

ביטים קוונטים והתכונות האוניברסליות של חומרים  
אמורפיים בטמפרטורות נמוכות

משה שכטר

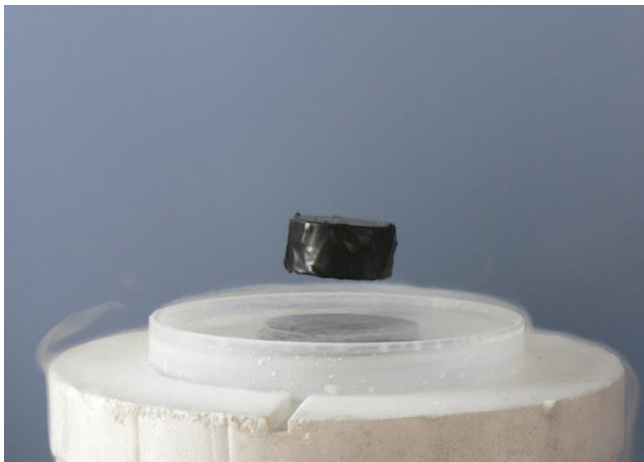
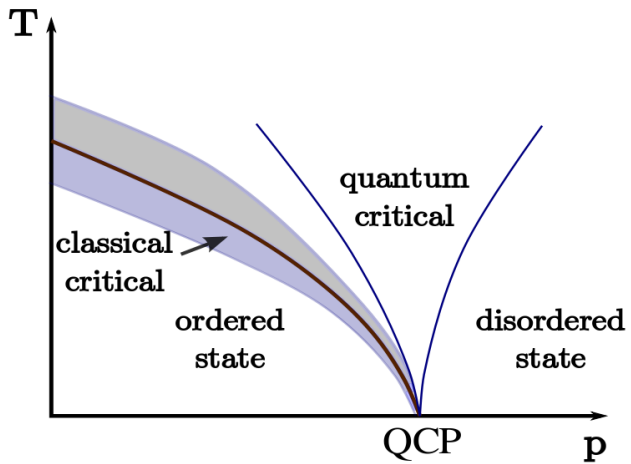
## חומר מעובה

- תכונות יסודיות של הטבע Emergence
- קשר בין העולם המתמטי לעולם הארצי  
(בין תאוריה לניסוי)
- טכנולוגיה עכשווית ועתידית

# חומר מעובה

Emergence • תכונות יסודיות של הטבע

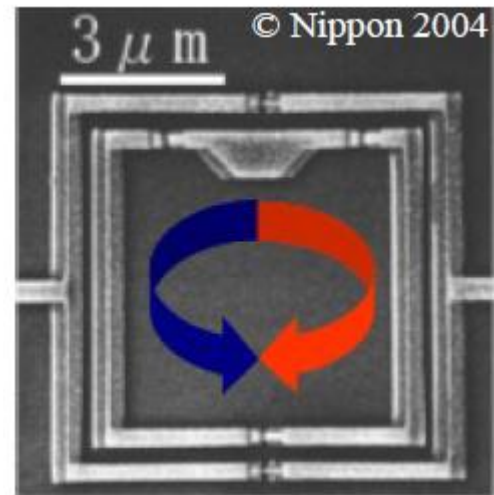
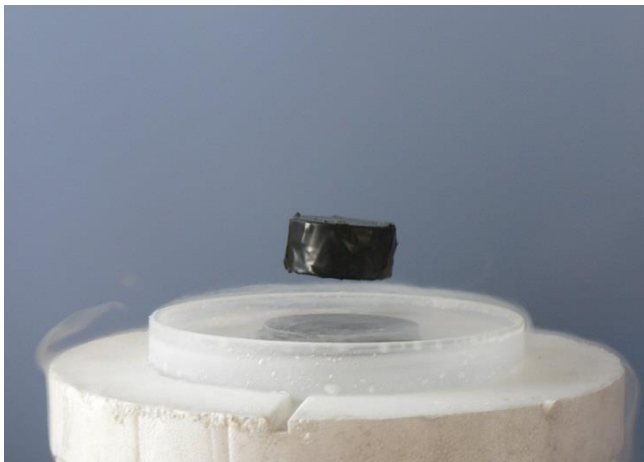
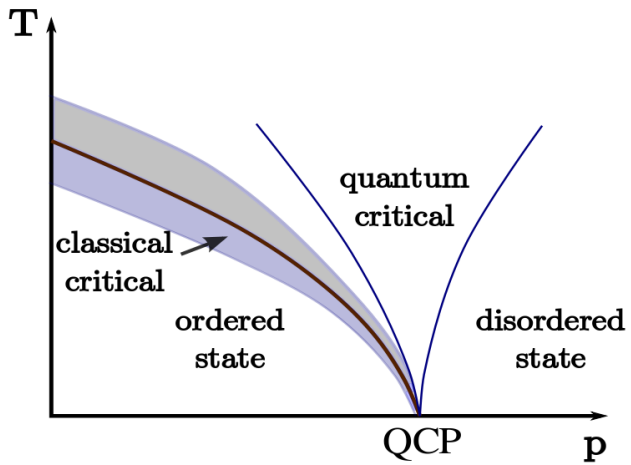
כלים ומושגים בהתאם לרמת הסיבוכיות



