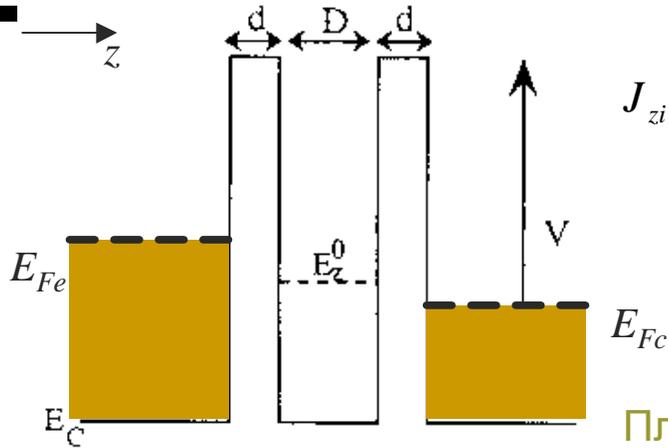
A decorative graphic consisting of a thin gold circle on the left side. A thick black bracket is positioned on the left, and a thick gold bracket is on the right, both enclosing a horizontal bar. The bar has a gradient from dark olive green on the left to light yellow on the right. The text 'Резонансно-туннельный диод.' is centered within this bar.

# Резонансно-туннельный диод.

1. Когерентная модель.
2. ВАХ резонансно-туннельного диода.
3. Эффекты накопления заряда.
4. Плазмоны в РТД

# Когерентная модель



$$J_{zi} = \frac{1}{2} \left( \mathbf{y}^* \frac{\hat{p}_z}{m(z)} \mathbf{y} + \mathbf{y} \frac{\hat{p}_z^*}{m(z)} \mathbf{y}^* \right) = v_z$$

$$J_{zt}(E_z) = T(E_z) J_{zi} = T(E_z) v_z$$

Плотность туннельного тока имеет следующий вид:

$$J_T = e \iiint J_{zi} [f_e(1-f_c) + f_c(1-f_e)] \frac{2dp_x dp_y dp_z}{(2\pi\hbar)^3}$$

$$v_z = \frac{dE_z}{dp_z}$$

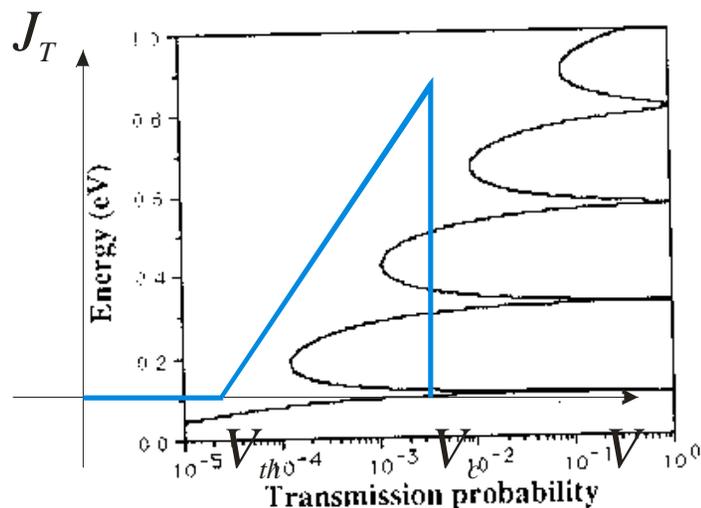
$$J_T = \frac{e}{h} \iiint T(E_z) [f_e(1-f_c) + f_c(1-f_e)] \frac{2dp_x dp_y dE_z}{(2\pi\hbar)^2}$$

$$f_{e,c} = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E - E_{Fe,c}}{k_B T}\right)}$$

$$J_T = \int_0^{\infty} T(E_z) S(E_z) dE_z$$

$$S(E_z) = \frac{m_* e k_B T}{2p^2 \hbar^3} \ln \left[ \frac{1 + \exp\left\{\frac{1}{k_B T} (E_{Fe} - E_z)\right\}}{1 + \exp\left\{\frac{1}{k_B T} (E_{Fc} - E_z)\right\}} \right] - \text{функция подачи электронов}$$

