

# Fizyczne podstawy nanotechnologii

Krzysztof Byczuk

Instytut Fizyki Teoretycznej

Uniwersytet Warszawski

*9 luty 2005*



# NANO-UKŁADY



- CZYLI “KINGSAJZ DLA KAŻDEGO”

Interesują nas bardzo małe układy mezoskopowe, w których poruszają się elektrony



Jak wyglądają wtedy prawa fizyki?

Typowe rozmiary tych układów wyraża się w

**NANOMETRACH**

$$1\text{nm} = \frac{1}{1\,000\,000\,000} \text{ m} = 10^{-9} \text{ m}$$

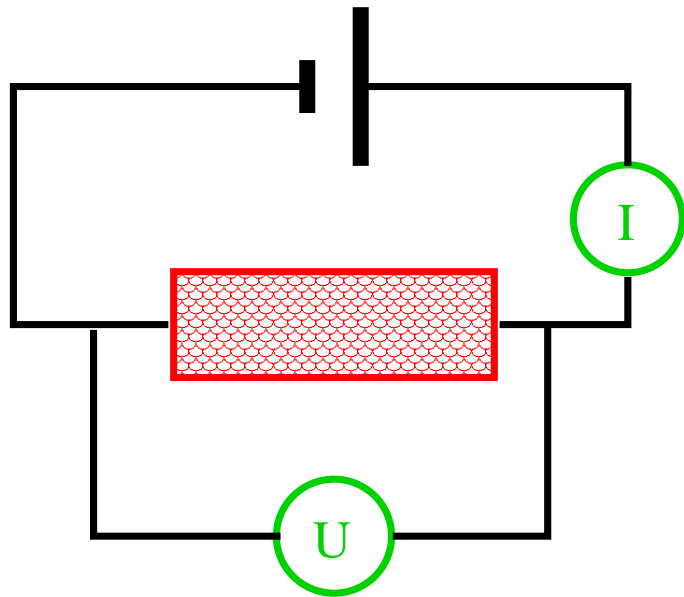
## O czym będzie wykład?

- Kwantowy opór
- Kwantowe złącze punktowe
- Kropki kwantowe
- Koral kwantowy
- Kwantowy mirage

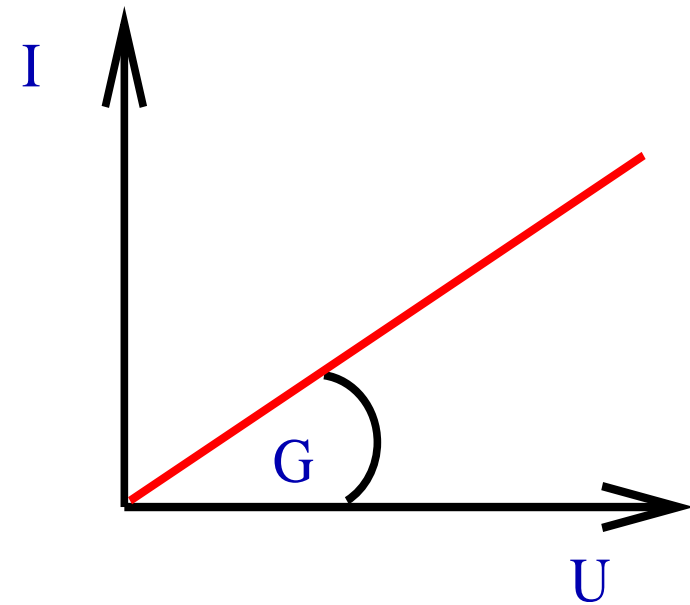
# Mechanika kwantowa

# Prawa fizyki dla przepływu prądu elektrycznego

## Prawo Ohm'a



1826 Georg Simon Ohm

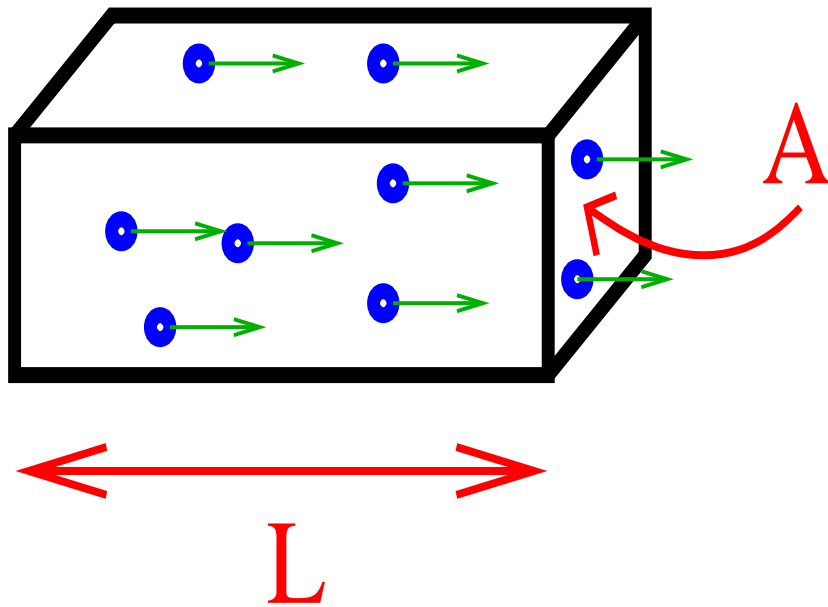


$$U = I \cdot R \Leftrightarrow I = G \cdot U$$

$U$  - napięcie,  $I$  - natężenie prądu,  $R$  - opór elektryczny,  $G = \frac{1}{R}$  - przewodność