# חומר מעובה

## Emergence

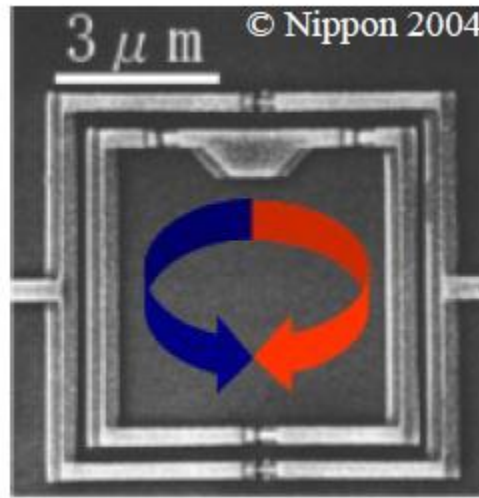
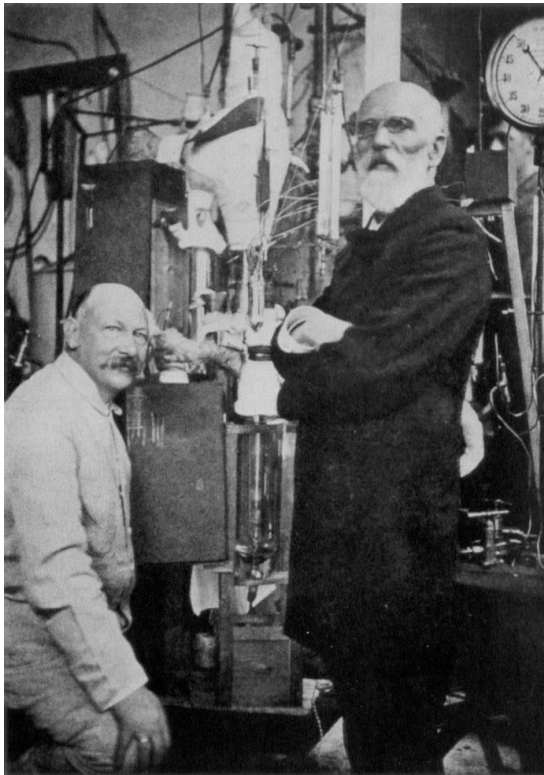
• תכונות יסודיות של הטבע



# חומר מעובה

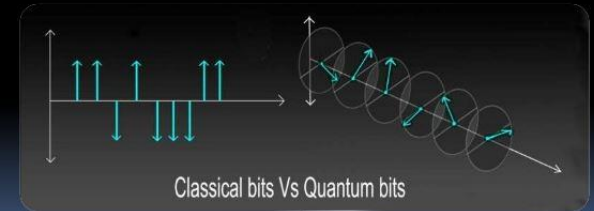
- Emergence תכונות יסודיות של הטבע
- קשר בין העולם המתמטי לעולם הארצי

(בין תאוריה לניסוי)