# ВАХ вблизи резонанса узкой квантовой ямы при низкой температуре



$$T(E_z) = T_0 d(E_z - E_0) \text{ при } E - E_0 \ll E_1 - E_0$$

что выполняется лучше в случае узкой квантовой ямы

$$k_B T \ll E_{Fe,c} \Rightarrow f_{e,c} = 1 - q(E_{Fe,c})$$

$$J_T = \frac{2e}{h} T_0 \int_0^{E_{Fe} - E_0} \frac{dp_x dp_y}{(2\pi\hbar)^2} = \frac{2e}{h} T_0 g_{2D}(E_{Fe} - E_0)$$

при  $E_{Fc} < E_0 < E_{Fe}$

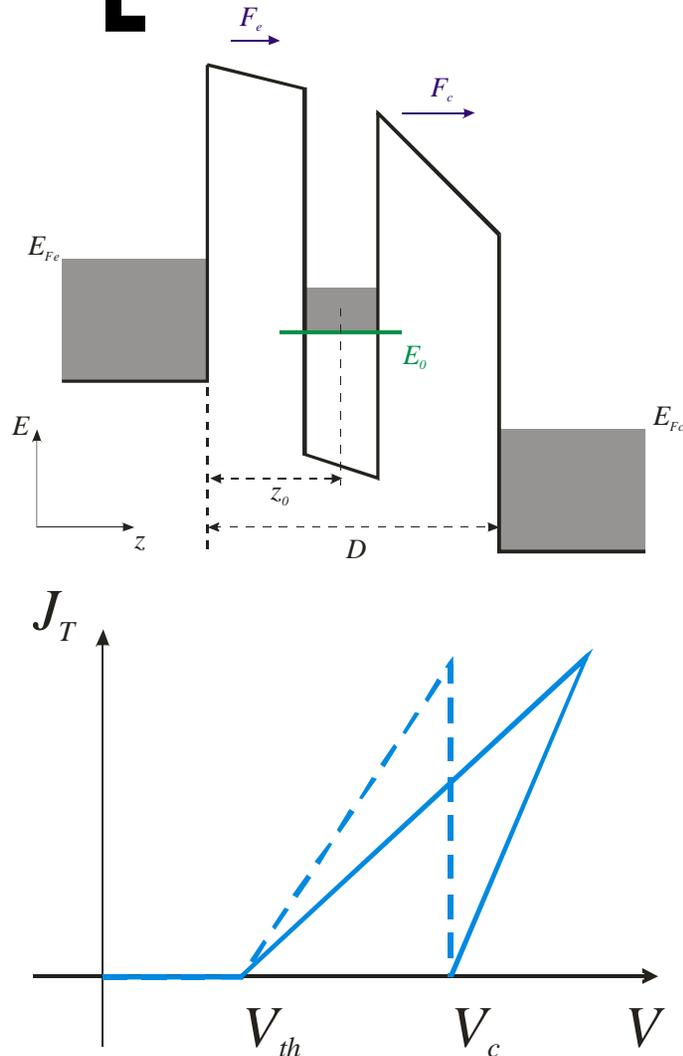
В случае  $d \gg D$  можно пренебречь поляризацией квантовой ямы и считать что:

$$E_0(V) = E_0(0) - eF \langle z \rangle = E_0(0) - eV \frac{d + D/2}{2d + D} = E_0(0) - eaV \Rightarrow J_T = \frac{2e^2}{h} aT_0 g_{2D}(V - V_{th})$$

$eaV_{th} = E_{Fe} - E_0(0)$  Линейный рост тока будет до тех пор пока  $E_0 > E_c$

при  $E_0 < E_c \quad f_{e,c} = 0 \Rightarrow J_T = 0$

# Накопление заряда в квантовой яме



$$F_2 - F_1 = \frac{en}{\epsilon\epsilon_0} \quad eV = eF_1 z_0 + F_2(D - z_0)$$

$$F_1 = \frac{1}{D} \left( V - \frac{en}{\epsilon\epsilon_0} [D - z_0] \right) \quad E_0(V) = E_0(0) - eF_1 z_0$$