# OPÓR ELEKTRYCZNY

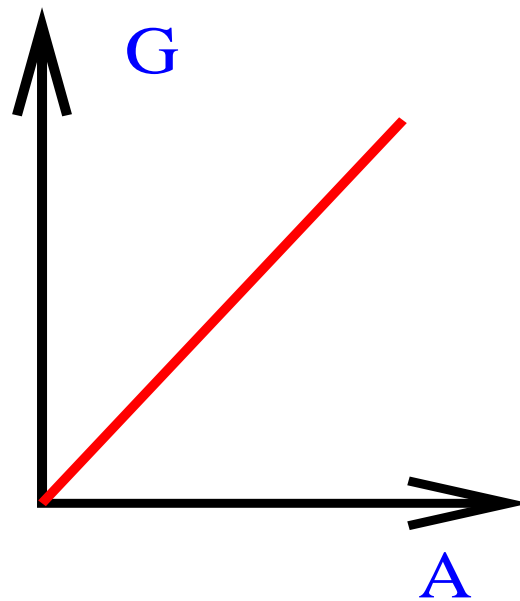
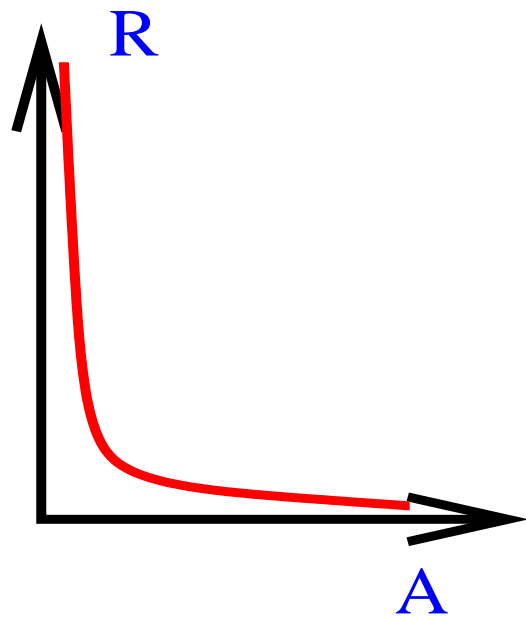
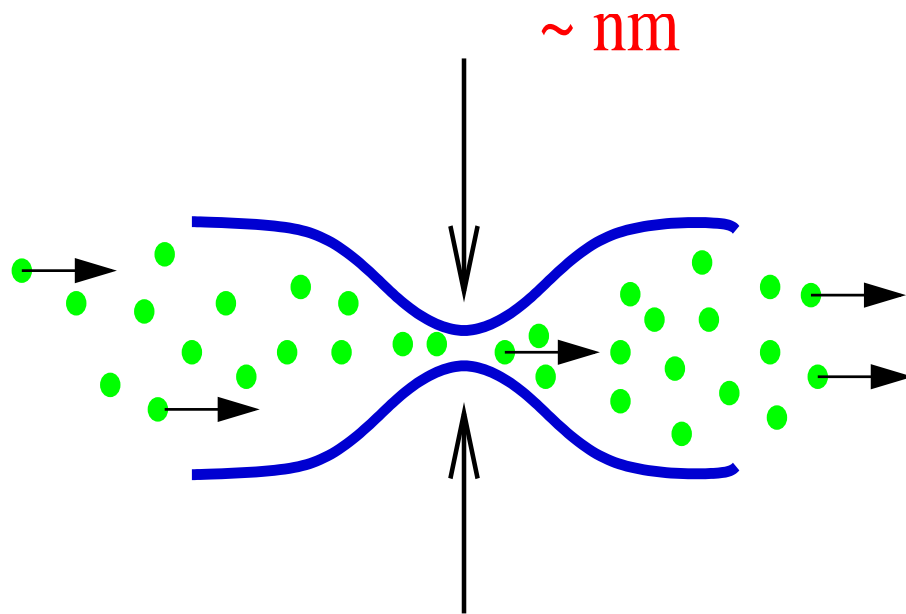
$$R = \rho \frac{L}{A} \quad [\rho] = [\Omega \cdot \text{m}^{\text{d}-2}]$$



Im mniejsze pole przekroju tym opór  $R$  większy

Im mniejsze pole przekroju tym przewodność  $G$  mniejsza

# Pole przekroju mniejsze, coraz mniejsze ...



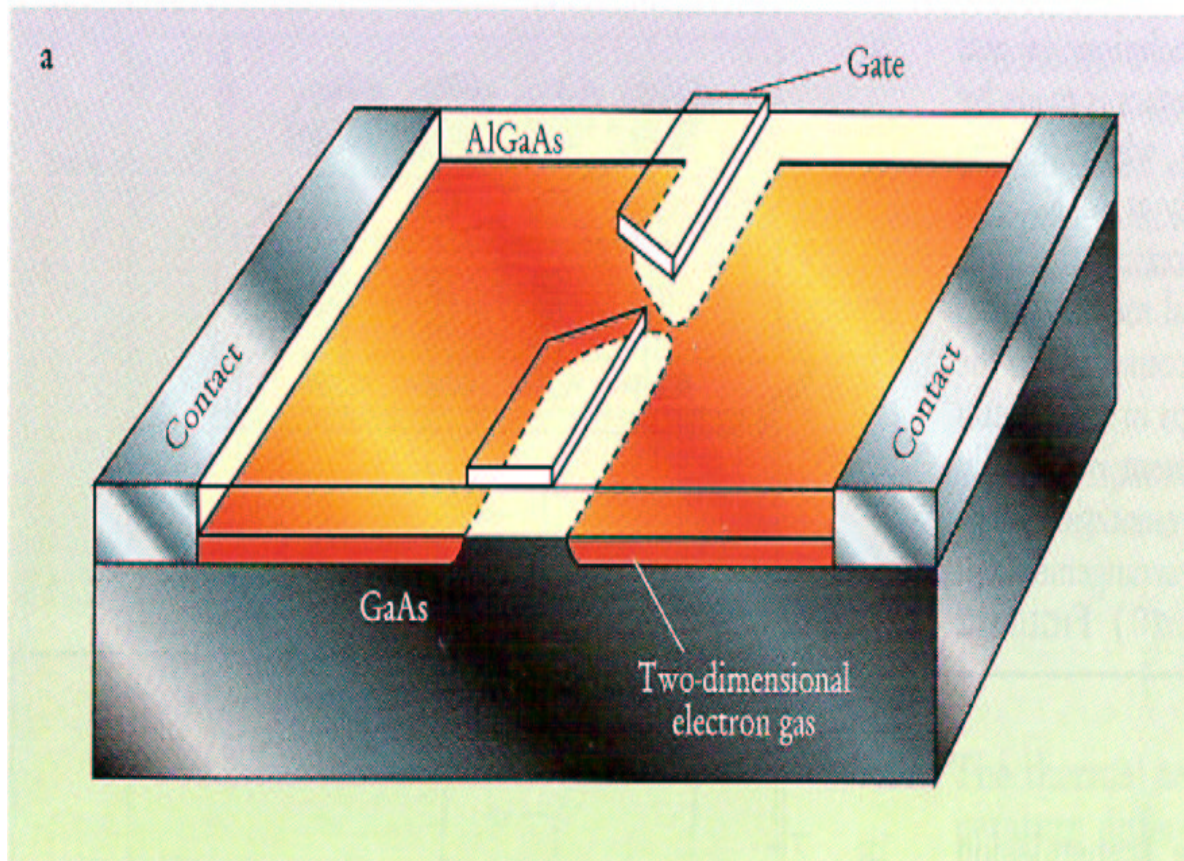
Zróbmy to naprawdę...