## Classical bit Vs Qubit:

- Classical bit: {0, 1}
- Qubit: {0, 1, superposed states of 0 and 1}

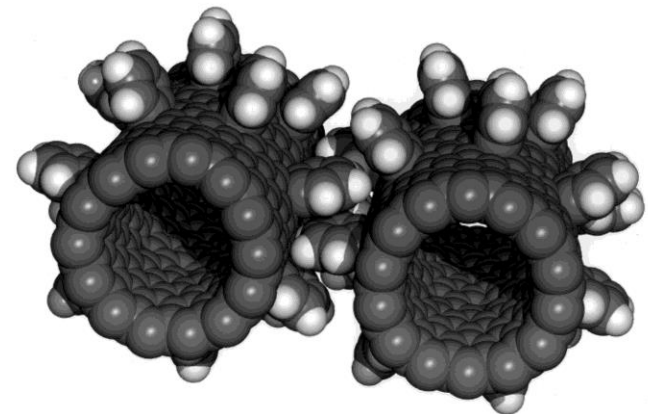


## חומר מעובה

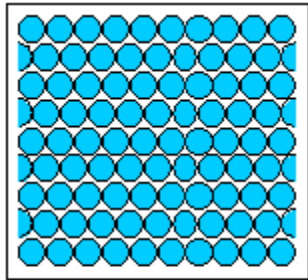
• Emergence תכונות יסודיות של הטבע

• הקשר ניסויי

• טכנולוגיה

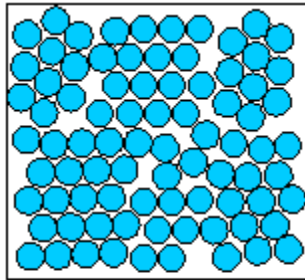


# ביטים קוונטים והתכונות האוניברסליות של חומרים אמורפיים בטמפרטורות נמוכות



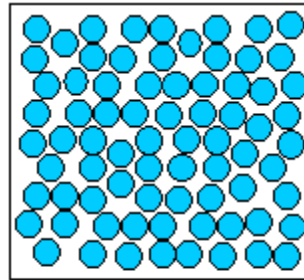
Single crystal

Periodic across the whole volume.



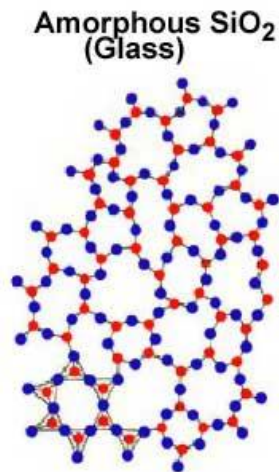
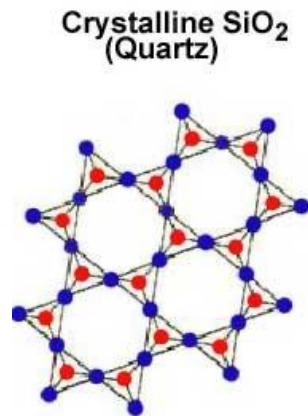
Polycrystal

Periodic across each grain.



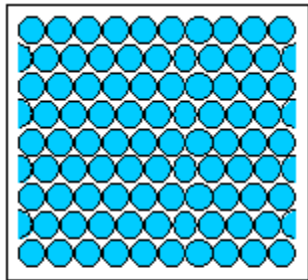
Amorphous solid

Not periodic.



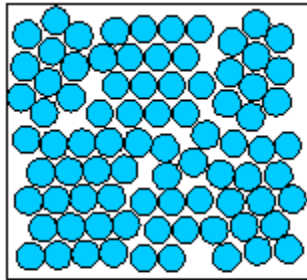
• Si • O

# ביטים קוונטים והתכונות האוניברסליות של חומרים אמורפיים בטמפרטורות נמוכות



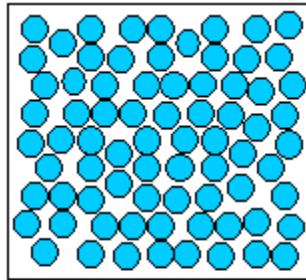
Single crystal

Periodic across the whole volume.



Polycrystal

Periodic across each grain.

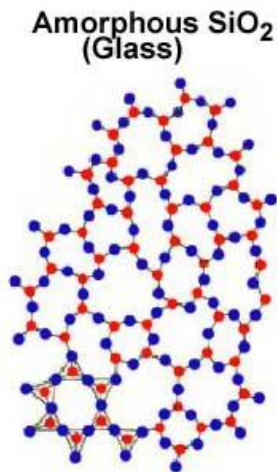
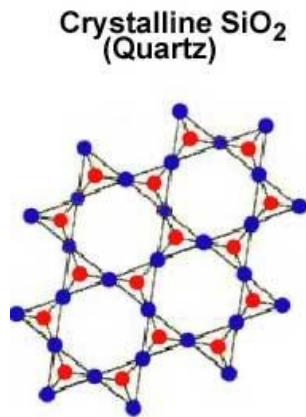


