

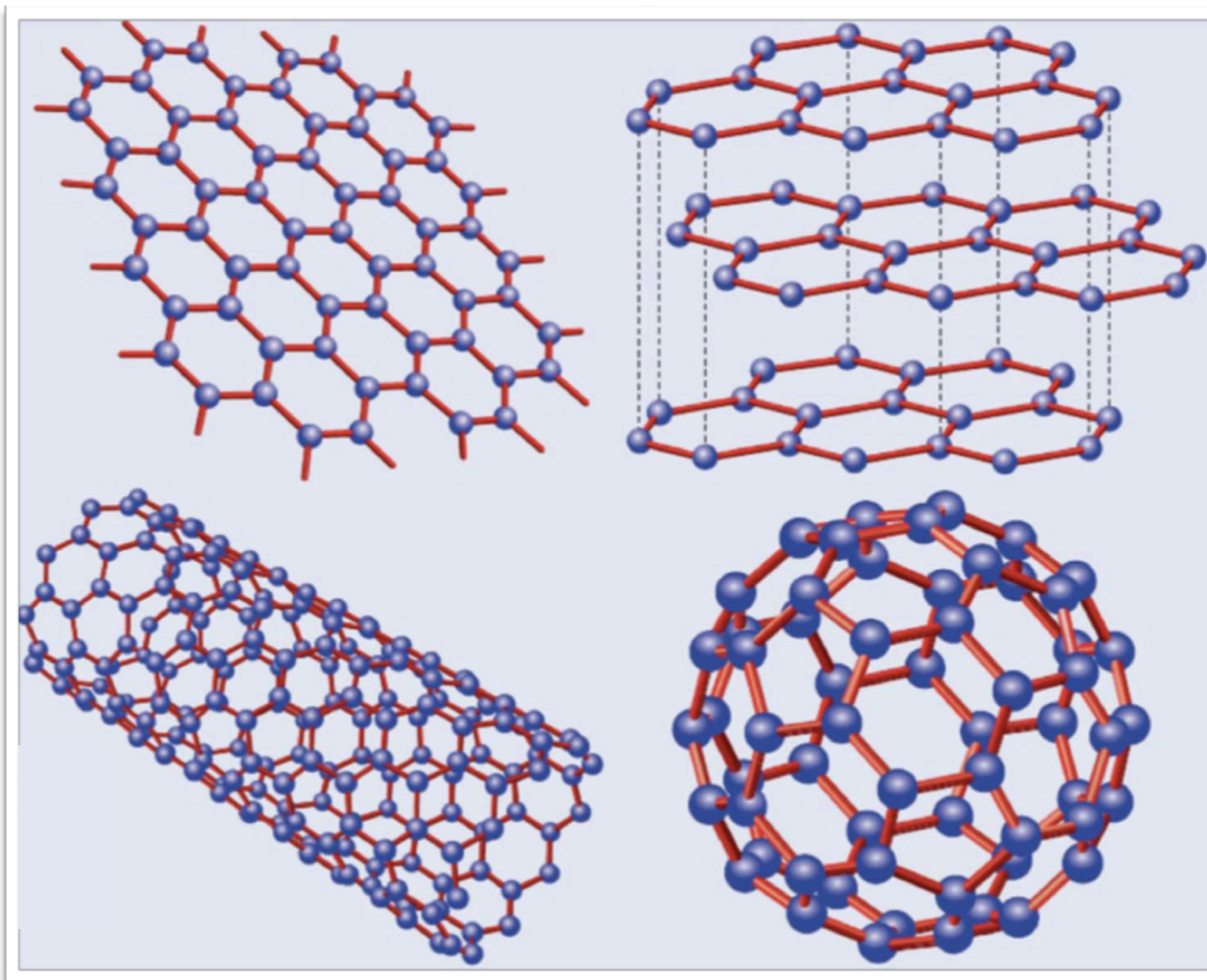
# Полупроводниковый фотоэлектрический материал