czyli zbudujemy **złącze punktowe**

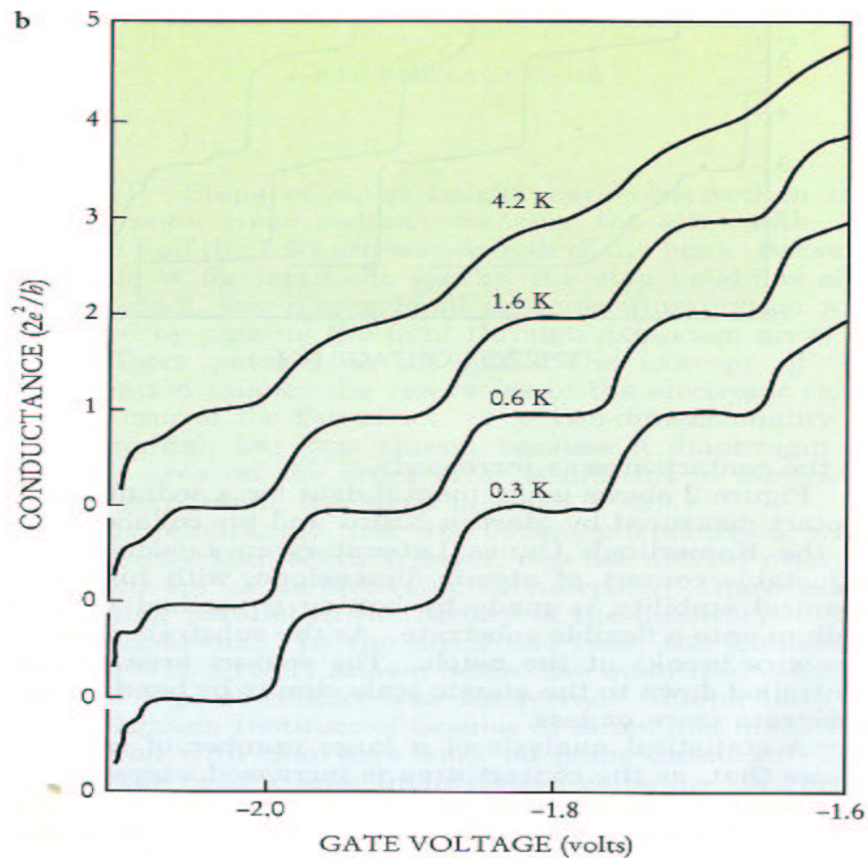


## Kwantowe złącze punktowe



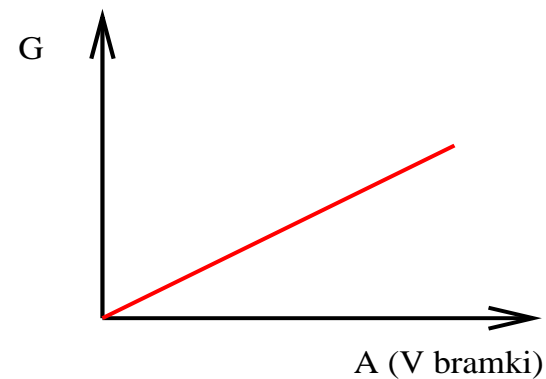
Napięciem na bramce (gate) można sterować grubość złącza

# Przewodność przez kwantowe złącze punktowe



$$G = n \frac{2e^2}{h}$$

$$n = 0, 1, 2, \dots$$



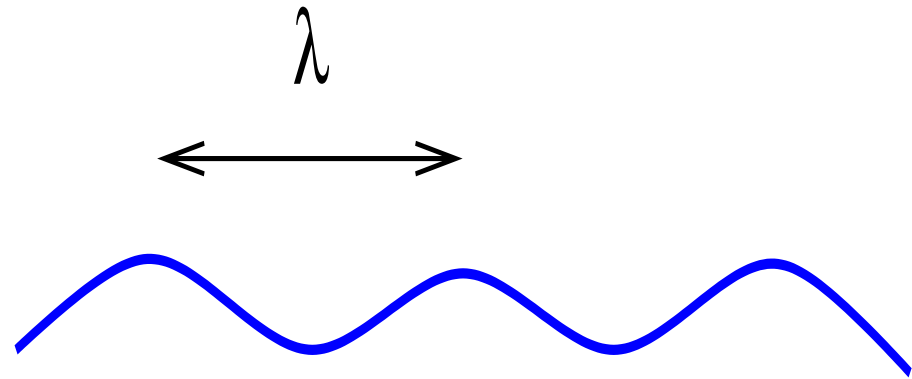
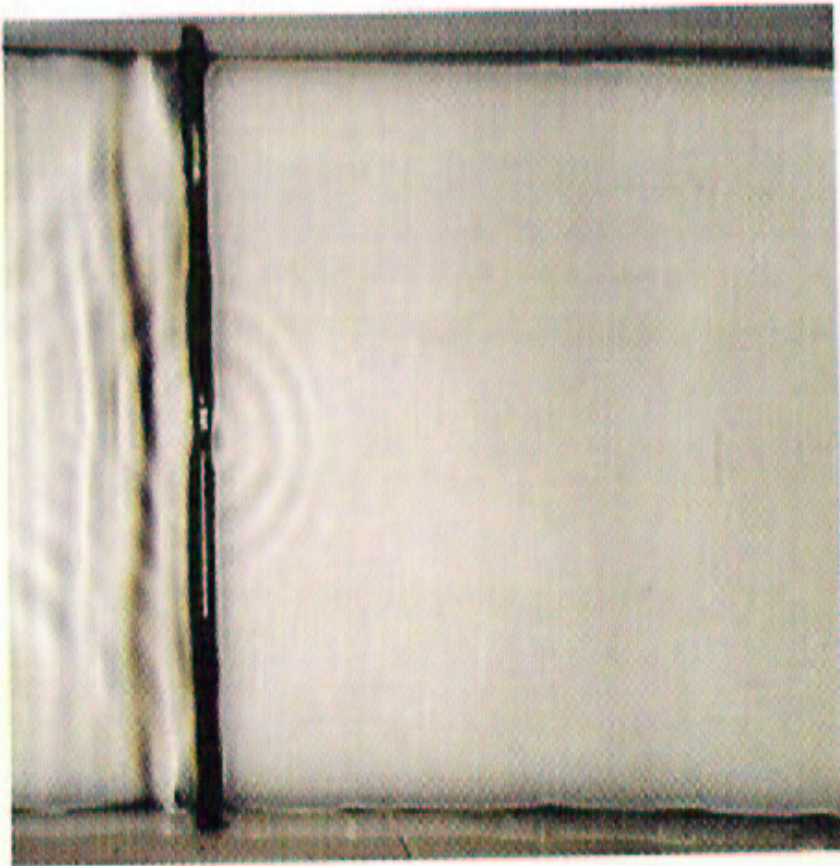
W bardzo niskich temperaturach widać uniwersalne stopnie w przewodności

