

SISTEMAS NANOESTRUTURADOS

CONFINAMENTO ELETRÔNICO

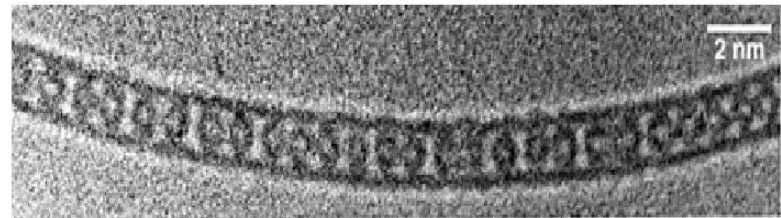
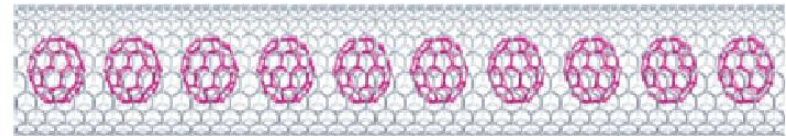
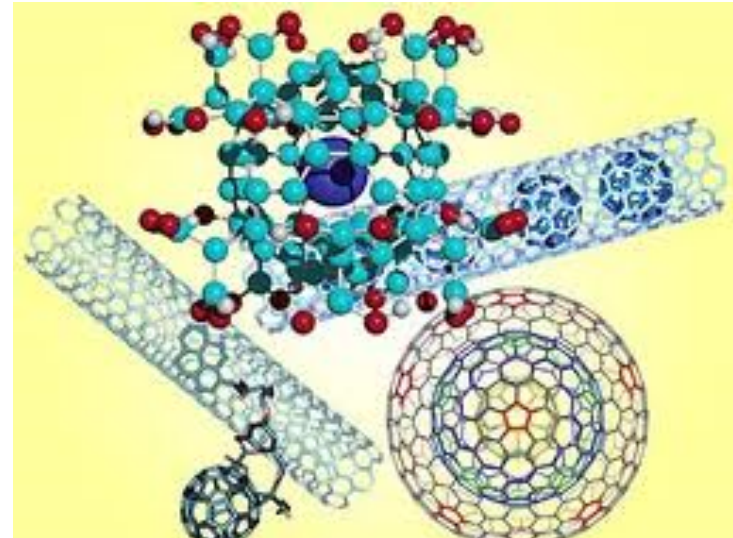
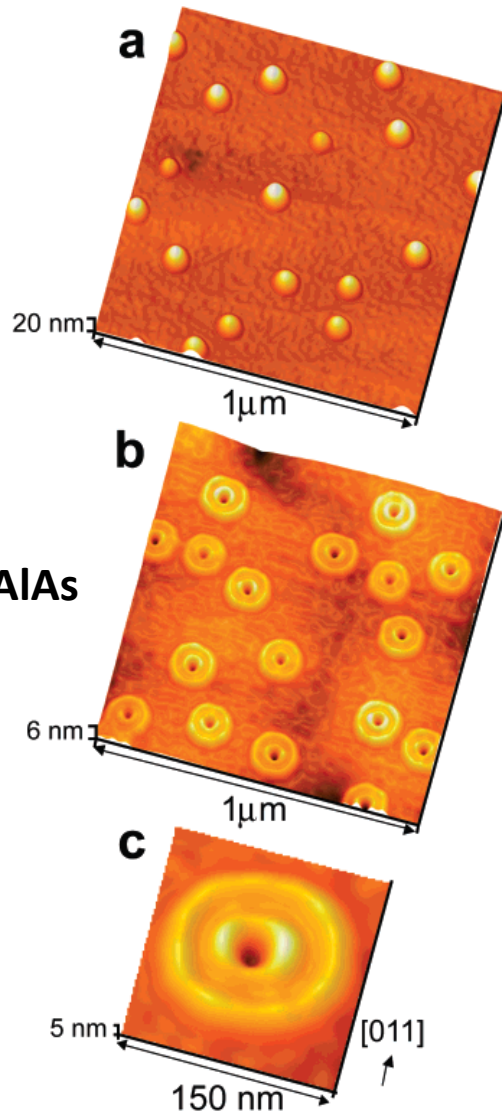