# Агенда

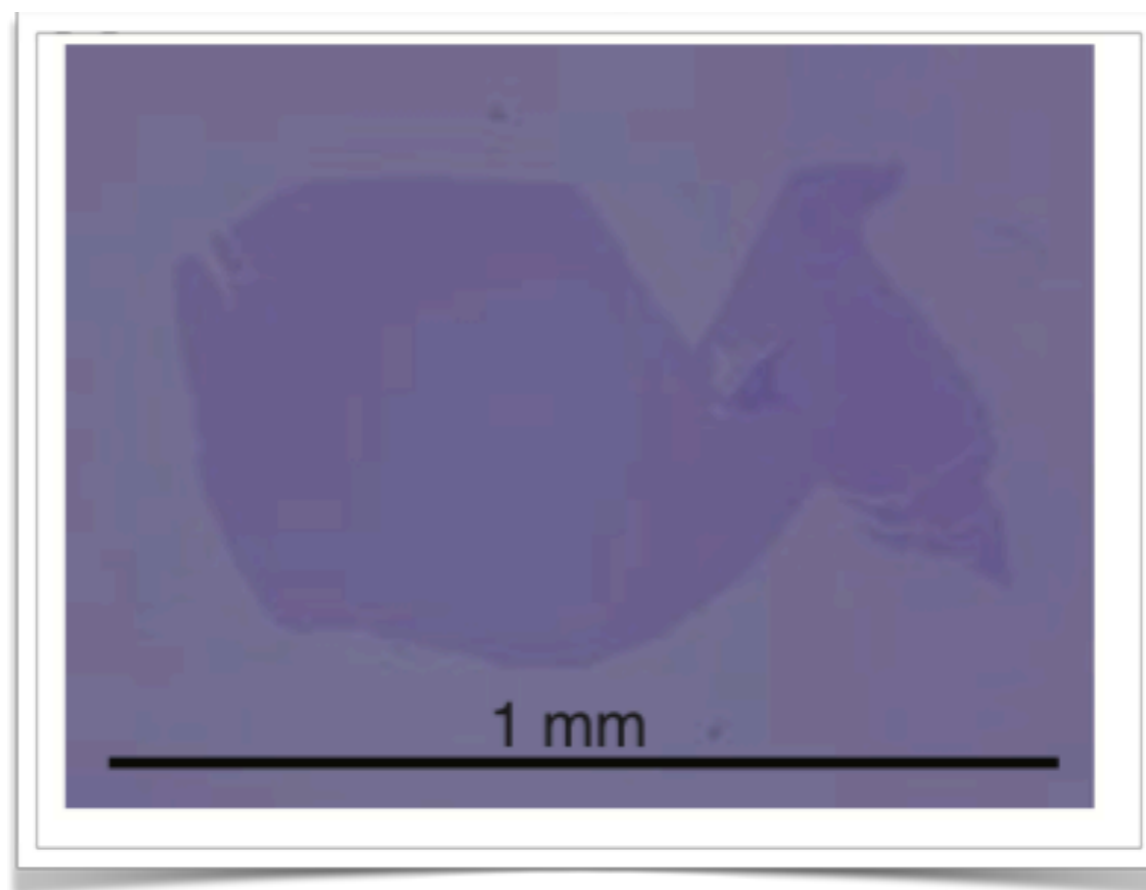
1. Графен
2. Низкоразмерные структуры

# Графен





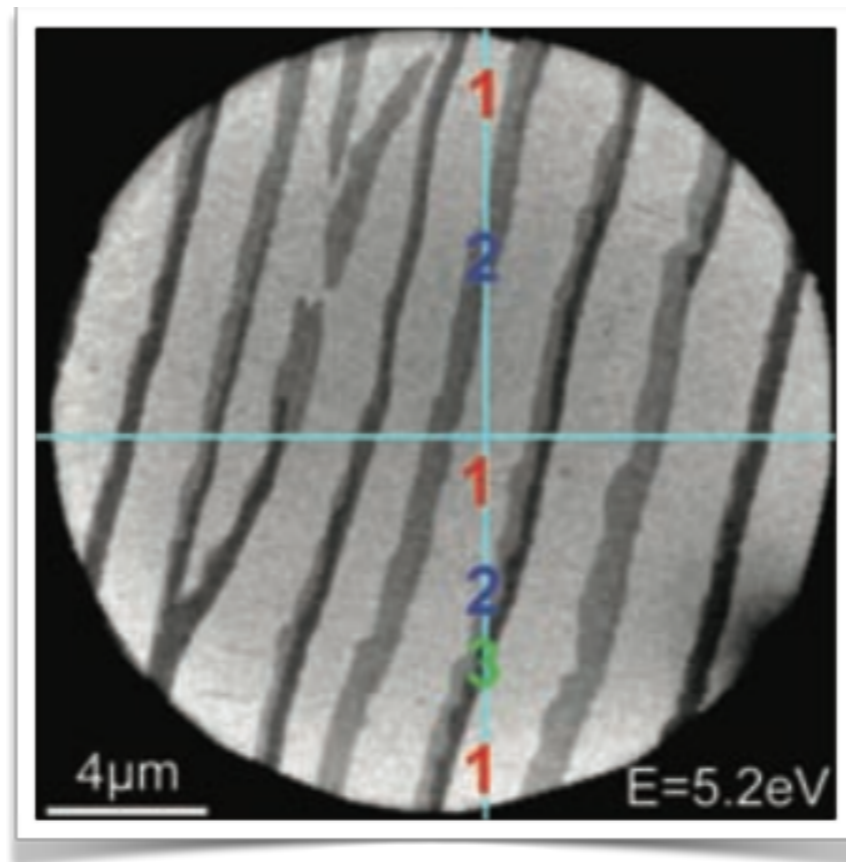
Углерод



Микромеханическое расщепление



Расщепление ультразвуком



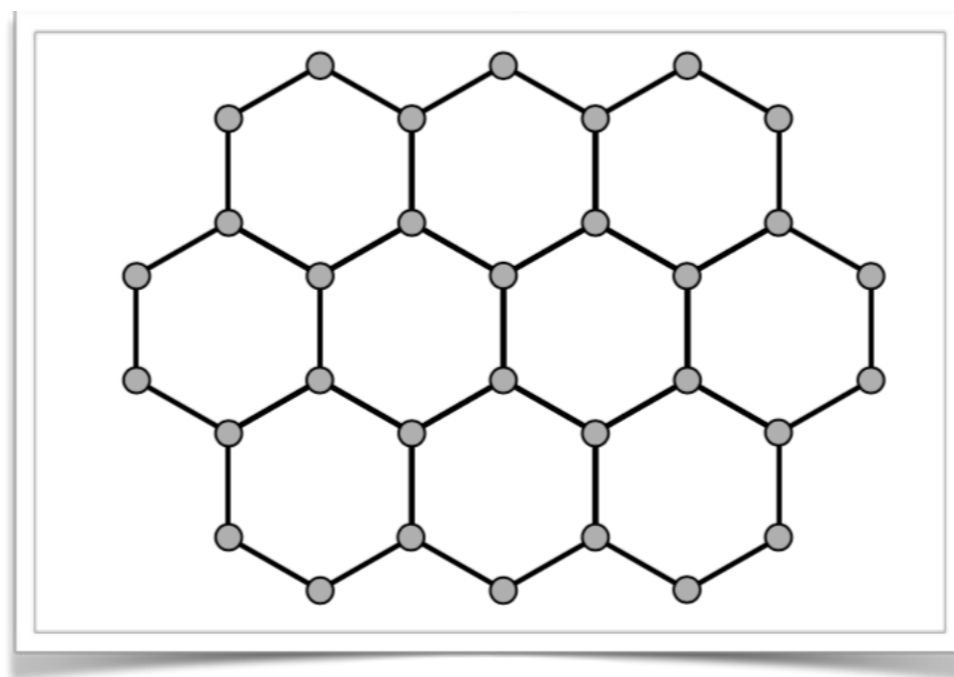
Эпитаксия

$\sim 1.1 \text{TPa}$   
Модуль Юнга

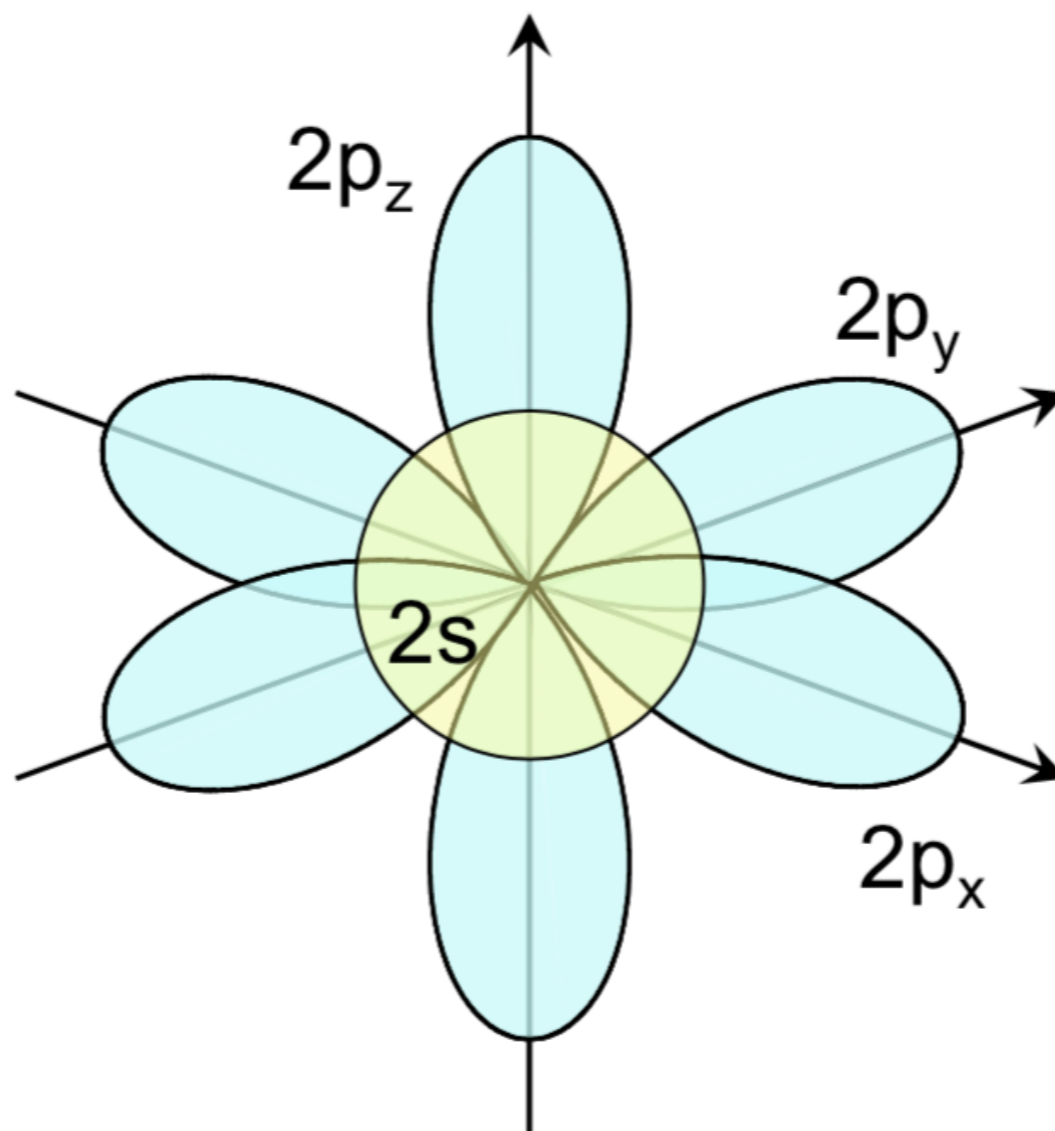
$$\sim 1.5 \times 10^4 \text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{S}^{-1}$$

Подвижность носителей заряда при 300K

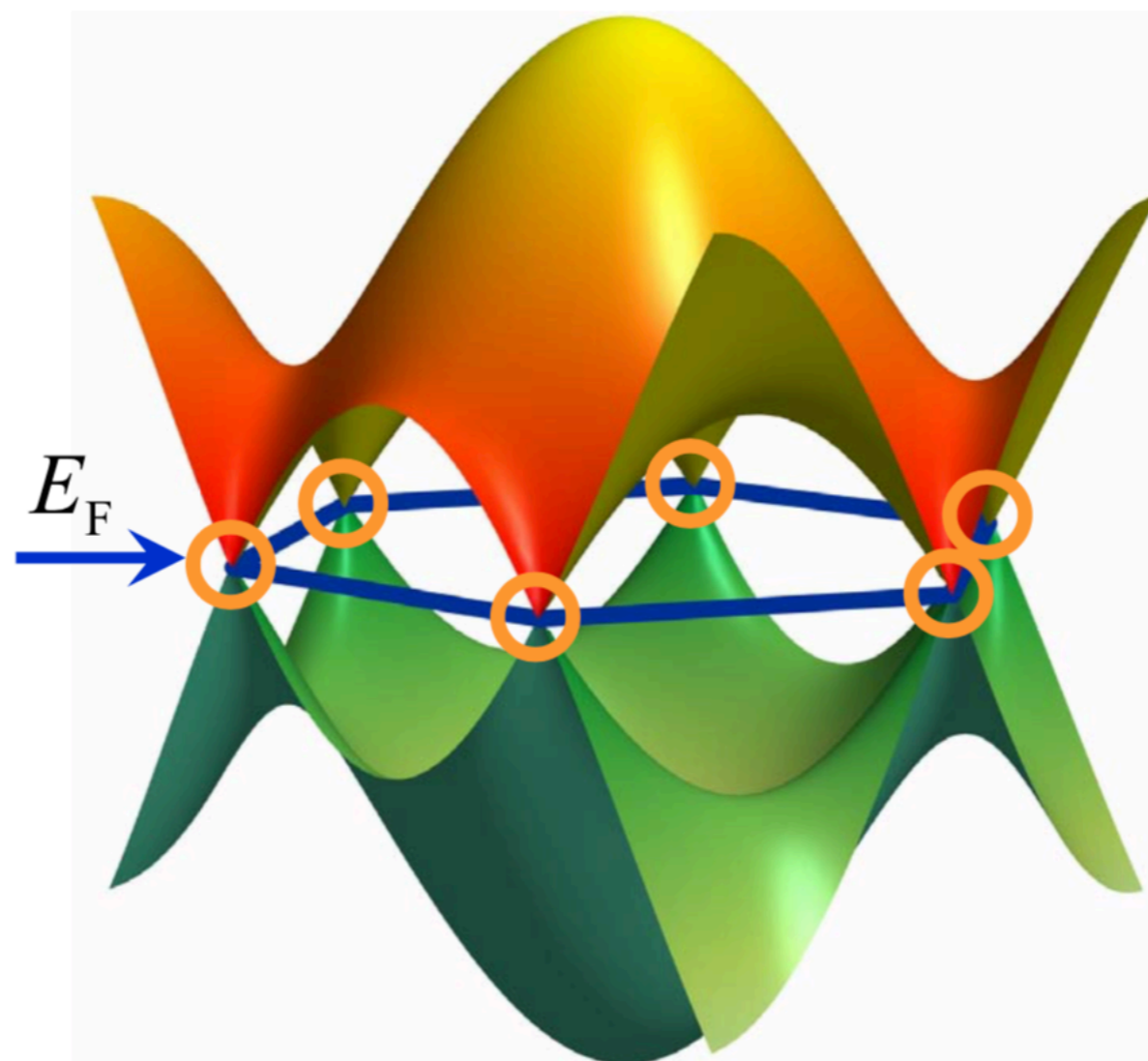
$\sim 5 \text{KWm}^{-1} \text{K}^{-1}$   
Теплопроводность