Amorphous solid

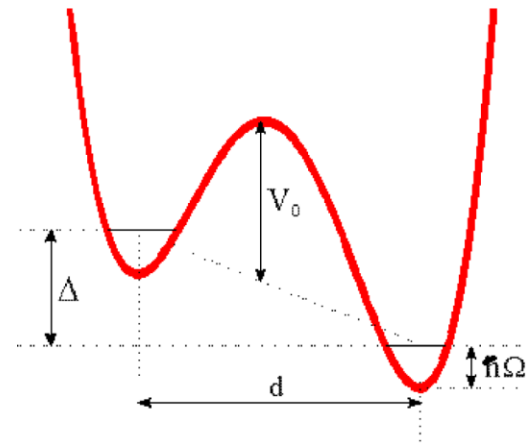
Not periodic.

$$|0\rangle \quad |1\rangle$$

$$\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$

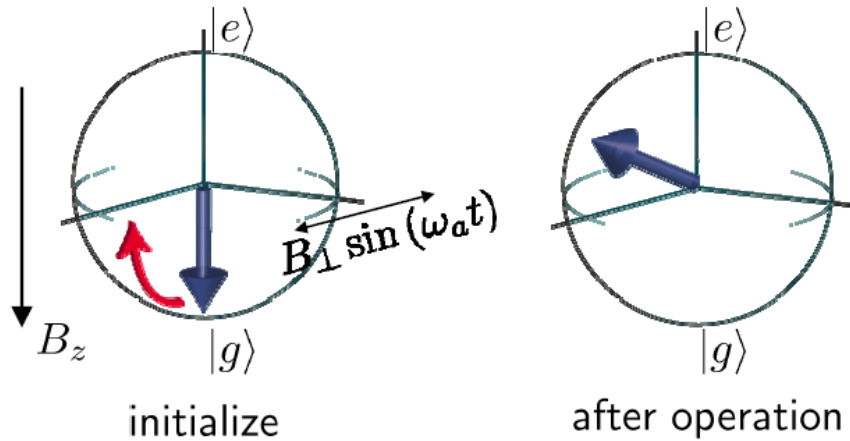


• Si • O





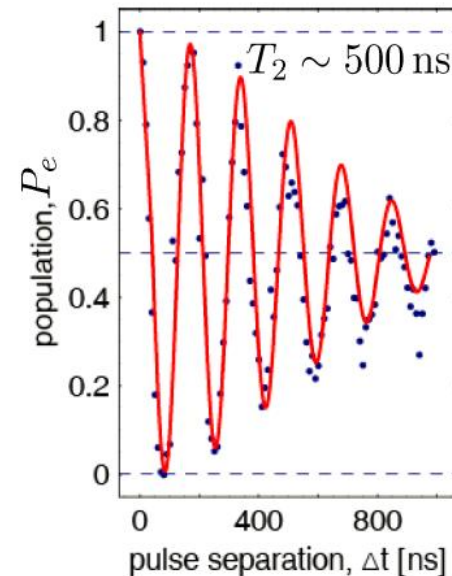
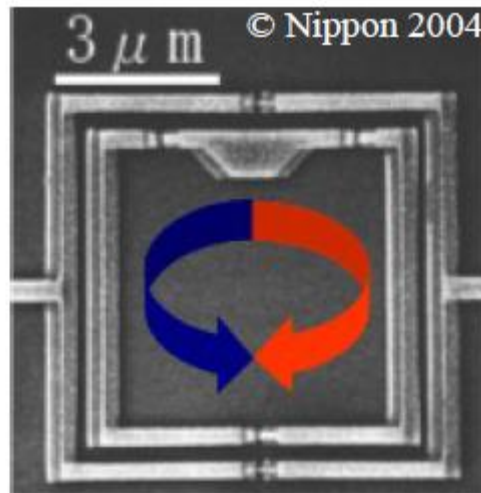
# ביטים קוונטים והתכונות האוניברסליות של חומרים אמורפיים בטמפרטורות נמוכות