INSTITUTO DE FÍSICA
Universidade Federal Fluminense



ANÉIS QUÂNTICOS – FULERENOS - NANOTUBOS

GaAs-GaAlAs



Mano T et al 2005 Nano Lett. 5, 425





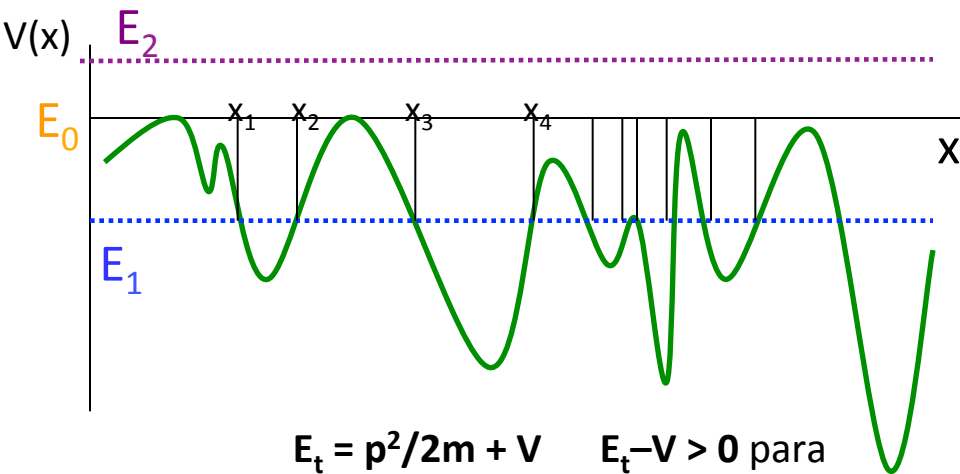
Um condutor macroscópico ususalmente apresenta um **comportamento Ohmic**

CONDUTÂNCIA $\Gamma = \sigma W/L$ (W, L = largura e comprimento, σ = condutividade independente do tamanho)

Este cenário muda quando consideramos o transporte eletrônico em **nanoestruturas**.

Delocalização (tunelamento) & **localização** (interferências destrutivas)

PARTÍCULAS CLÁSSICAS

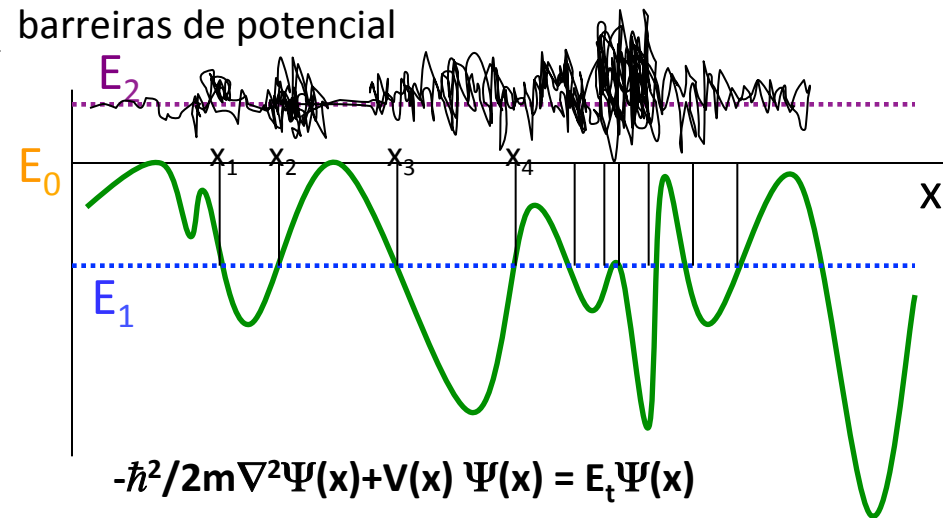


$$E_t = p^2/2m + V \quad E_t - V > 0 \text{ para } E < V \text{ regiões proibidas}$$

