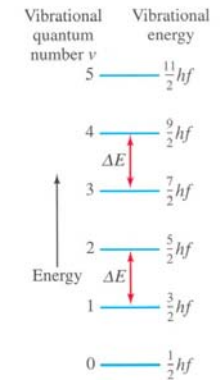
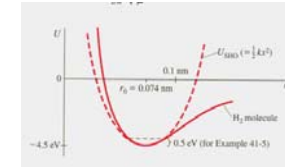
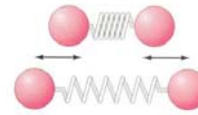


Kwantowanie energii

- Energia dowolnego obiektu jest skwantowana. Obiekt znajduje się na jednym z dozwolonych poziomów energetycznych
- Zmiana energii układu może odbywać się wyłącznie porcjami - *kwantami*
- W makroświecie odległość pomiędzy najbliższymi poziomami energetycznymi jest niemierzalnie mała

Molekuła dwuatomowa - H₂



Molekuła H₂ emituje falę EM z zakresu podczerwieni o długości fali w pobliżu 2300 nm.

$$E_0 = \frac{1}{2} \hbar \omega = 0.27 \text{ eV}$$

$$\Delta E_{\text{vib}} = 0.54 \text{ eV}$$

Kwantowanie energii - oscylator harmoniczny

Energia potencjalna oscylatora harmonicznego:

$$U(x) = \frac{1}{2} m \omega^2 x^2$$

Równanie Schroedingera dla oscylatora :

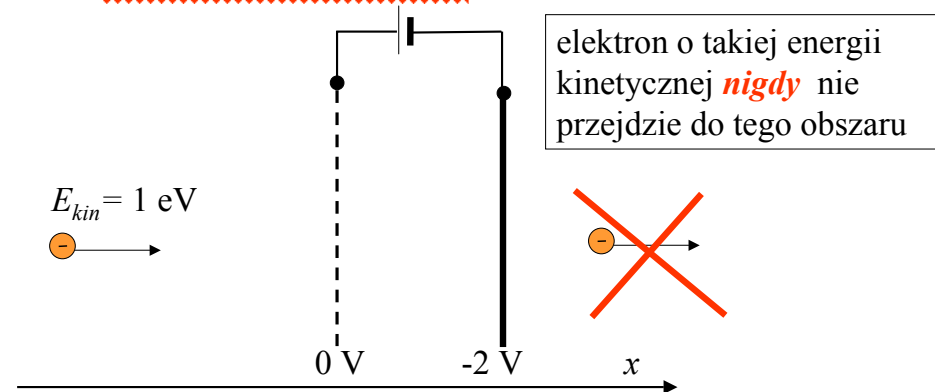
$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \Psi}{dx^2} + \frac{m \omega^2 x^2}{2} \Psi = E \Psi$$

Funkcje falowe Ψ będące rozwiązaniem tego równania muszą być ciągłe i posiadać ciągłe pierwsze pochodne. Takie rozwiązania istnieją wyłącznie wtedy gdy energia całkowita oscylatora posiada jedną z wartości:

$$E_n = \left(n + \frac{1}{2}\right) \hbar \omega \quad \text{gdzie } n = 1, 2, 3, \dots$$

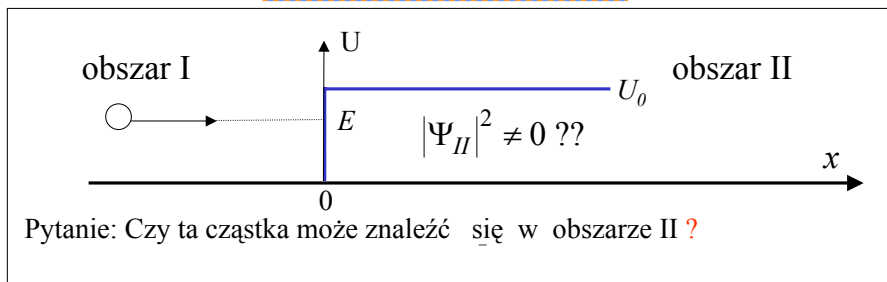
Przejście cząstki przez barierę potencjału

Podejście klasyczne



Przejście cząstki przez barierę potencjału

Podejście kwantowe



Równanie Schroedingera dla obszaru II

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\Psi}{dx^2} + U_0\Psi = E\Psi \quad \Rightarrow \quad \frac{d^2\Psi}{dx^2} = \frac{2m}{\hbar^2} (U_0 - E)\Psi$$