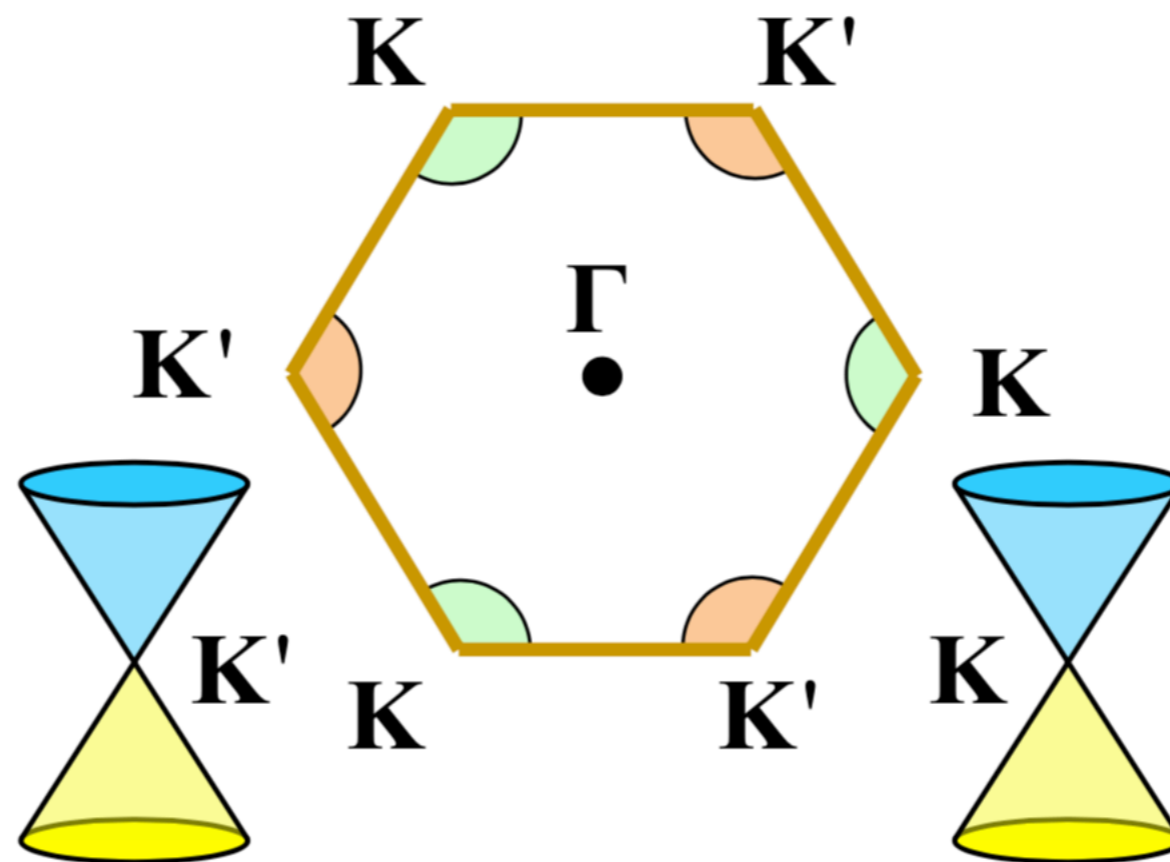
Кристаллическая решётка



Электронные подуровни



Зонная структура



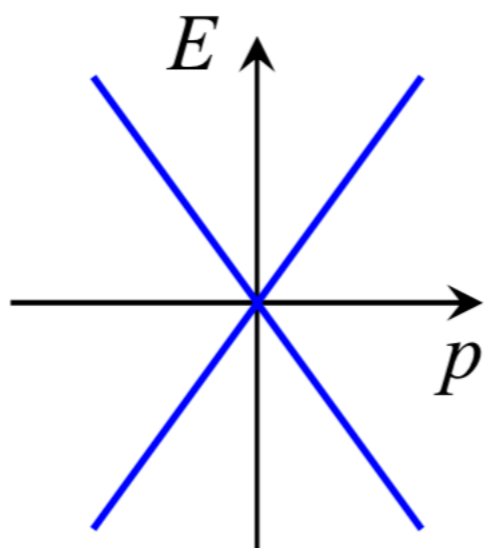
Зонная структура

### Электронны в графене

$$p_{\mu} \gamma^{\mu} \Psi = 0$$

Закон дисперсии:

$$E = \pm v_F p$$

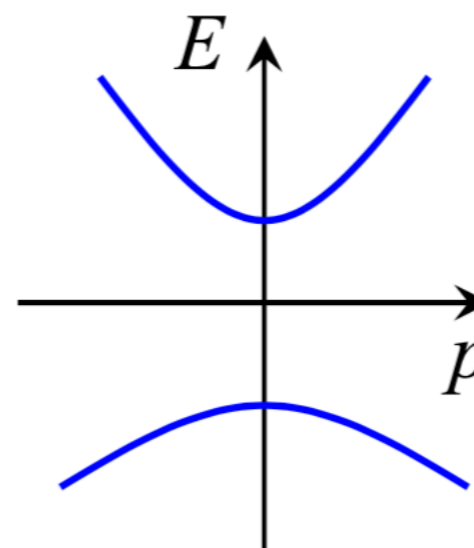


### Металлы и полупроводники

$$(-\nabla^2 / 2m - E) \Psi = 0$$

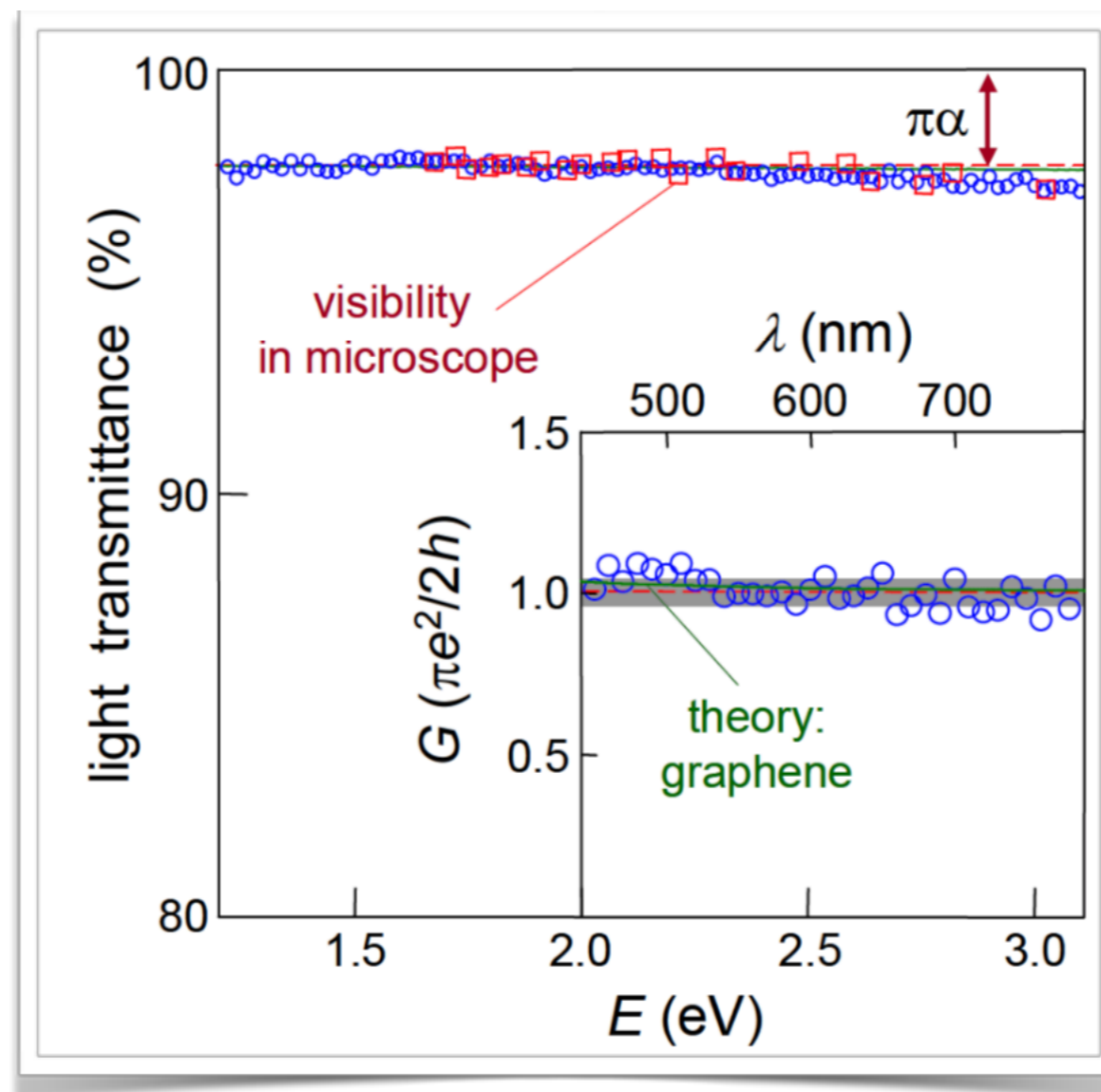
Закон дисперсии:

$$E = p^2 / 2m_{\text{eff}}$$

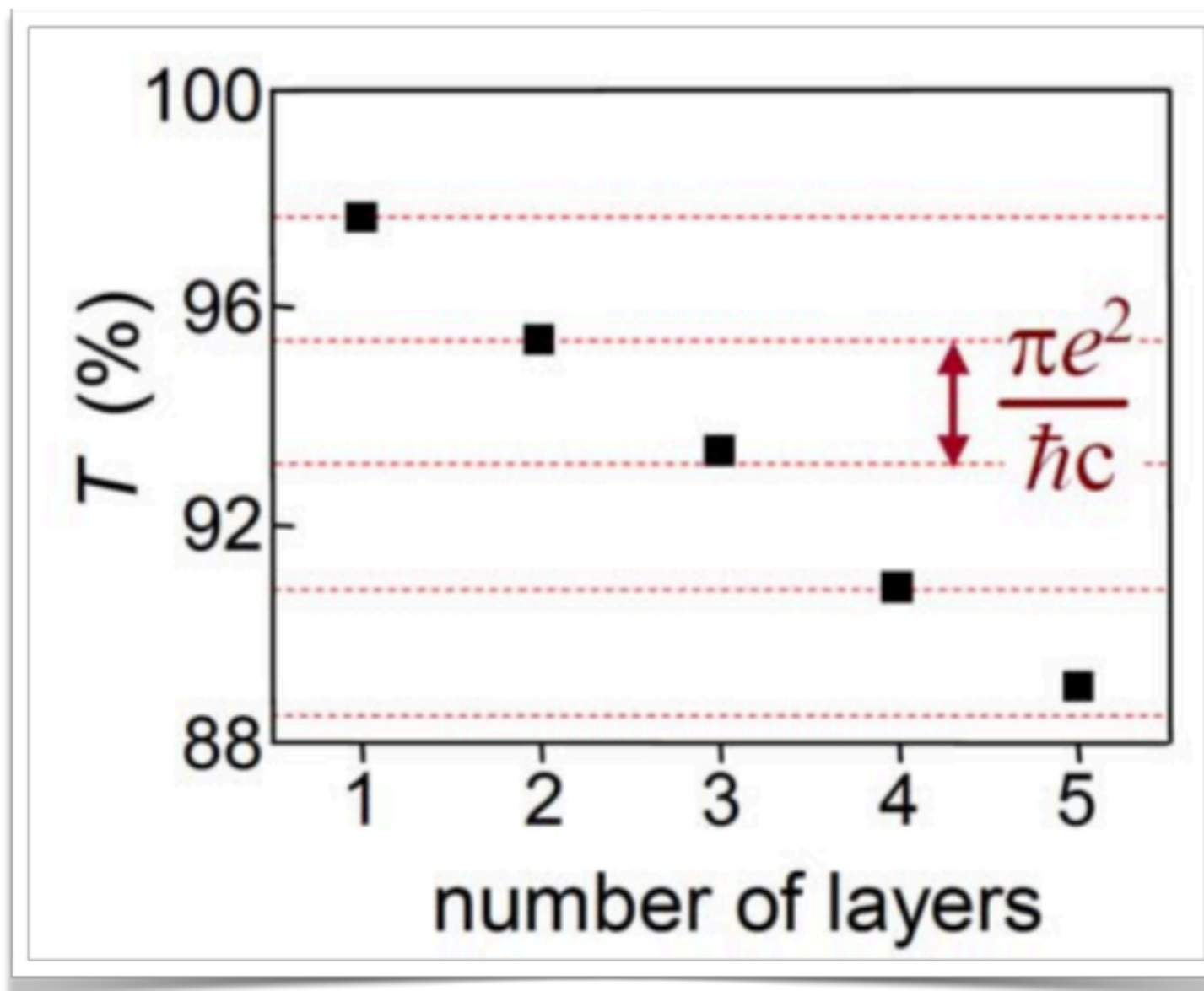


$$v_F \approx c/300 \approx 10^6 \text{ m/s}$$

Скорость Ферми



Прозрачность графена



Прозрачность многослойного графена

$$R_{\text{TM}}^{(g,p)}(\omega, \theta_i) = \frac{\varepsilon(\omega) \cos \theta_i - \sqrt{\varepsilon(\omega) - \sin^2 \theta_i} [1 - \Pi_{00}^*(\omega, \theta_i)]}{\varepsilon(\omega) \cos \theta_i + \sqrt{\varepsilon(\omega) - \sin^2 \theta_i} [1 + \Pi_{00}^*(\omega, \theta_i)]},$$

$$R_{\text{TE}}^{(g,p)}(\omega, \theta_i) = \frac{\cos \theta_i - \sqrt{\varepsilon(\omega) - \sin^2 \theta_i} - \Pi^*(\omega, \theta_i)}{\cos \theta_i + \sqrt{\varepsilon(\omega) - \sin^2 \theta_i} + \Pi^*(\omega, \theta_i)}.$$

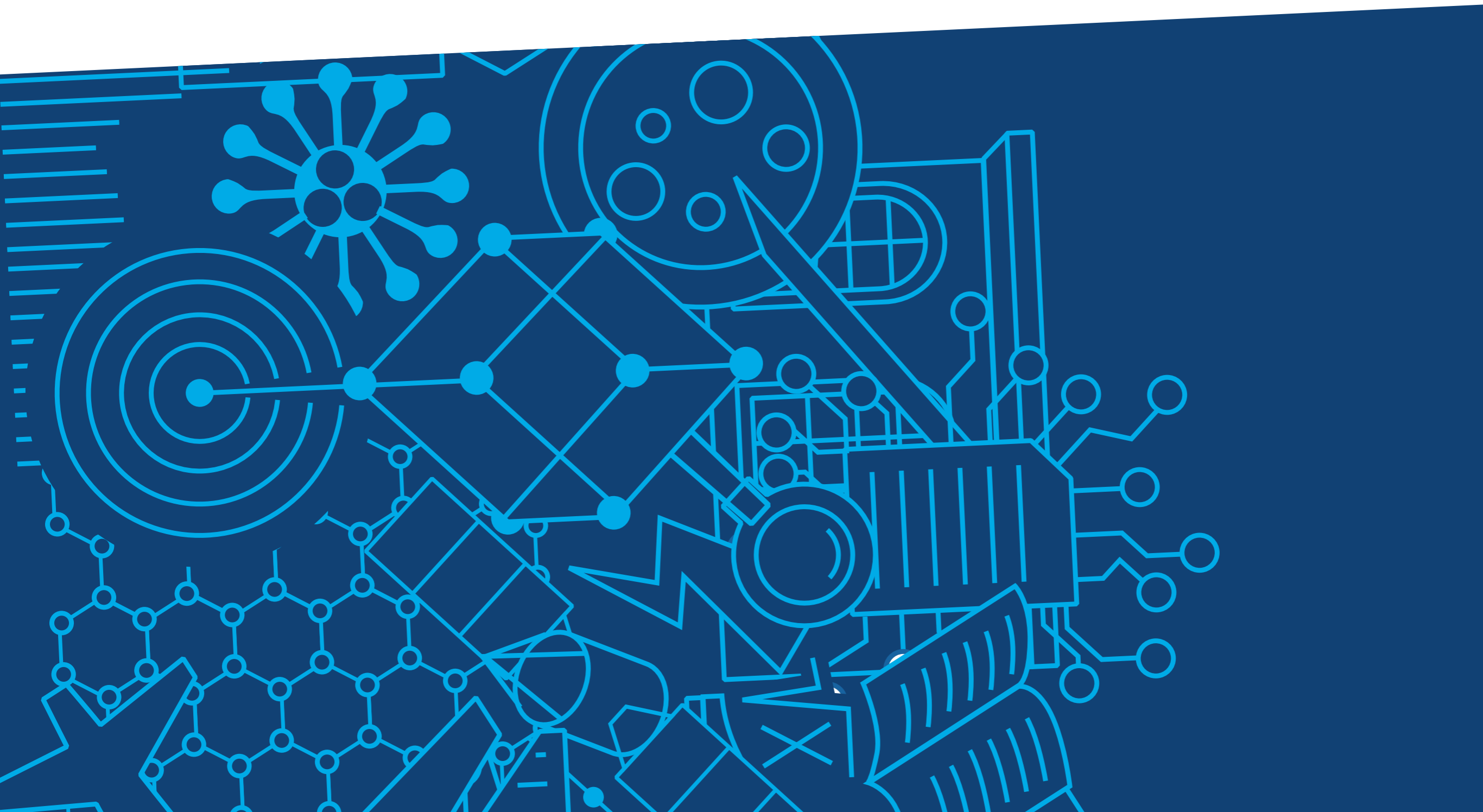
$$\Pi_{00}^*(\omega, \theta_i) = -\frac{ic \cos \theta_i}{\hbar \omega \sin^2 \theta_i} \Pi_{00}(\omega, \theta_i),$$