$$|0\rangle \quad |1\rangle$$

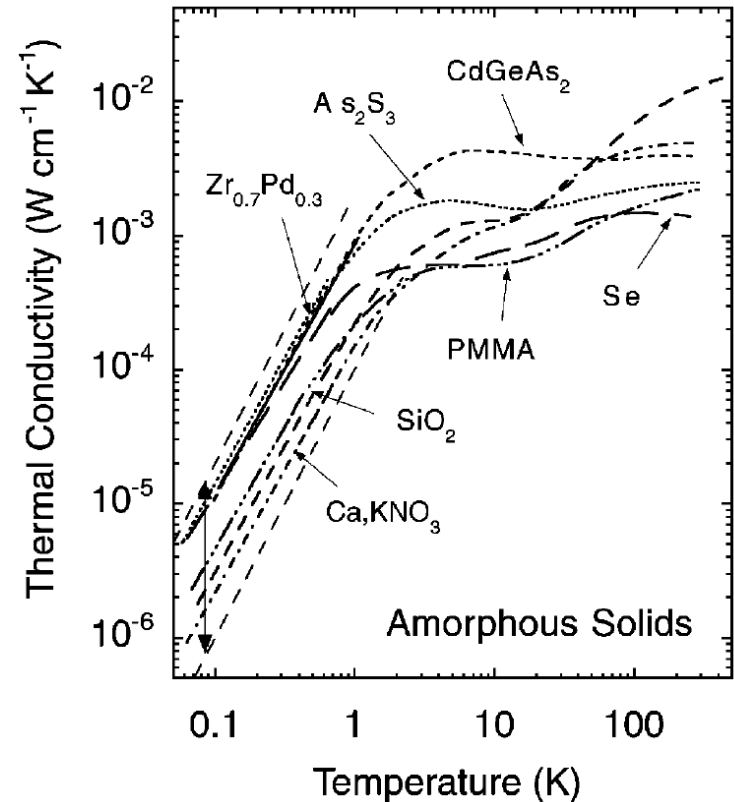
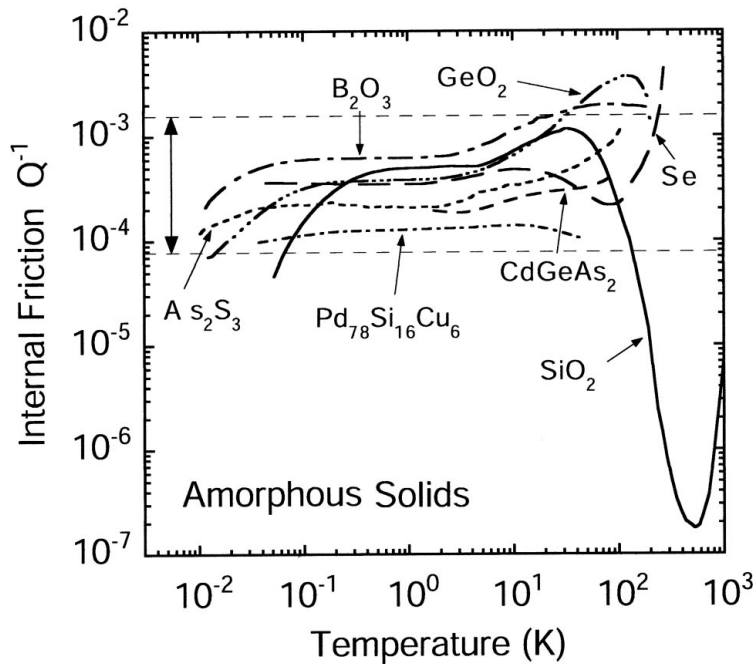
$$\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$