PARTÍCULAS QUÂNTICAS

Efeitos Quânticos

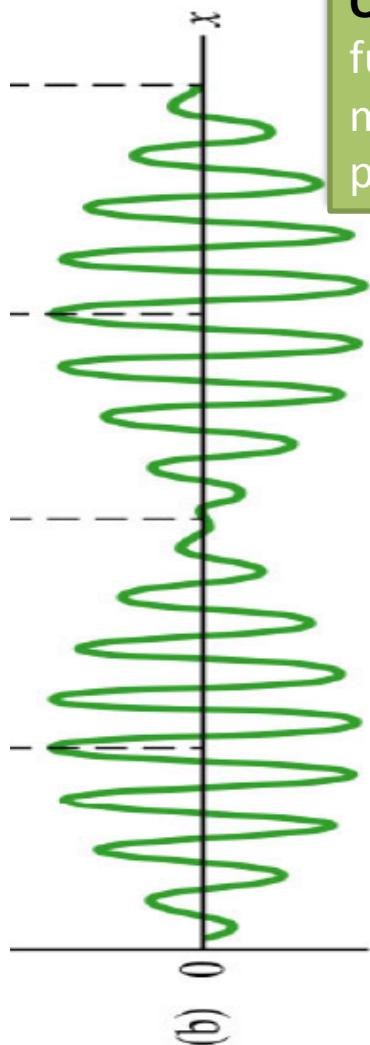
Tunelamento de partículas através das barreiras de potencial



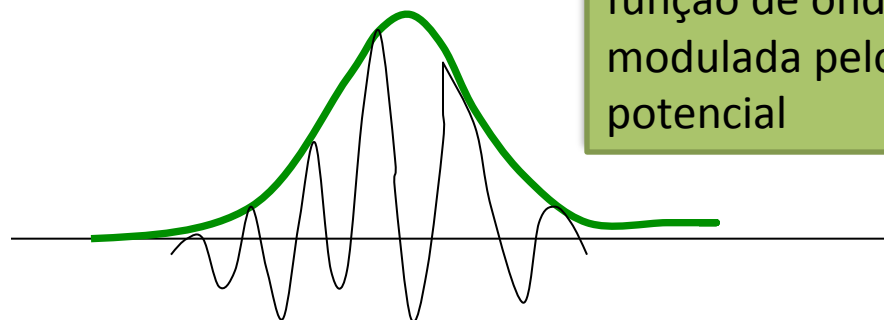
$$-\hbar^2/2m \nabla^2 \Psi(x) + V(x) \Psi(x) = E_t \Psi(x)$$



Onda estendida
função de onda
modulada pelo
potencial



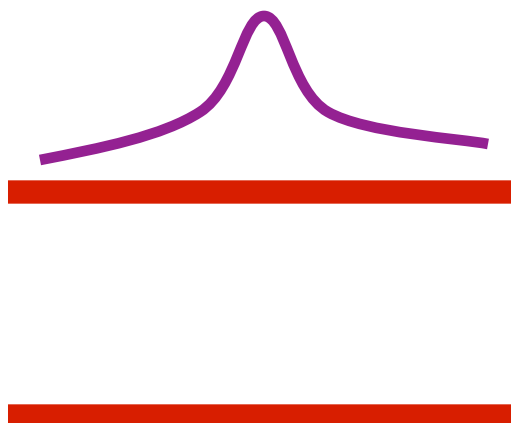
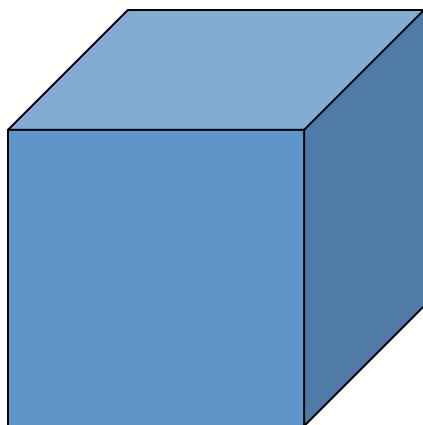
Onda localizada
função de onda
modulada pelo
potencial