$$\Pi(\omega, 0) = \frac{\omega^2}{c^2} [\sin^2 \theta_i \Pi_{\text{tr}}(\omega, \theta_i) + (1 - \sin^2 \theta_i) \Pi_{00}(\omega, \theta_i)]$$

$$\Pi^*(\omega, \theta_i) = \frac{ic^3}{\hbar \omega^3 \sin^2 \theta_i} \Pi(\omega, \theta_i),$$

Аналитическая форма коэффициентов отражения  
графена на подложке

# Низкоразмерные структуры

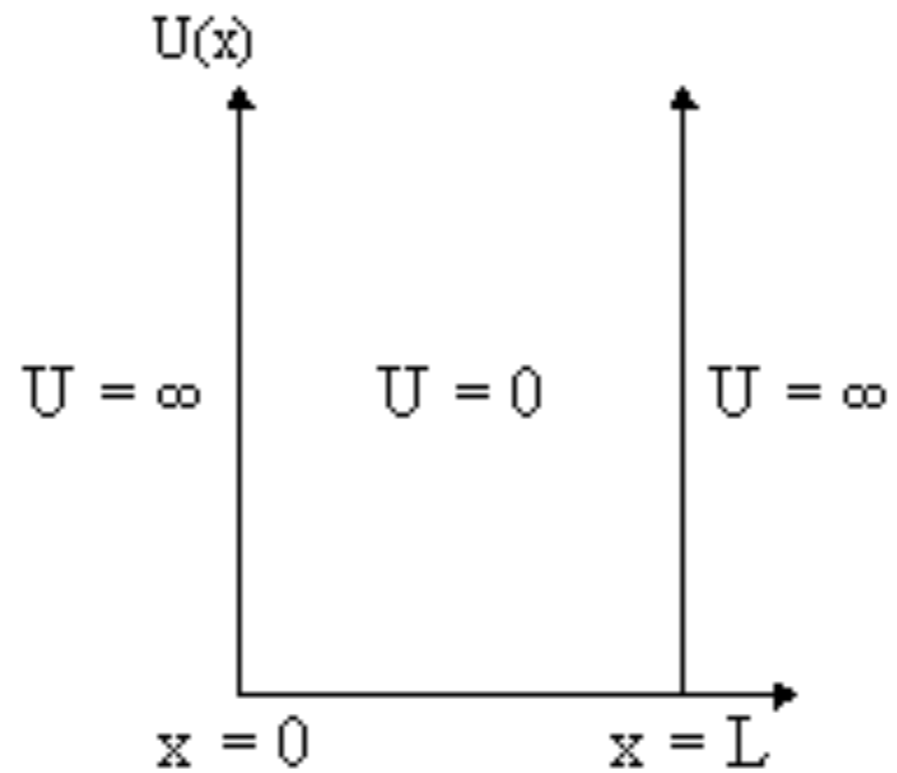


$$\hat{H}\psi = E\psi$$

Стационарное уравнение Шрёдингера

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\psi + (U - E)\psi = 0$$

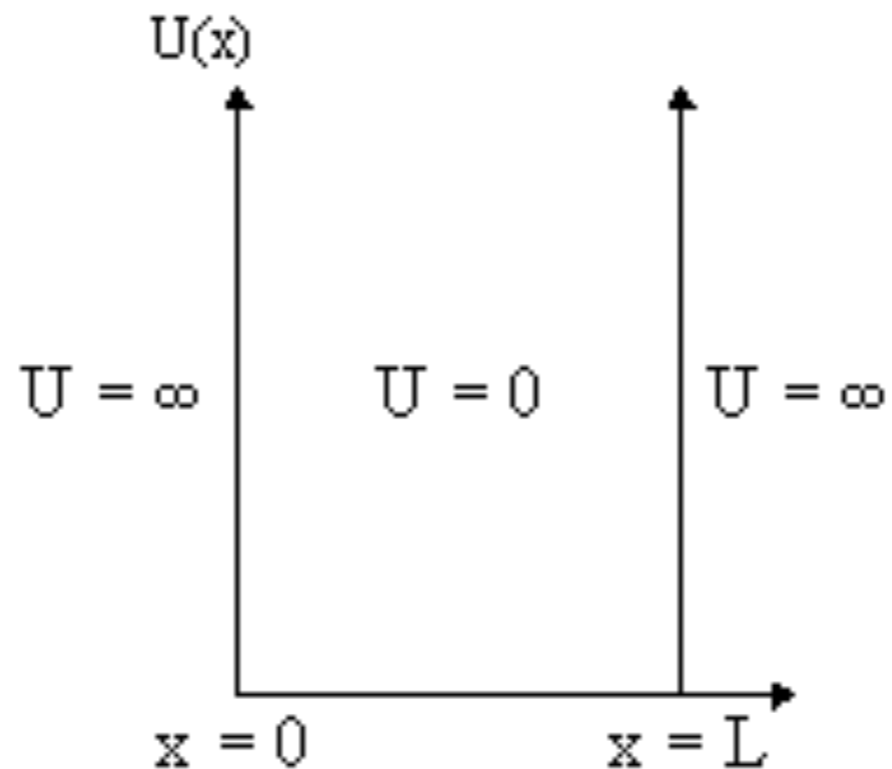
Стационарное уравнение Шрёдингера с  
гамильтонианом частицы в потенциальном поле



Потенциальный барьер в квантовой  
механике

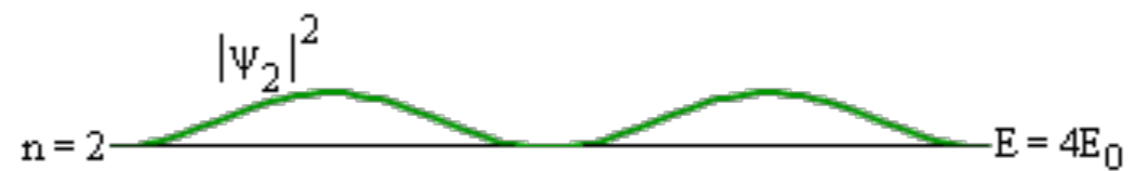
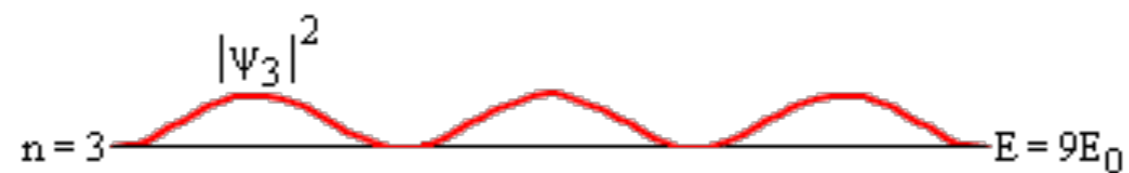
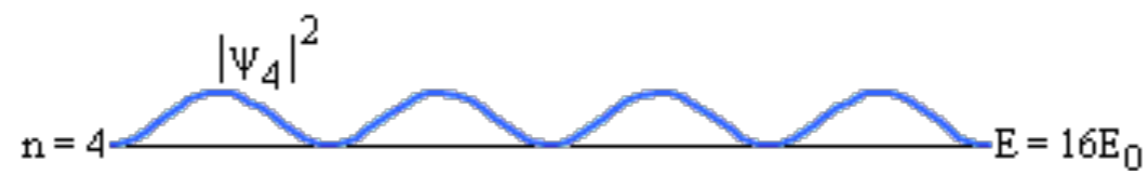
$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{2mE}{\hbar^2} \psi = 0$$