Rozwiązaniem
funkcja postaci :

$$\Psi(x) = Ae^{\alpha x}$$

Przejście cząstki przez barierę potencjału

$$A\alpha^2 e^{\alpha x} = \frac{2m}{\hbar^2} (U_0 - E) Ae^{\alpha x} \Rightarrow \alpha^2 = \frac{2m}{\hbar^2} (U_0 - E)$$

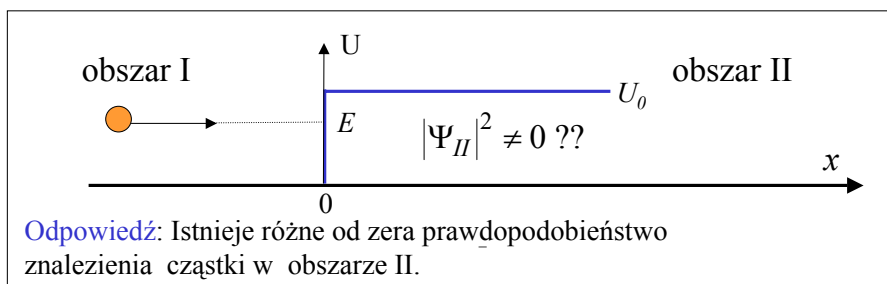
Dwa rozwiązania: $\alpha_1 = +\sqrt{\frac{2m}{\hbar^2} (U_0 - E)}$ lub $\alpha_2 = -\sqrt{\frac{2m}{\hbar^2} (U_0 - E)}$

Warunek nakładany na funkcję falową: $\int_0^\infty |\Psi(x)| dx = 1$

Rozwiązanie: $\Psi(x) = Ae^{\alpha_2 x}$

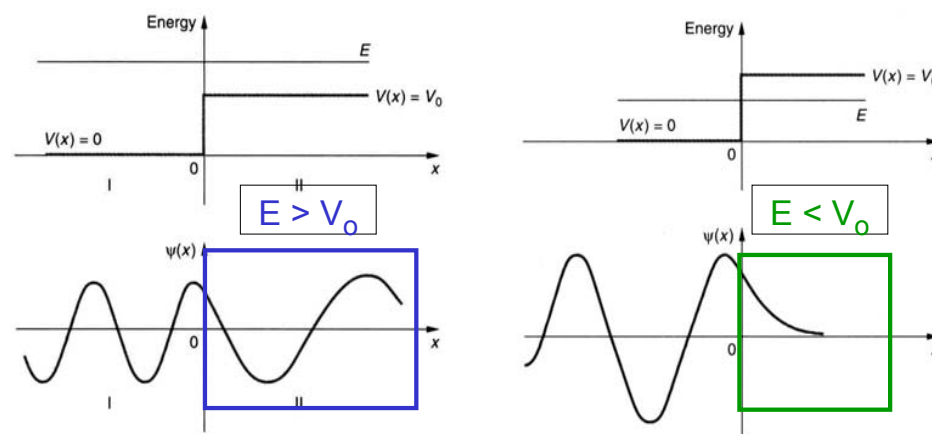
Prawdopodobieństwo
znalezienia cząstki w
obszarze Δx obszaru II $p_r(x_0) = |A|^2 \exp\left(-2 \cdot \sqrt{\frac{2m}{\hbar^2} (U_0 - E)} x_0\right) \Delta x$

Przejście cząstki przez barierę potencjału



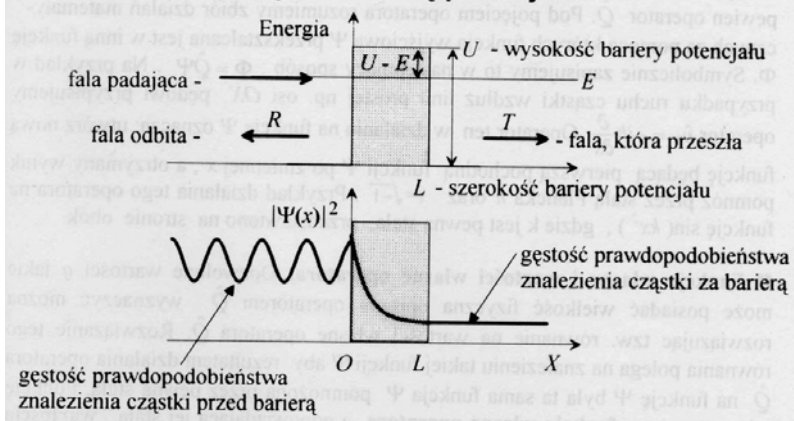
$$p_r(x_0) = |A|^2 \exp\left(-2 \cdot \sqrt{\frac{2m}{\hbar^2} (U_0 - E)} x_0\right) \Delta x$$