**skwantowana przewodność**

# DLACZEGO???

elektrony - cząstki kwantowe

Troche cząstki, trochę fale

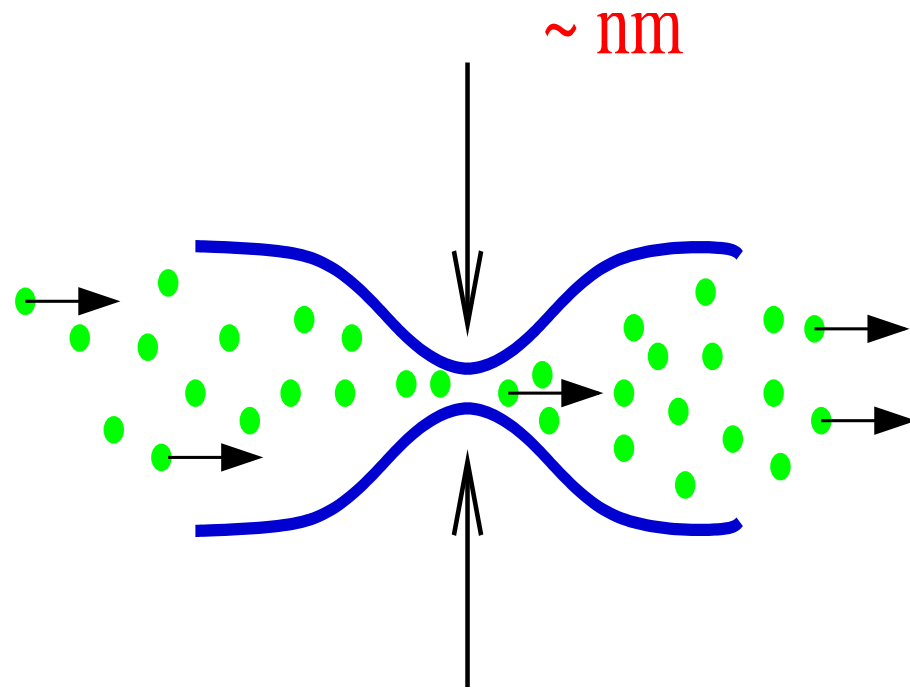


ile długości fal mieści się w złączu taka przewodność

zjawisko dyfrakcji odpowiedzialne za skończony opór

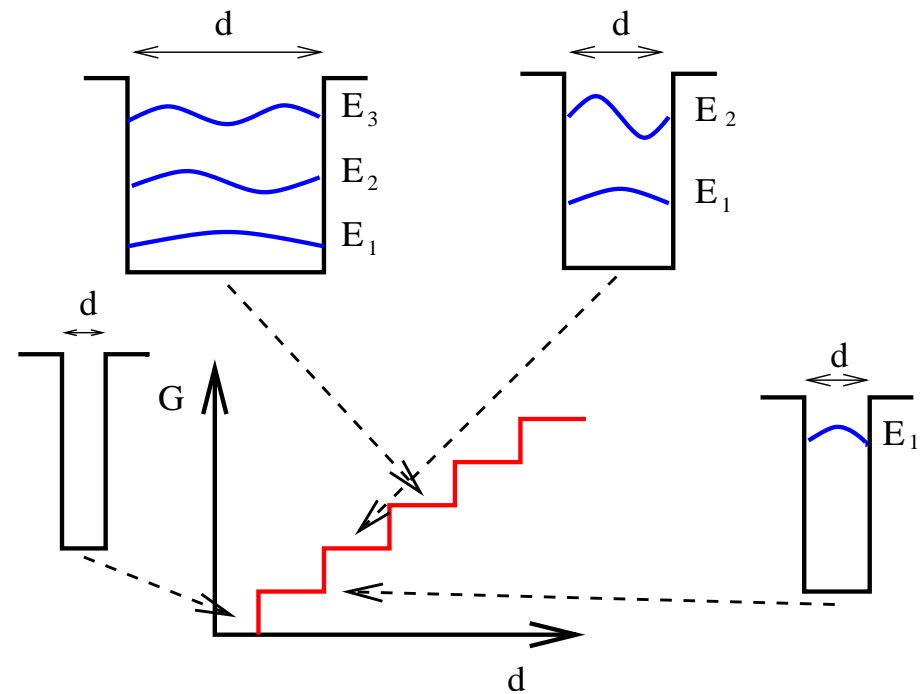
# DLACZEGO???