**FLUX  
QUBIT**

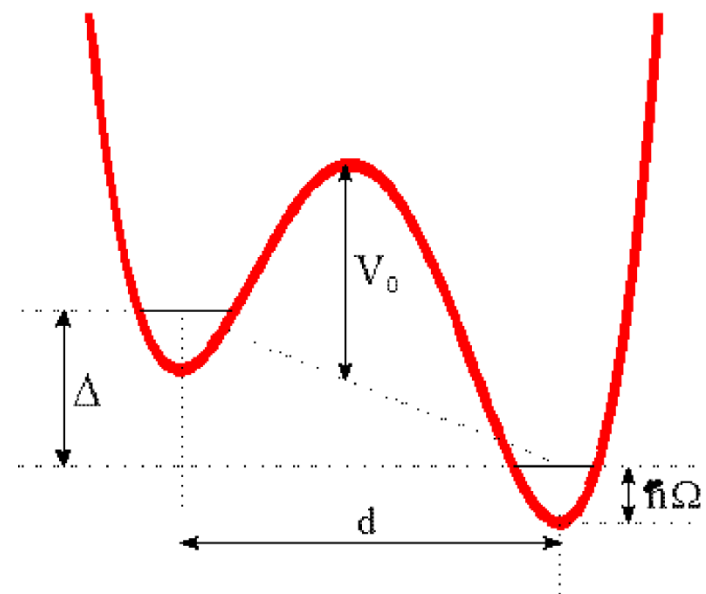
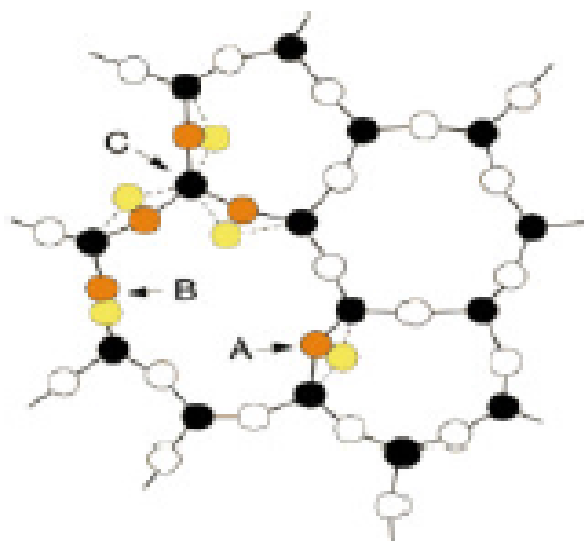


# אוניברסליות בטמפרטורות נמוכות בחומרים לא מסודרים

Below  $T = T_U \approx 3K$        $C_v \propto T^\alpha$      $\alpha \approx 1$   
 $K \propto T^\beta$              $\beta \approx 2$   
 $Q^{-1} = \lambda / 2\pi l \approx 10^{-3}$



# מערכות מנהור דו-מצביות



# Standard tunneling model

## 2-level systems

Below  $T = T_U \approx 3K$

$$\frac{1}{2} \begin{pmatrix} \Delta & \Delta_0 \\ \Delta_0 & -\Delta \end{pmatrix}$$