Przejście cząstki przez barierę potencjału



Przejście cząstki przez barierę potencjału

11. Przejście cząstki przez barierę potencjału

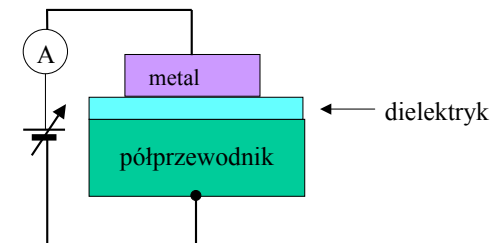


$$T \approx e^{-2\beta L}, \text{ gdzie } \beta = \sqrt{\frac{8\pi^2 m(U-E)}{h^2}} \text{ energia cząstki}$$

współczynnik transmisji (przejścia) cząstki przez barierę dla warunku $\beta L \gg 1$

Przejście cząstki przez barierę potencjału

Przykład

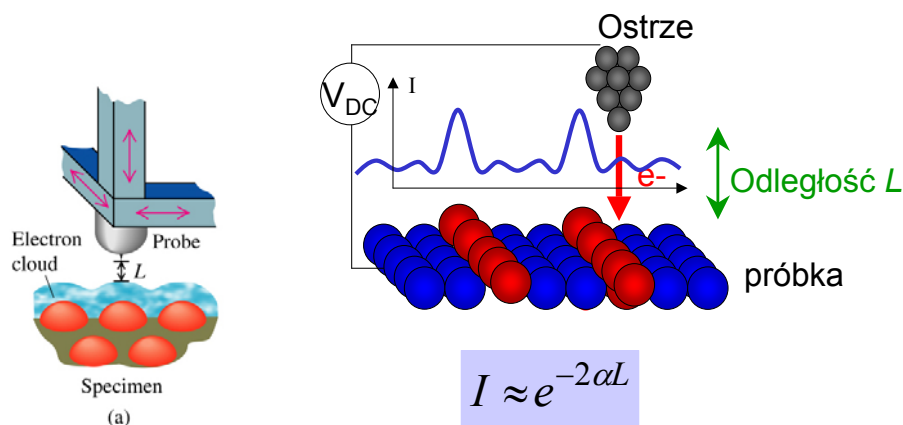


Strumień elektronów o energii kinetyczną $E=2 \text{ eV}$ każdy, pada na prostokątną barierę potencjału o wysokości $U_0=5 \text{ eV}$ i szerokości $L=1.0 \text{ nm}$. Jaki procent elektronów przejdzie przez barierę?

$$T = \frac{I_{trans}}{I_{pad}} = 16 \frac{E}{U_0} \left(1 - \frac{E}{U_0}\right) \exp\left(-2\sqrt{\frac{2m}{\hbar}}(U_0 - E)L\right) \quad T=7.1 \cdot 10^{-8}$$

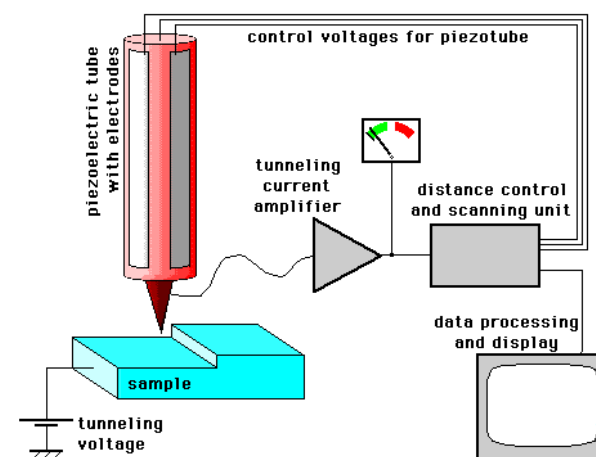
Zmniejszenie bariery o połowę ($L=0.5 \text{ nm}$) zwiększa współczynnik. transmisji o cztery rzędy do $T=5.2 \cdot 10^{-4}$

Mikroskop tunelowy



$$\text{gdzie } \alpha = \sqrt{\frac{2m}{\hbar}}(U_0 - E)$$

Mikroskop tunelowy



How an STM works ...