Troche cząstki, trochę fale

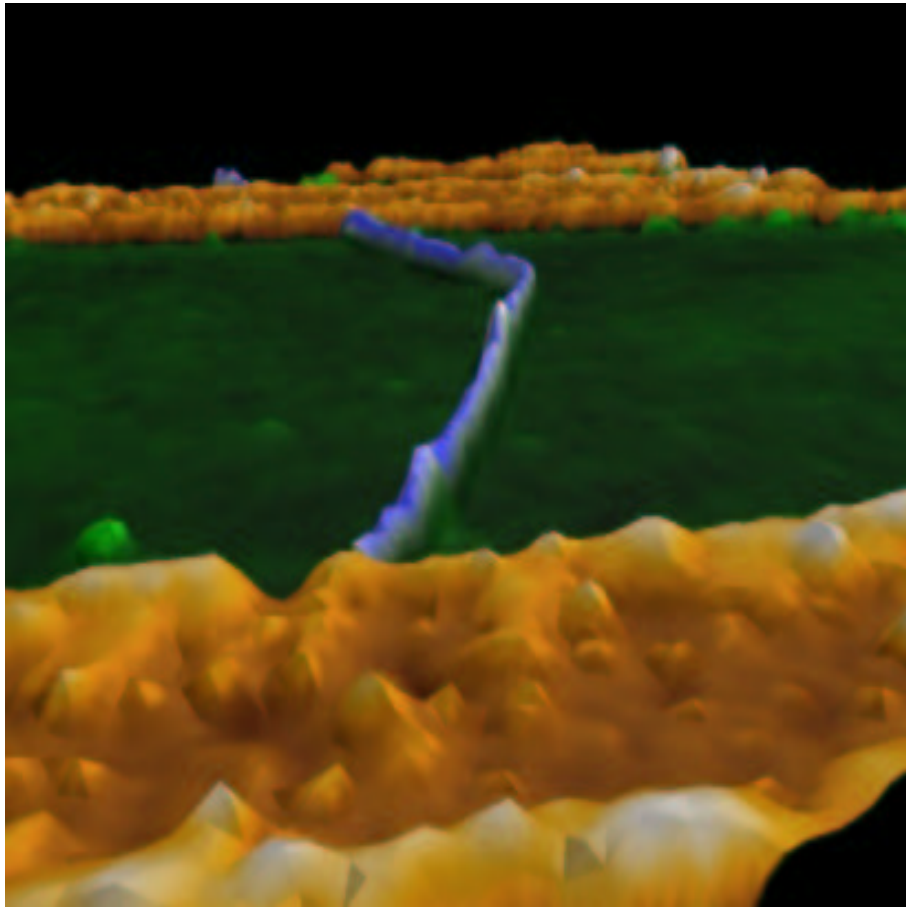


ile długości fal mieści się w złączu taka przewodność

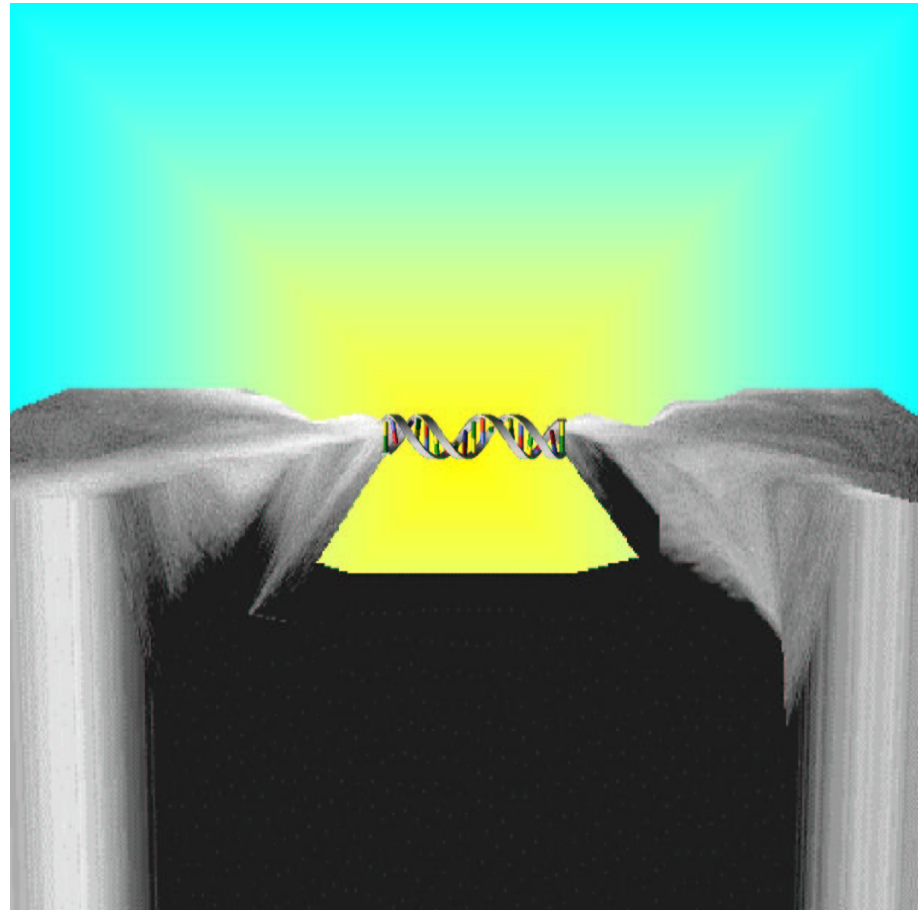
stany o skwantowanych energiach



**Budując NANO-OBWODY musimy pamiętać o skwantowanym oporze elektrycznym!!!**



Nanorurka węglowa pomiędzy elektrodami

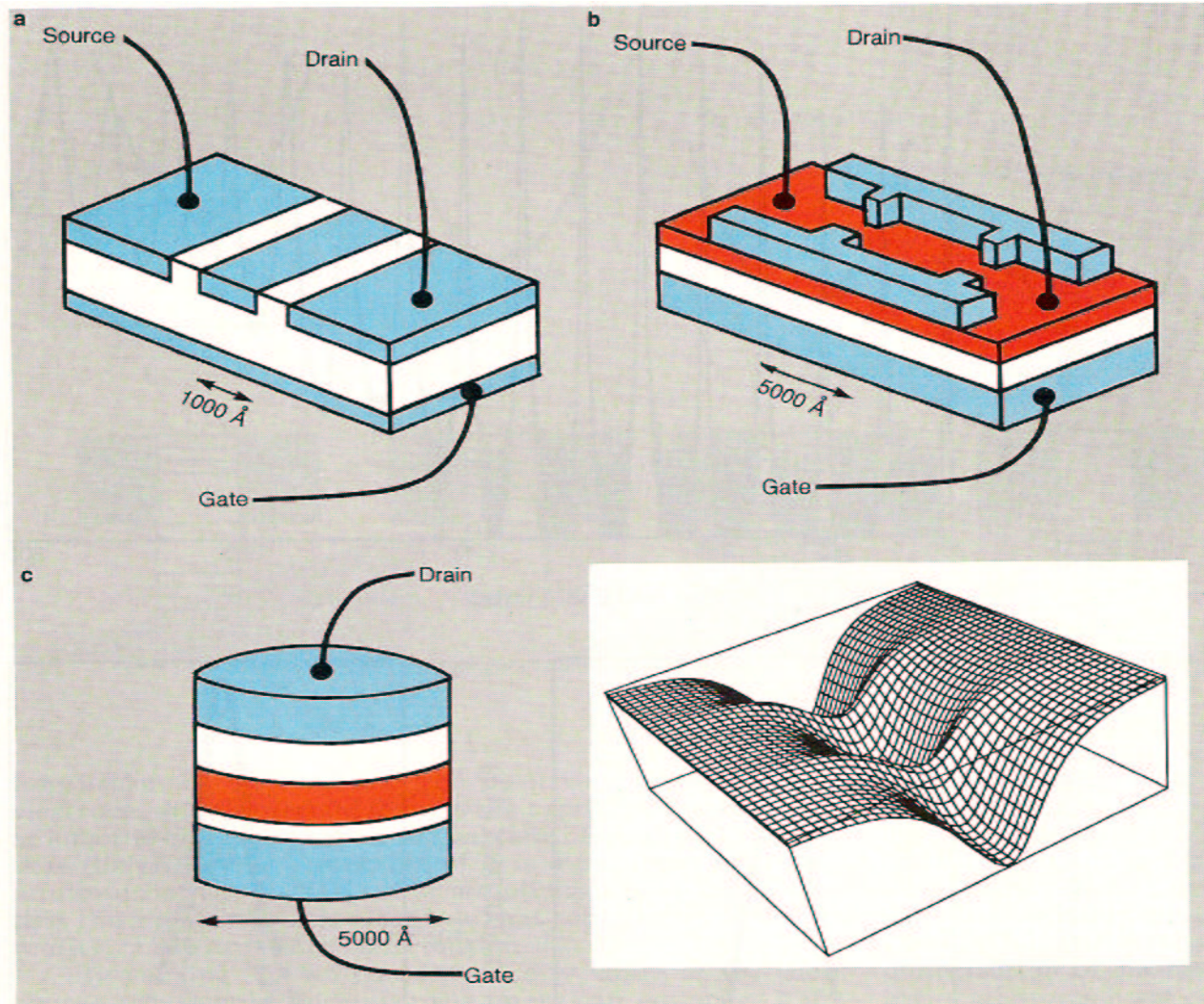


Cząsteczka DNA pomiędzy elektrodami

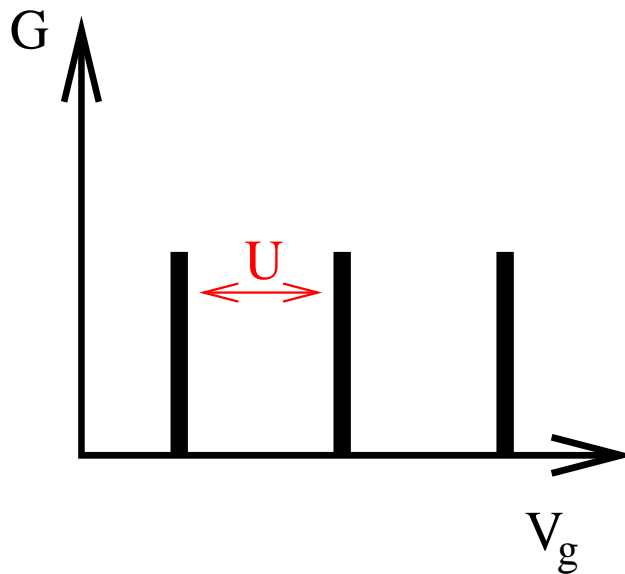
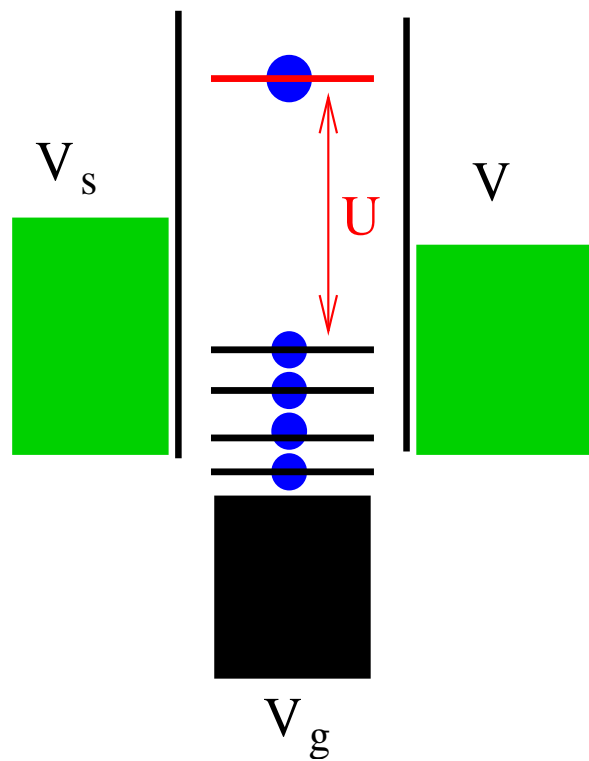
A gdyby tak uwięzić elektrony ...



