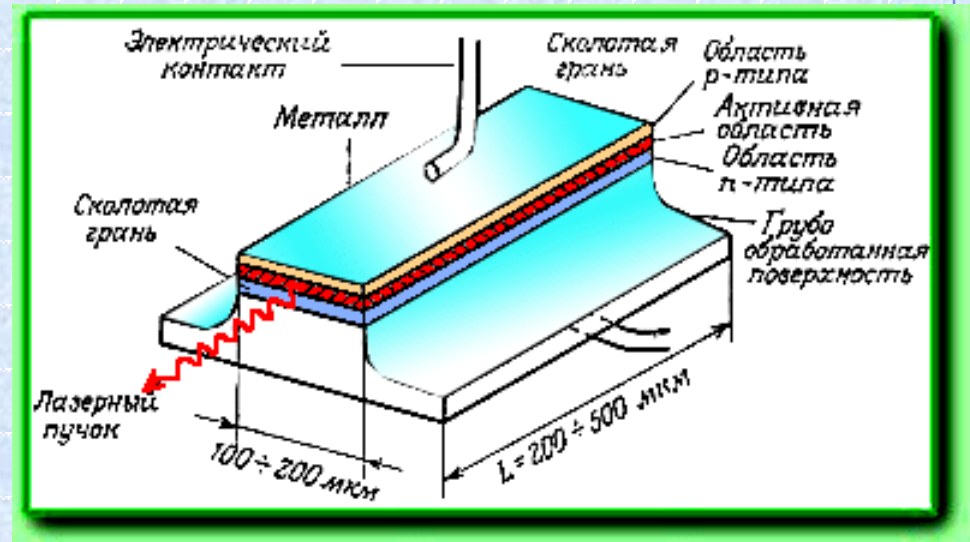
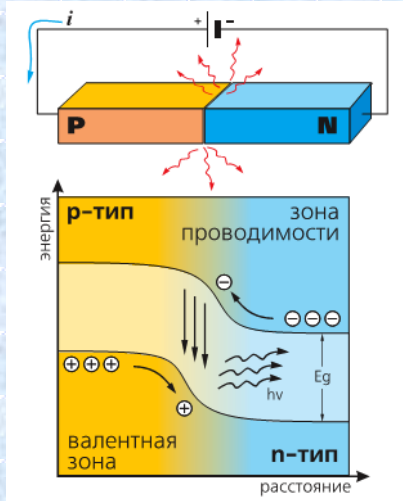


$$\Delta E = 1 \text{ эВ} \Rightarrow \lambda_{\text{max}} = 1,23 \text{ мкм}$$

Солнечные батареи



Светодиоды и лазеры



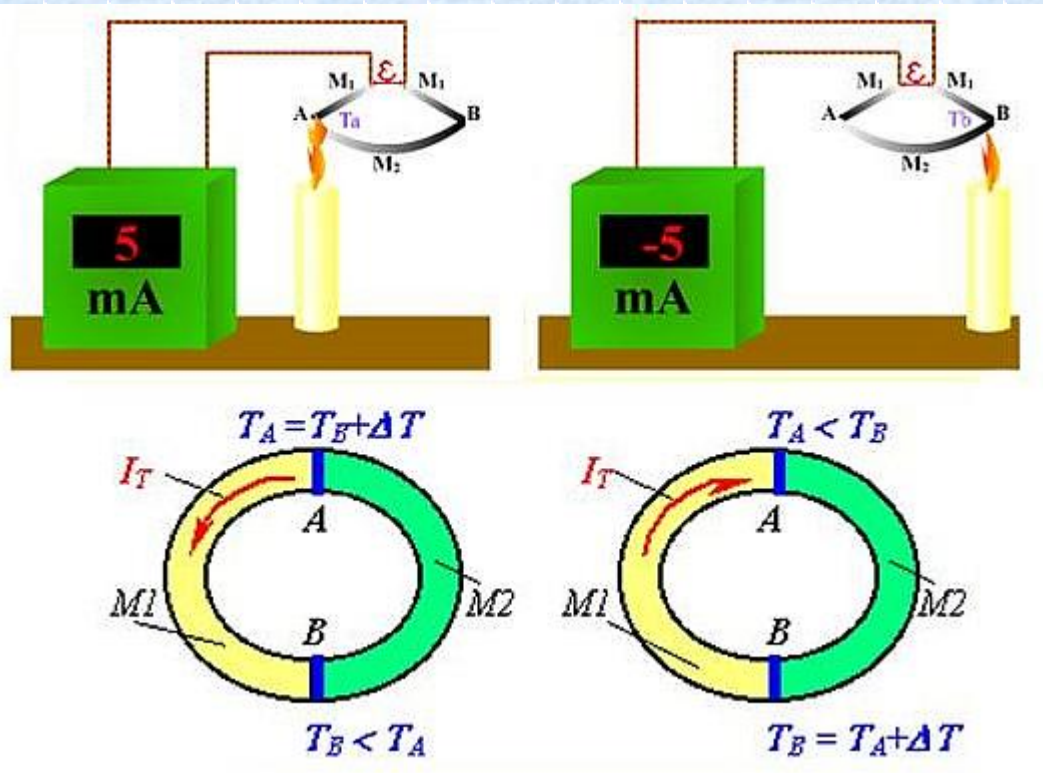
В обычных лазерах переходы происходят между дискретными уровнями, в полупроводниковых – обусловлены зонной структурой

Полупроводниковые лазеры имеют очень малые размеры ($\sim 0,1 \text{ мм}$), активная область очень узкая ($\sim 1 \text{ мкм}$) \Rightarrow повышенная угловая расходимость

Пространственные и спектральные характеристики сильно зависят от свойств материала (структуры запрещенной зоны, показателя преломления)

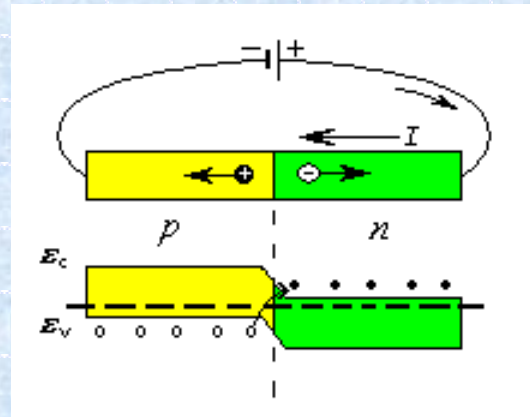
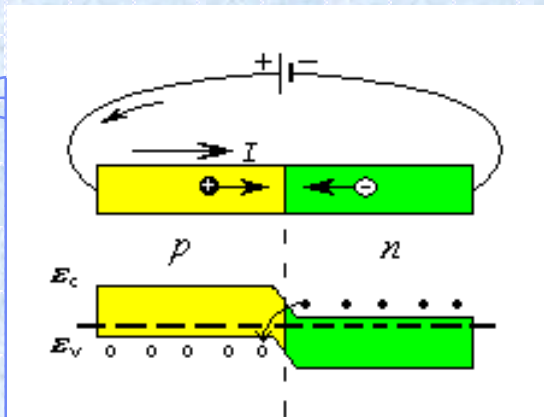
Лазерное излучение возникает непосредственно под действием тока, протекающего через p-n переход \Rightarrow высокий кпд, легкость модуляции излучения

ТермоЭДС (эффект Зеебека, 1821 г.)



Материал	α , мкВ/°
Bi	-68
Ni	-21
Fe	+15
Tl ₂ S	-780
Se	+1000

Эффект Пельтье



$$Q_{AB} = \Pi_{AB} I t$$