MACROSCÓPICO X MICROSCÓPICO

- ➡ Para manifestar a natureza ondulatória – excitações eletrônicas devem se propagar segundo a MQ (com coerência de fase) entre os bordos do dispositivo
- ➡ Típicos **fenômenos de interferência** ocorrem quando um dos comprimentos é comparável com o comprimento de onda de de Broglie
- ➡ **CONDIÇÃO** para se ter a coerência Quântica:
 - Encolhimento das escalas de comprimento dos dispositivos e/ou
 - Redução da T até que a energia de excitação mínima se torne grande comparável com a energia térmica $k_B T$





Comprimentos da caixa

- L Tamanho do sistema
- l livre caminho médio
- ξ Comprimento de localização
- $L\varphi$ Comprimento de coerência

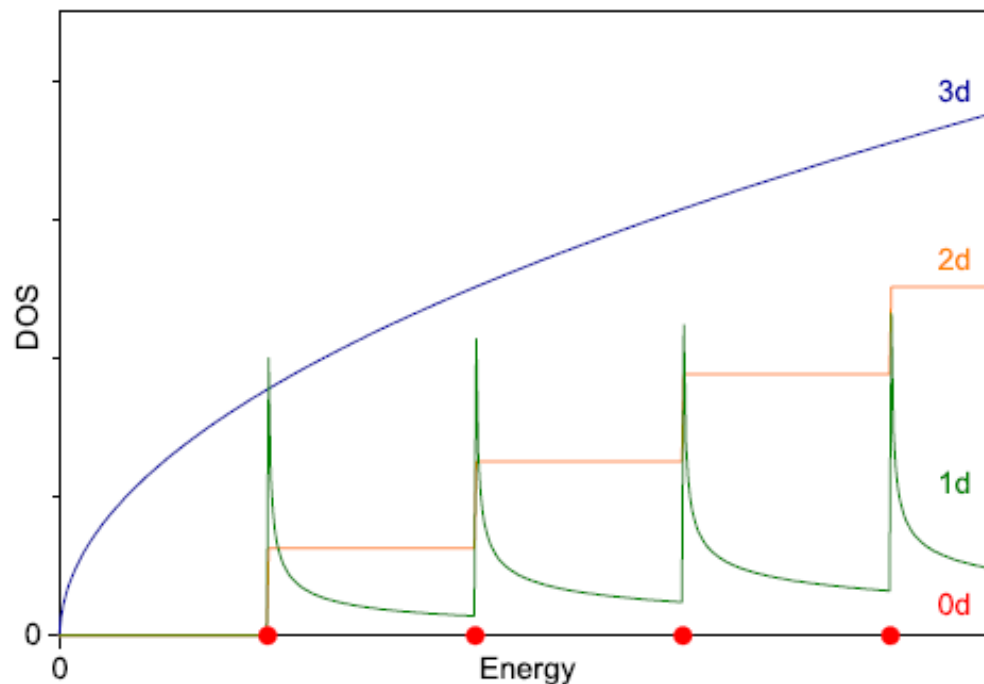
Se $l \gg L$ entre voltagens aplicadas – os portadores se propagam de forma **balística** ➔ efeitos de contato são importantes (Landauer formalism)



MESOSCÓPICO meso=Intermediária entre MICROSCÓPICA (detalhes atômicos) details) & MACROSCÓPICO (bulk behavior-Ohm's law)