$$C_v \propto T$$

$$C_v \propto T^\alpha \quad \alpha \approx 1$$

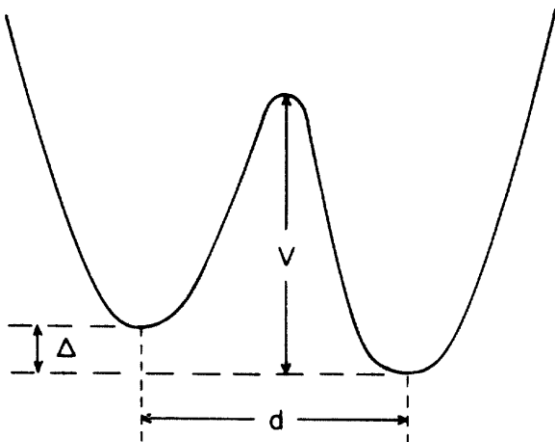
$$\kappa = \beta_0 T^2$$

$$\kappa \propto T^\beta \quad \beta \approx 2$$

$$P(\Delta, \Delta_0) = \frac{P_0}{\Delta_0}$$

$$Q^{-1} = \text{const}$$

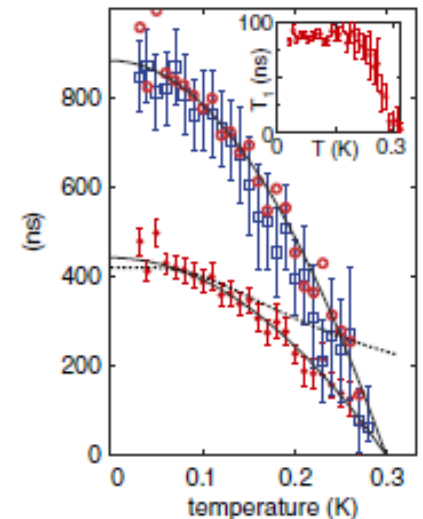
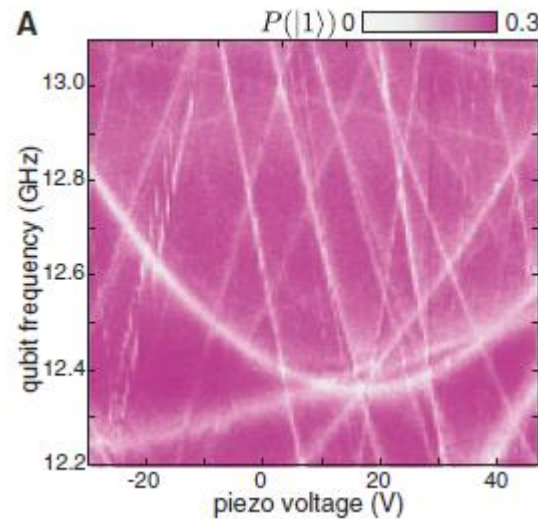
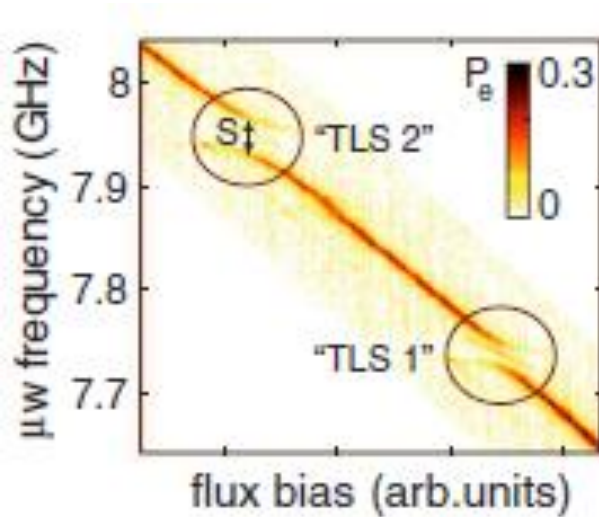
$$Q^{-1} = \lambda / 2\pi l \approx 10^{-3}$$



$$C_0 = \frac{P_0 \gamma^2}{\rho c^2} \approx \frac{0.1 n \gamma^2}{\rho c^2} \quad Q^{-1} = \pi C_0 / 2 \quad \beta_0 \propto 1 / C_0$$

1. What is tunneling?
2. Why is  $C_0 \approx 10^{-3}$  universal and small?
3. What dictates the energy scale of  $T_U \approx 3K$ ?
4. Magnitude of specific heat, non-integer exponents

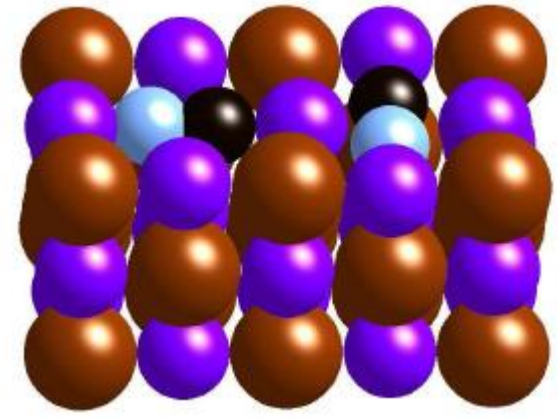
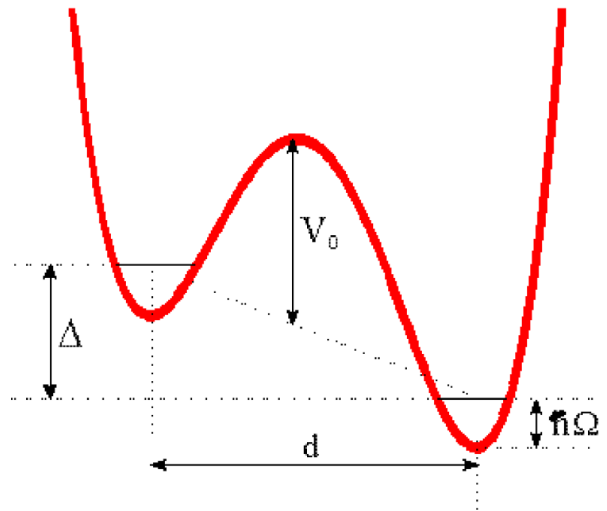
# Detecting single TLSs with superconducting qubits