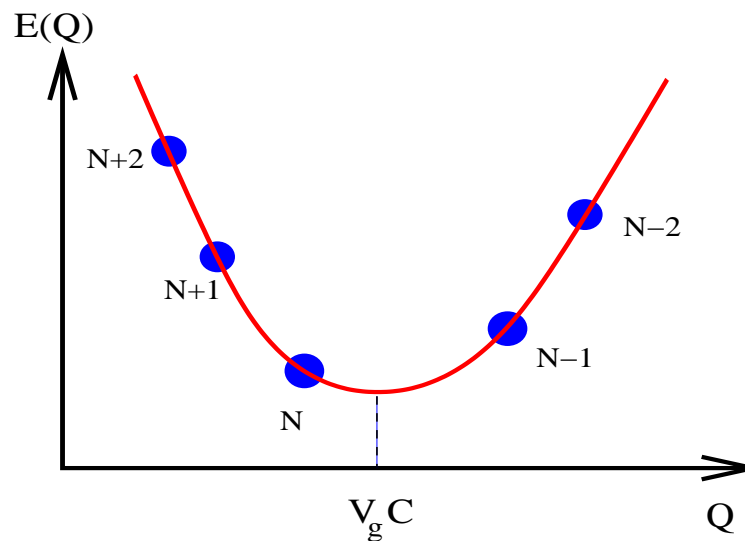
# budując kropki kwantowe



# Blokada Coulombowska



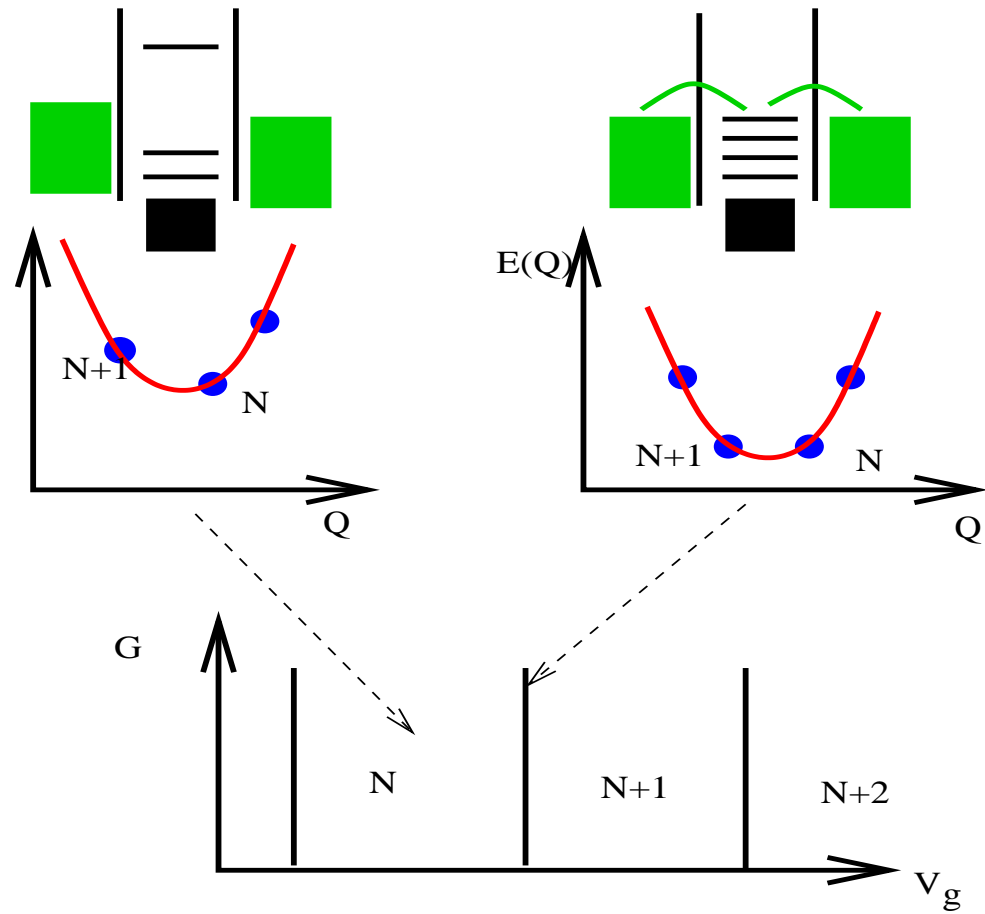
$$E(Q) = \frac{Q^2}{2C} - |Q|V_g, \text{ gdzie } Q \in \mathbb{N}$$