© Michael Schmid
Institut f. Allgemeine Physik
TU Wien 1997-2002

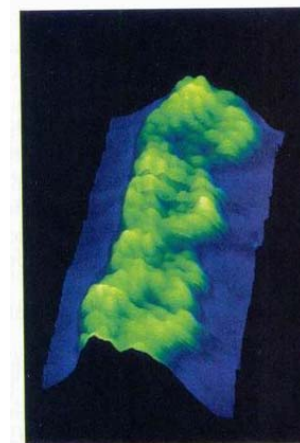
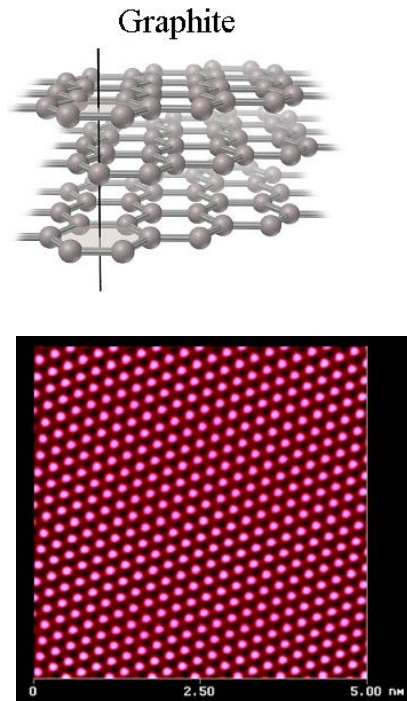
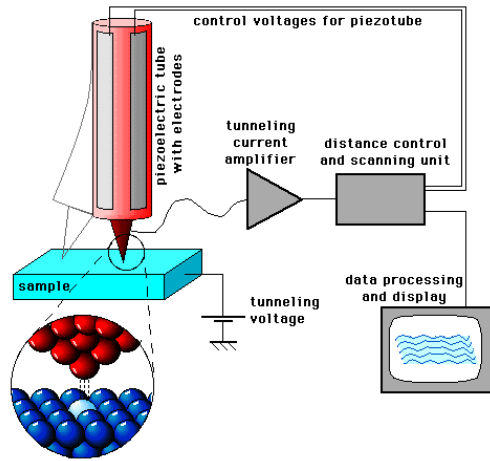
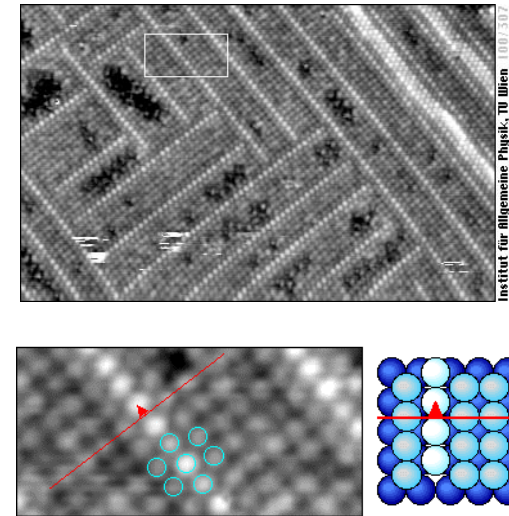


FIGURE 39-18 Image of cellular DNA, magnified about 2 million times, taken with a scanning tunneling microscope. Three turns of the DNA double helix can be seen in this false-color image.

Mikroskop tunelowy



Mikroskop tunelowy



Mikroskop tunelowy

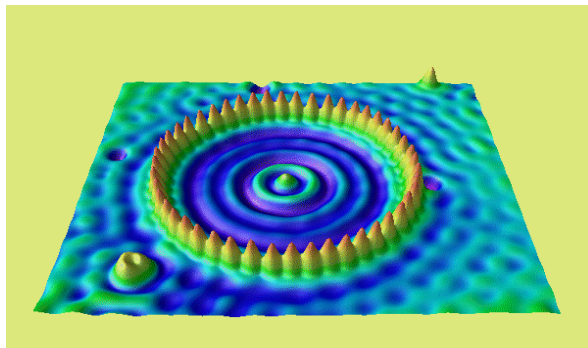


Image downloaded from IBM, Almaden, Calif.
It shows 48 Fe atoms arranged on a Cu (111) surface

Przejście cząstki przez barierę potencjału

Rozpad α jądra radu