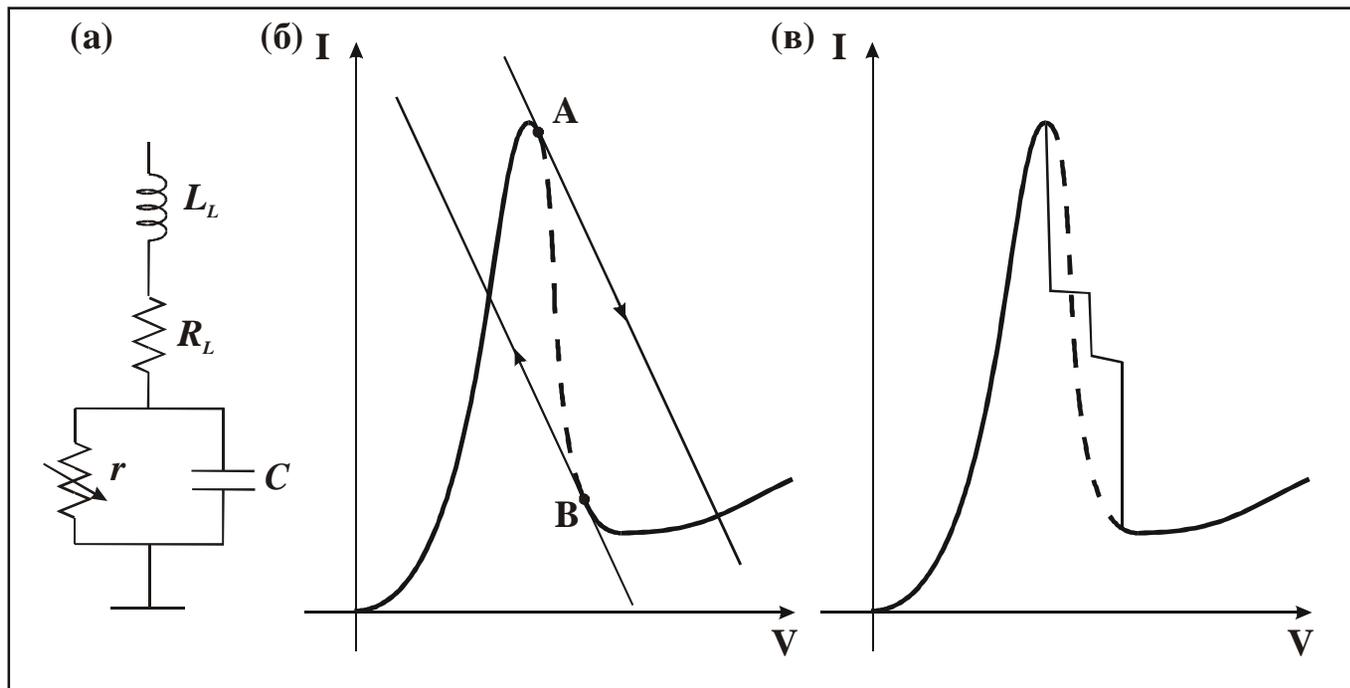
$$J_T(V) = \frac{en(V)}{t_c} \Rightarrow F_1 = D^{-1} \left( V - \frac{J_T t_c}{\epsilon\epsilon_0} (D - z_0) \right)$$

$$E_0(V) = E_0(0) - eaV + bJ_T \quad b = \frac{ez_0 t_c}{\epsilon\epsilon_0 D} (D - z_0)$$

$$J_T = \frac{2e^2}{h} aT_0 g_{2D} \frac{V - V_{th}}{1 + g}$$

$$g = \frac{2e}{h} aT_0 g_{2D} b$$

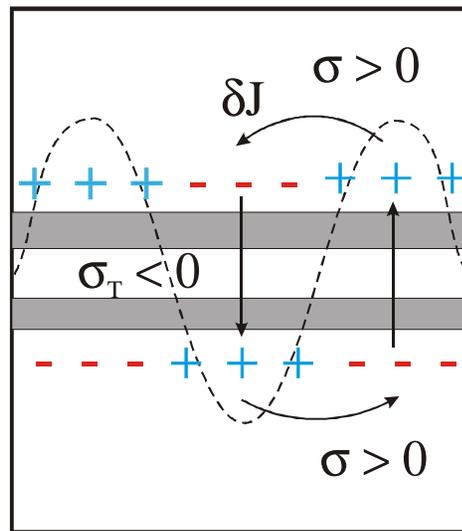
# Методы измерения ВАХ



$$\begin{cases} V = U - IR_L \\ I = I(V) \end{cases} \quad r < \min(-R_L; -L_L/R_L C)$$

# Плазмоны

(a)



(б)