$$U \approx \text{meV}, C \approx 10^{-18} \text{F}$$

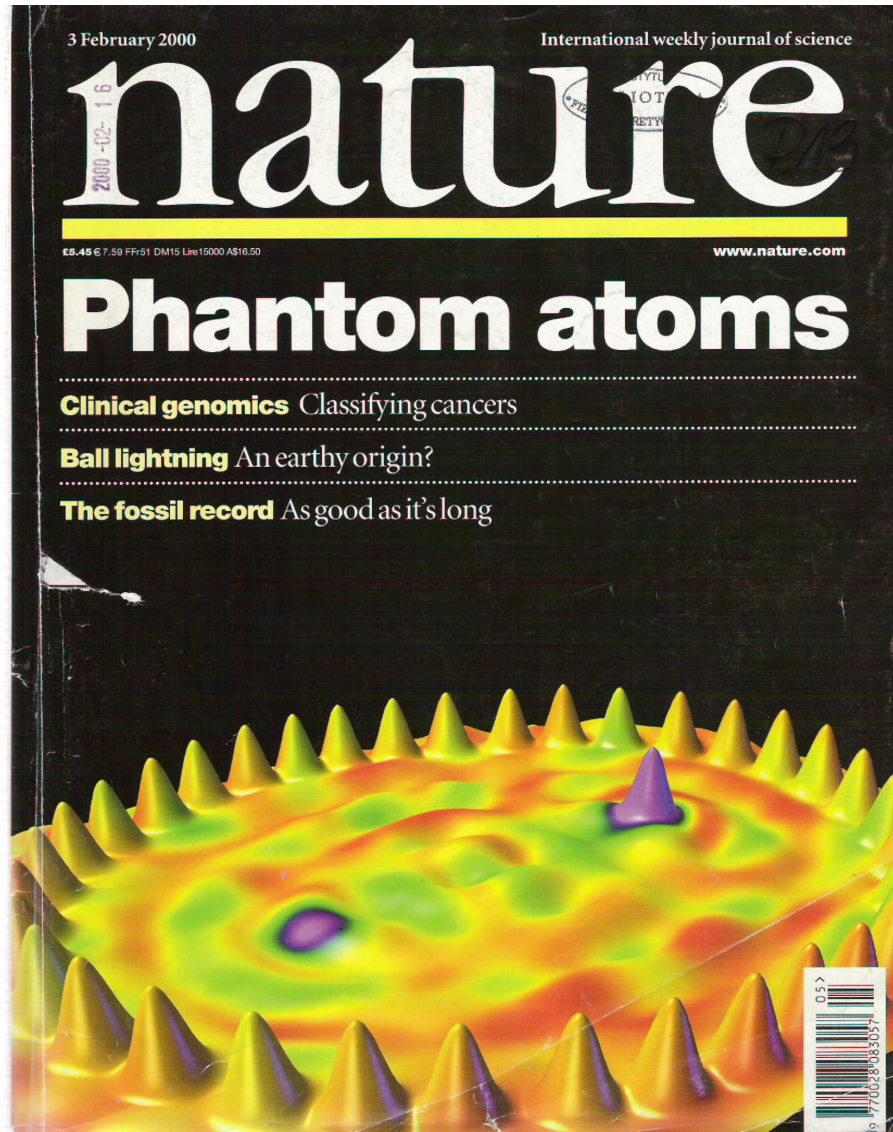


# Blokada Coulombowska

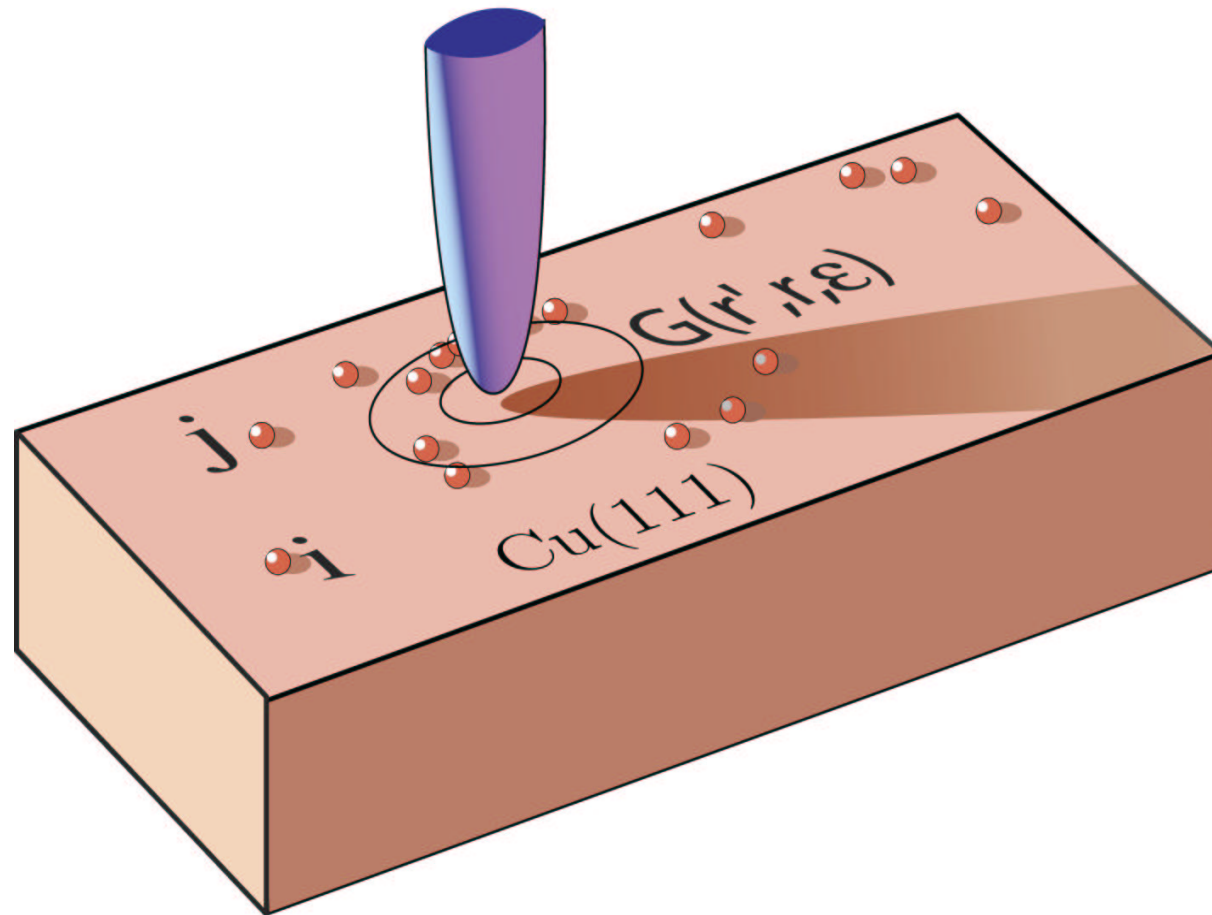


$$E(Q) = \frac{Q^2}{2C} - |Q|V_g, \text{ gdzie } Q \in \mathbb{N}$$

# lub kwantowy koral



# mikroskop tunelowy

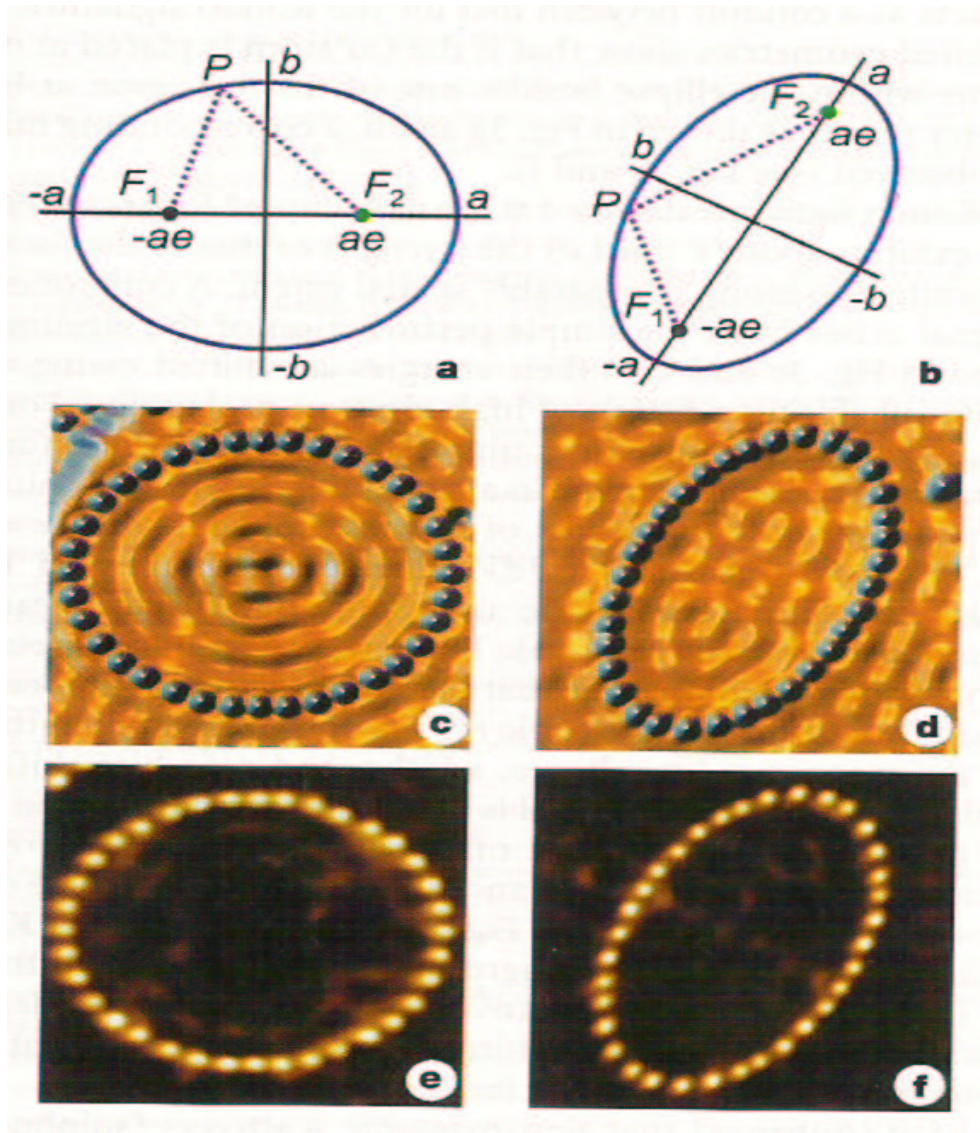


manipulacje na pojedynczych atomach

pomiar rozkładu ładunku w skali atomowej

atomy Co ułożono w kształcie elipsy na płaszczyźnie Cu

## Elektrony w kwantowym koralu

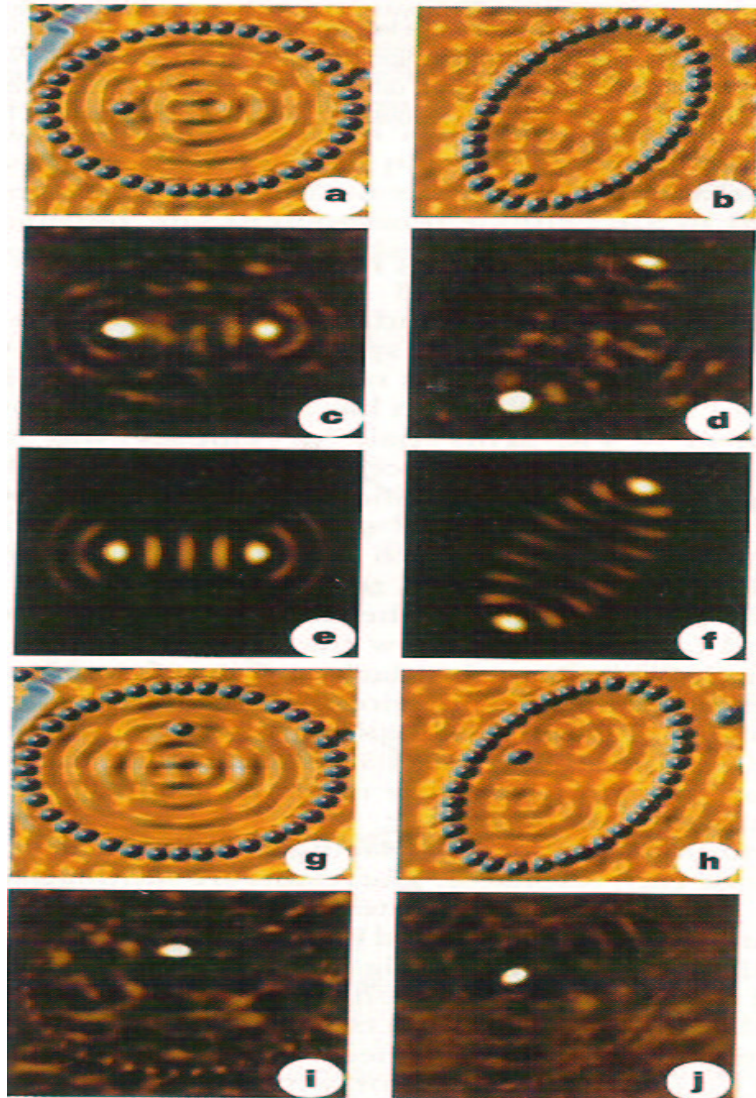


Elipsa ma dwa ogniska

$$a = 7.13 \text{ nm}$$