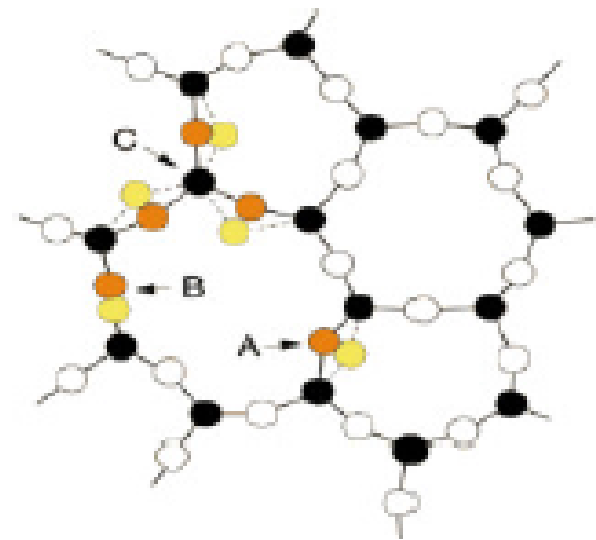
Lisenfeld et al., PRL 105, 230504 (2010)

Grabovskij, Peichl, Lisenfeld, Weiss, Ustinov, Science 338, 232 (2012)

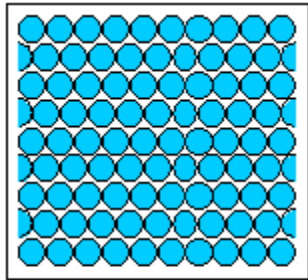
# שני סוגי מערכות מנהור דו-מצביות על פי סימטריה



המודל מסביר אוניברסליות  
 בחומרים אמורפיים  
 בטמפרטורות נמוכות, וניסויים  
 חדשים בקיוביטים על מוליכים

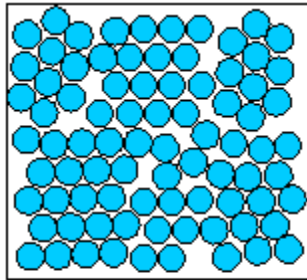


# בין מתמטיקה לעולם הארצי, תכונות יסודיות



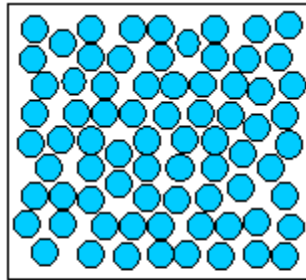
Single crystal

Periodic across the whole volume.



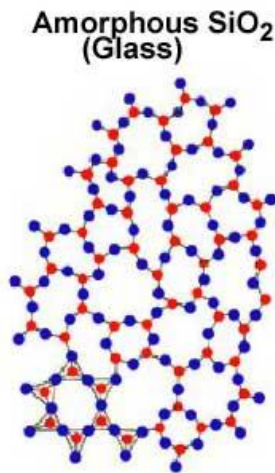
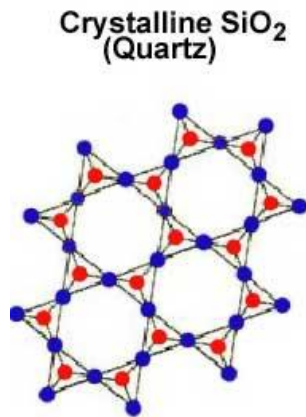
Polycrystal

Periodic across each grain.



Amorphous solid

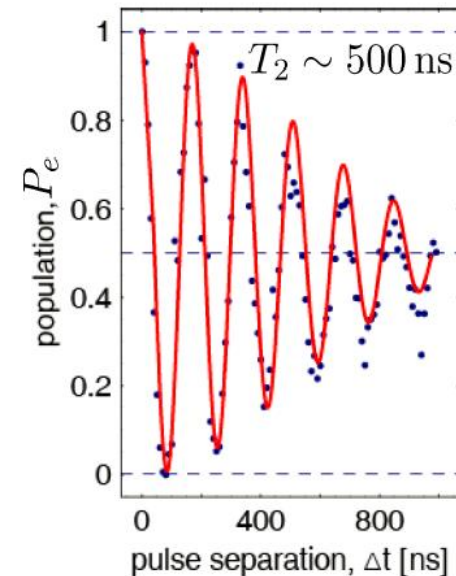
Not periodic.



• Si • O

$$|0\rangle \quad |1\rangle$$

$$\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$



# ביטים קוונטים והתכונות האוניברסליות של חומרים אמורפיים בטמפרטורות נמוכות

- תכונות יסודיות של הטבע Emergence
- הקשר נסיוני
- טכנולוגיה עתידית