$$\psi = 0$$



$$\psi = 0$$

Потенциальный барьер в квантовой механике



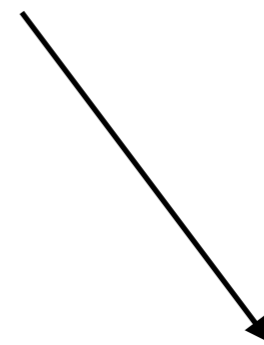
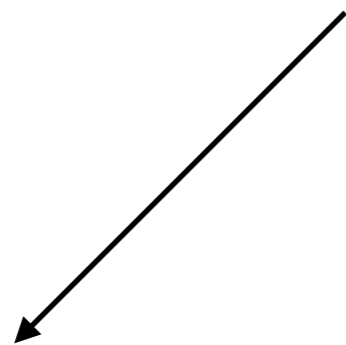
$$E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2mL^2} n^2, n \in \mathbb{N}$$

$$\lambda_d = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

Длина волны де Бройля

$$l \sim \lambda_d$$

Квантовое ограничение

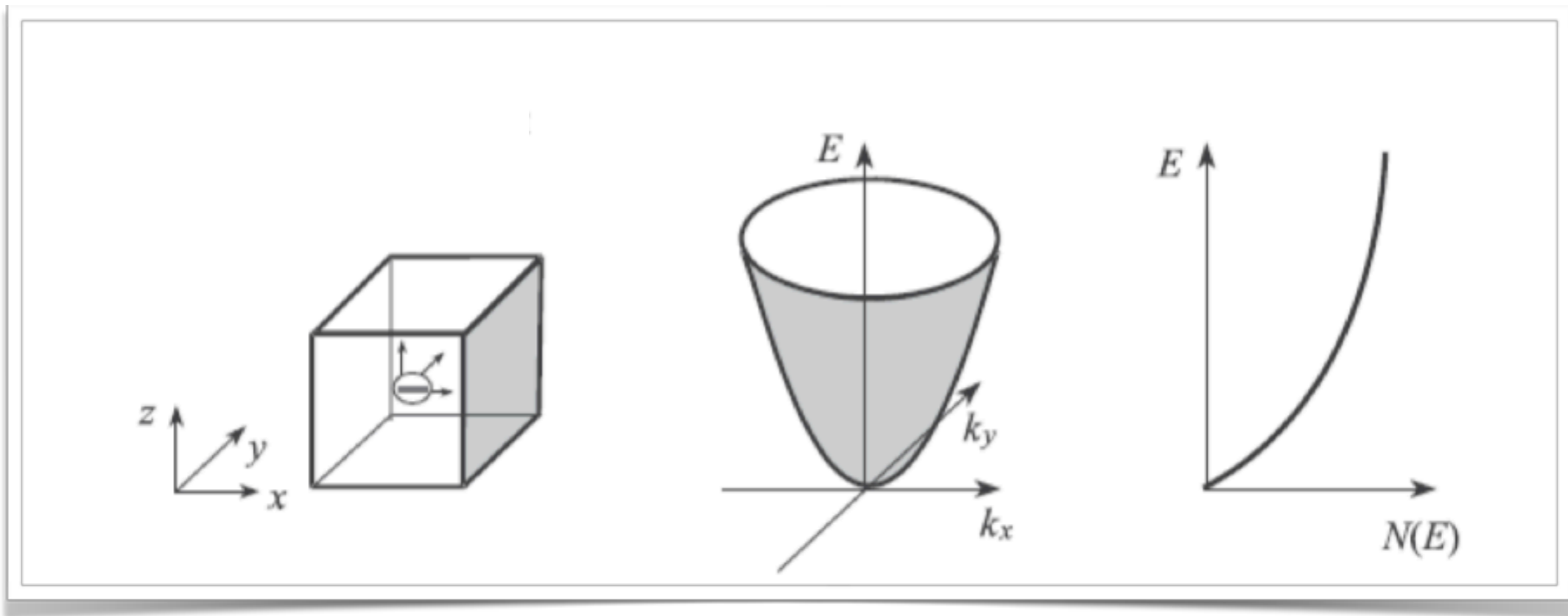


Квантовые ямы  
(2D)

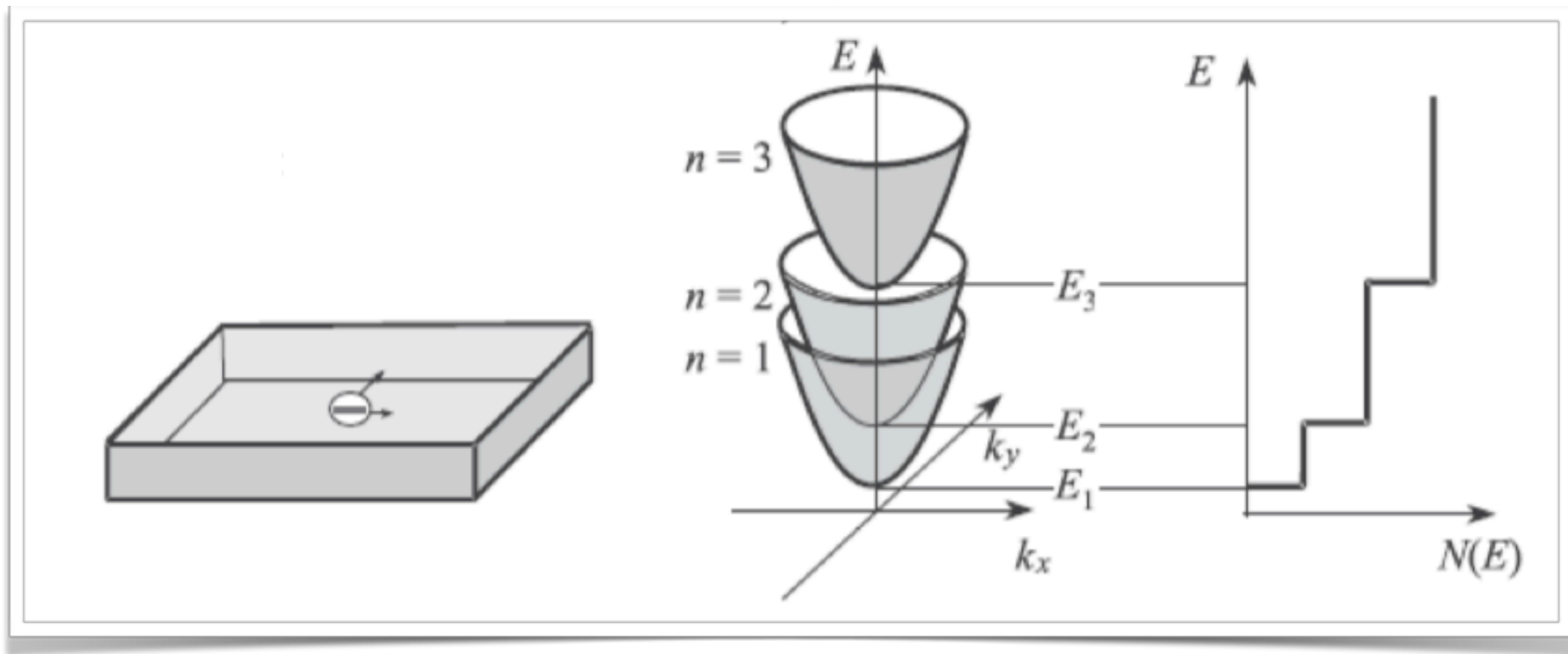
Квантовые нити  
(1D)

Квантовые точки  
(0D)