Elektrony na powierzchni Cu utworzyły prążki interferencyjne!

# Kwantowy mirage

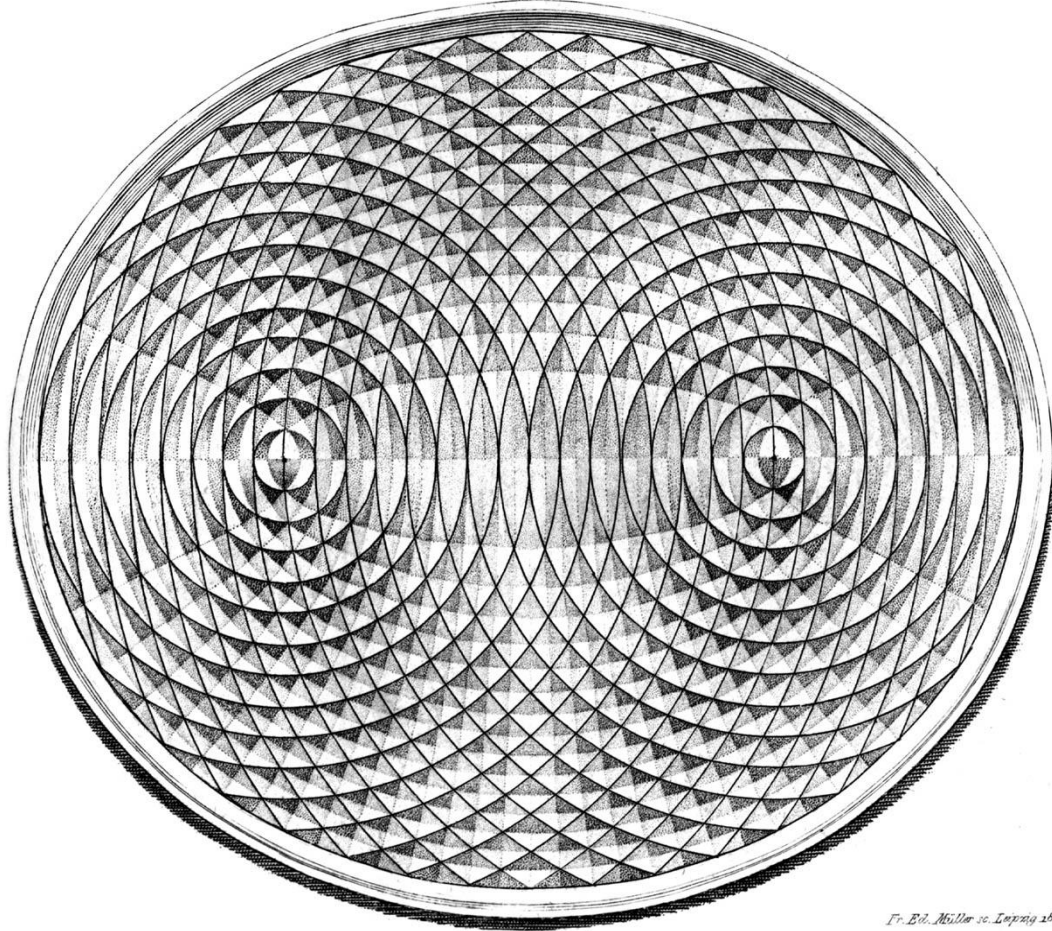


Atom Co w jednym z ognisk  
jego obraz widoczny w drugim,  
pustym ognisku!

Atom Co poza ogniskami

# Klasyczny mirage

*Fig. 51 p. 241*



*F. E. Miller sc. Leipzig 1823*

Bracia Weber - 1825

Doświadczenie z rtęcią

# Podsumowanie

- układy mezoskopowe
- nano-obwody
- nano-technologie
- ...

prawdziwy **kingsajz** do odkrycia przez fizyków

G. Milburn, “Inżynieria kwantowa”

# Pamiętajmy

**Fizyka w nanometrach jest kwantowa!**

$$\hbar = 6,6261 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$