MUDANÇAS DRÁSTICAS QUANDO OCORRE REDUÇÃO DA DIMENSIONALIDADE

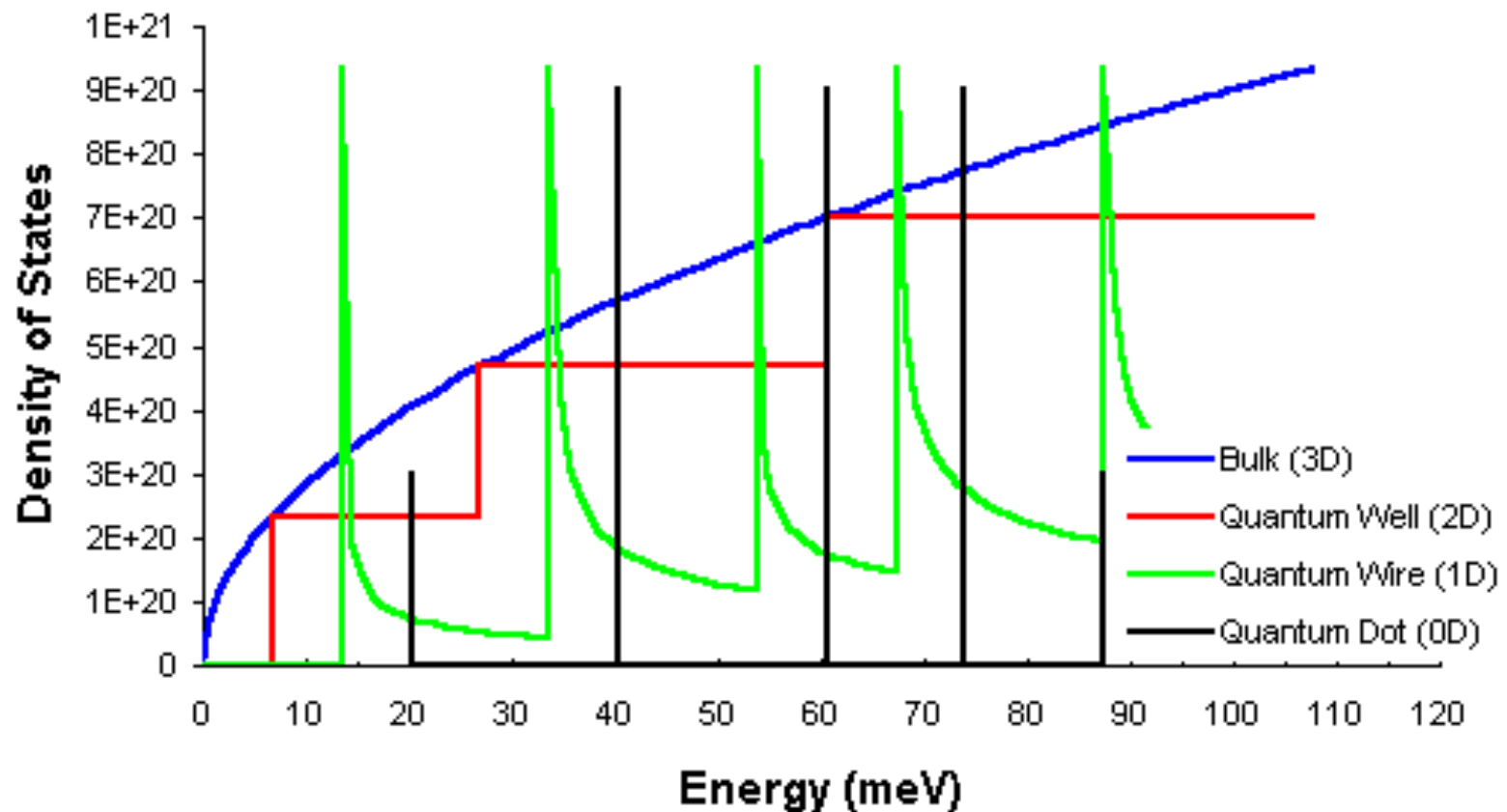
➔ NOVOS FENÔMENOS QUÂNTICOS



**PROPRIEDADES
ELETRÔNICAS – DOS**
Densidade de estados

Figure 4.7: Sketch of the density of states in low dimensional systems obtained via eq. (4.15).

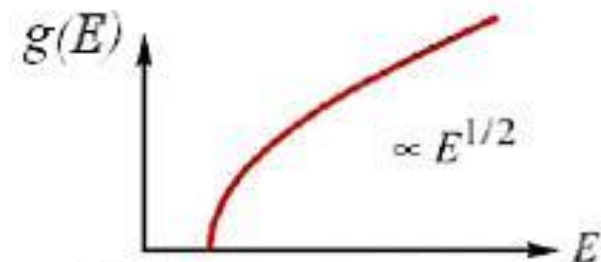




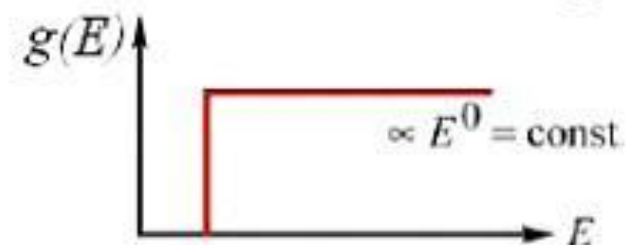
DENSIDADE DE ESTADOS ELETRÔNICOS EM SISTEMAS 1D, 2D, 3D