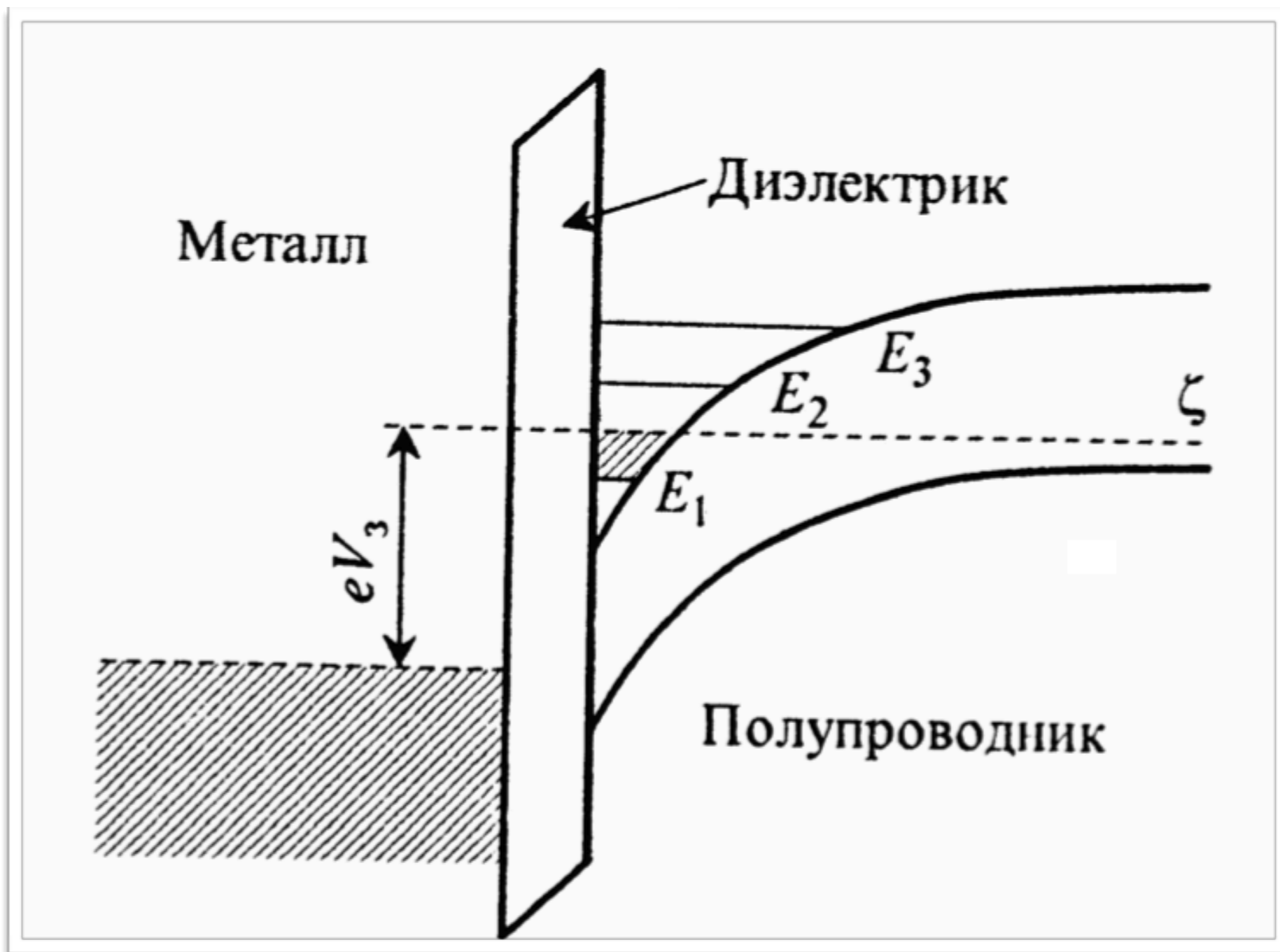


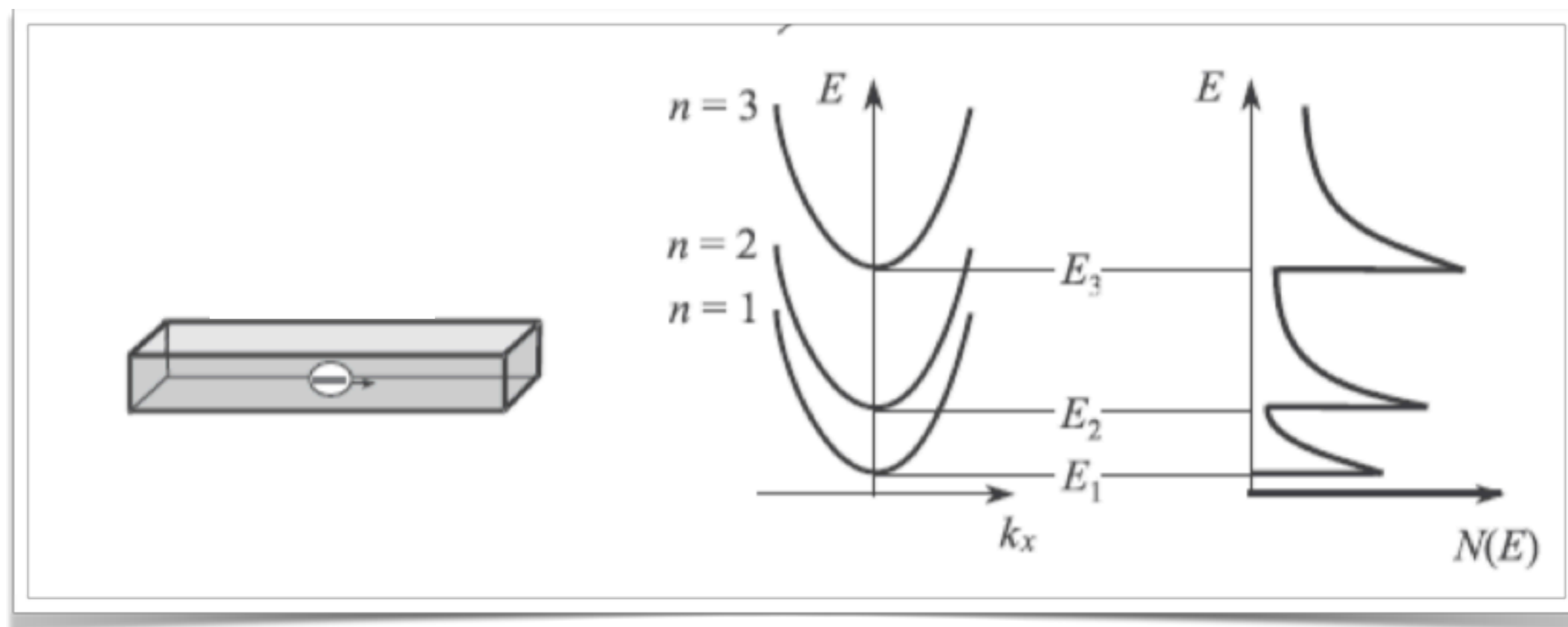


Объёмный материал  
(3D)

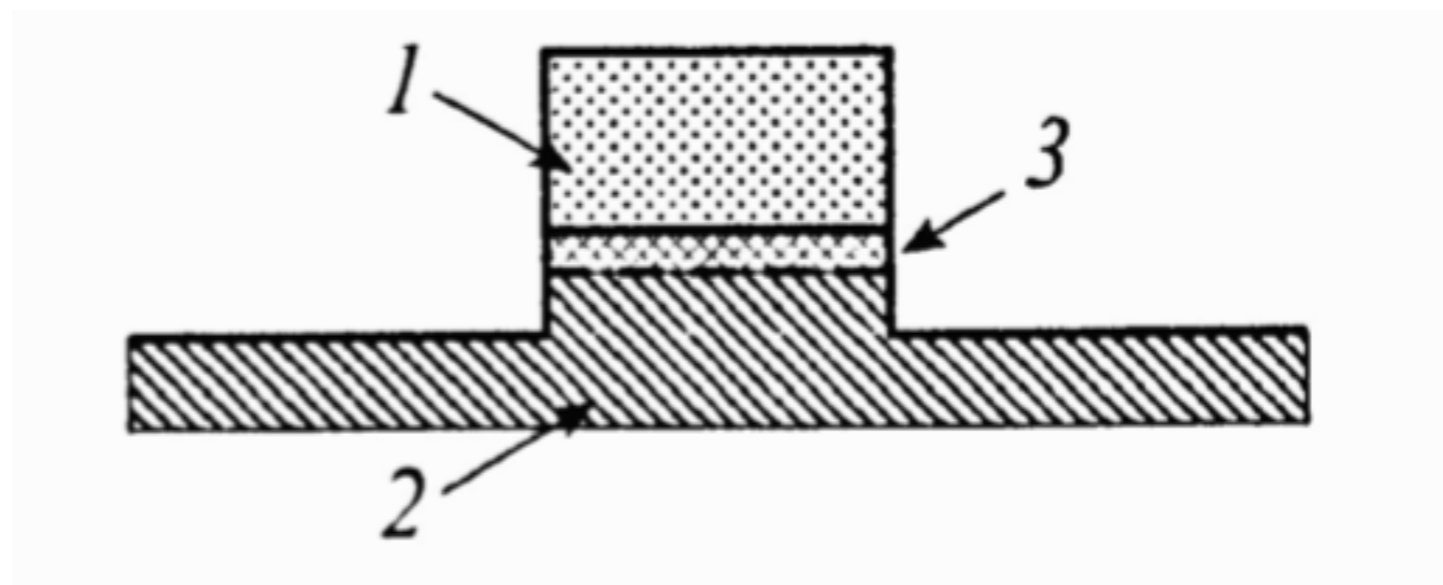


Квантовые ямы  
(2D)