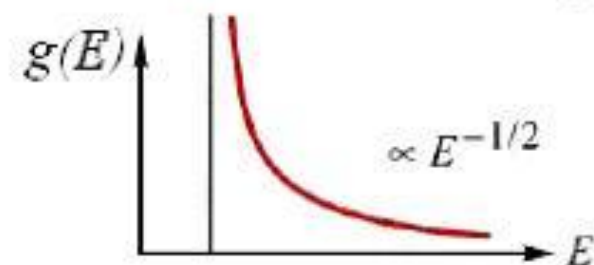
3-D (bulk)
$$g(E) = \frac{1}{2\pi^2} \left(\frac{2m^*}{\hbar^2} \right)^{\frac{3}{2}} \sqrt{E_g - E}$$



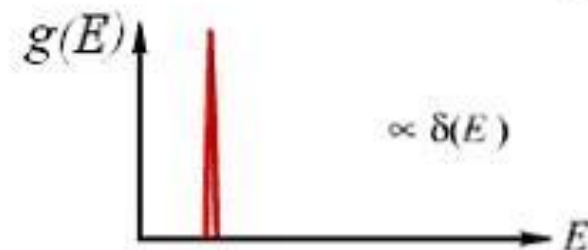
2-D (slab)
$$g(E) = \frac{m^*}{\pi \hbar^2} \sigma(E_g - E)$$



1-D (wire)
$$g(E) = \frac{m^*}{\pi \hbar} \sqrt{\frac{m^*}{2(E_g - E)}}$$



0-D (dot)
$$g(E) = 2\delta(E_g - E)$$



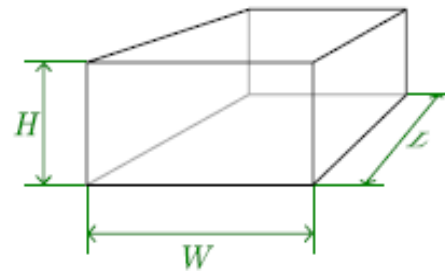
DIMENSIONALIDADE & CONFINAMENTO ELETRÔNICO

Estrutura de banda determina $E(k) \propto k$ $E_F - k_F$ $\lambda_F = 2\pi/k_F$

Quando o tamanho da amostra é da ordem de λ_F

➔ **ESPECTRO DE ENERGIA QUANTIZADA**

GAS ELETRÔNICO LIVRE NUMA CAIXA: $W - L - H$



(A) 3D V

$$\rho^{3D}(E) = 2 \frac{V}{(2\pi)^3} \int d^3k \delta(E - E(k)) = \frac{V}{h^3 \pi^2} \sqrt{2m^3 E}$$

(B) 2D $H \sim \lambda_F$ confinamento em z

$$k_z = \frac{\pi n_z}{H}$$

$$\rho^{2D}(E) = \frac{WLm}{h^2 \pi^2} \sum_{n_z} \Theta(E - E_{nz})$$

$$E_{nz} = \frac{(\hbar \pi n_z)^2}{2mH^2}$$

QW



(C) 2D $H, L \sim \lambda_F$
confinamento em z,y

$$\rho^{1D}(E) = \frac{L\sqrt{2m}}{h\pi} \sum_{n_y, n_z} (E - E_{n_y} - E_{n_z})^{-1/2}$$

QWW

(D) 3D $H, L, W \sim \lambda_F$
confinamento em z,y,x

$$\rho^{0D}(E) = 2 \sum_{n_x, n_y, n_z} \delta(E - E_{n_x} - E_{n_y} - E_{n_z})$$

QD