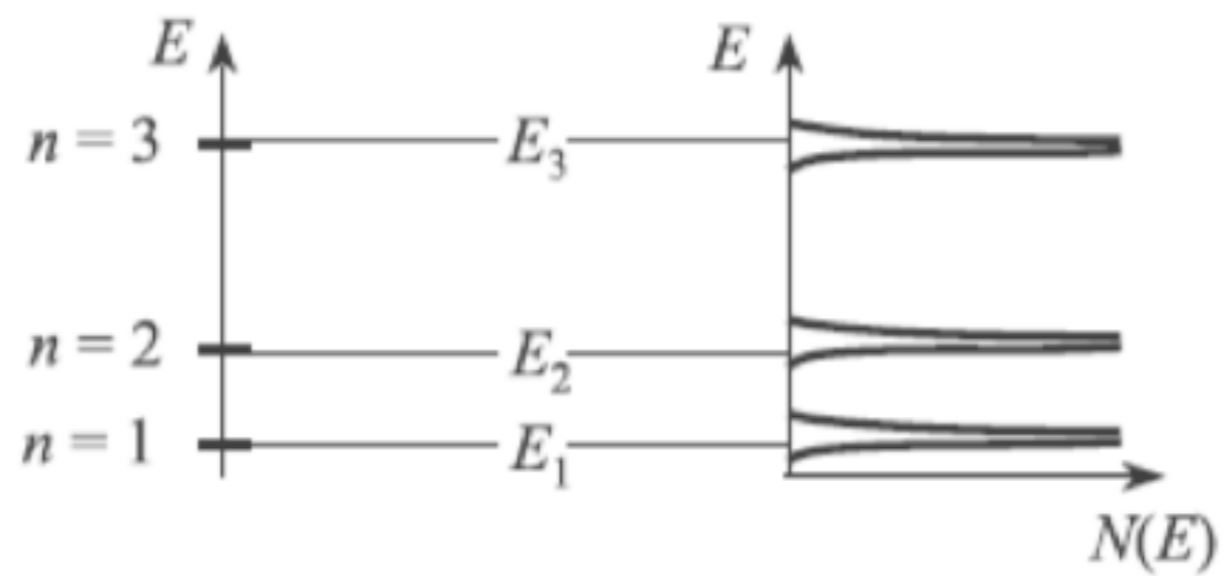




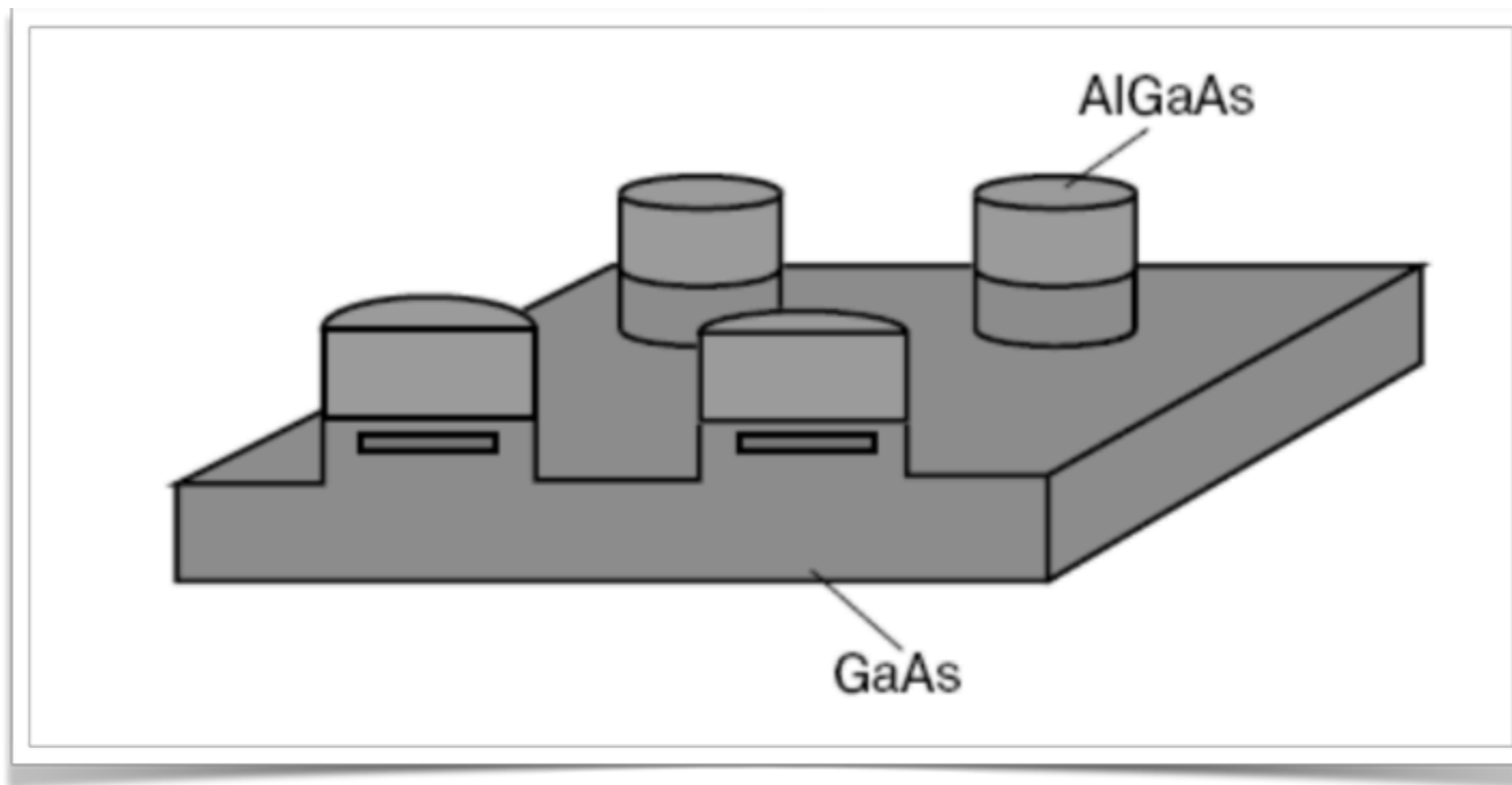
Квантовые нити  
(1D)

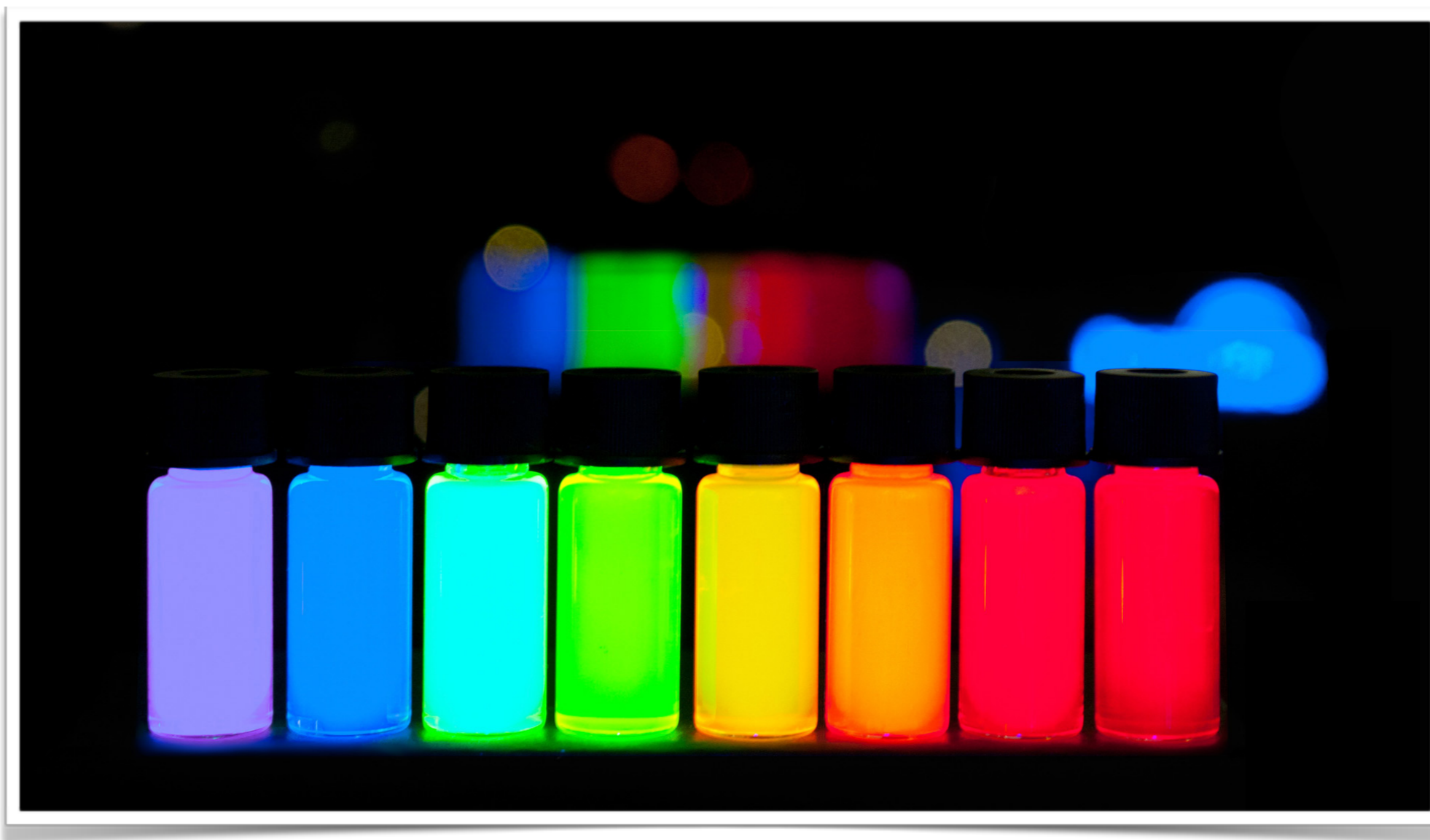


квантовая  
точка  
(0D)



Квантовые точки  
(0D)





Разноцветное излучение квантовых точек

**WeChat**

