

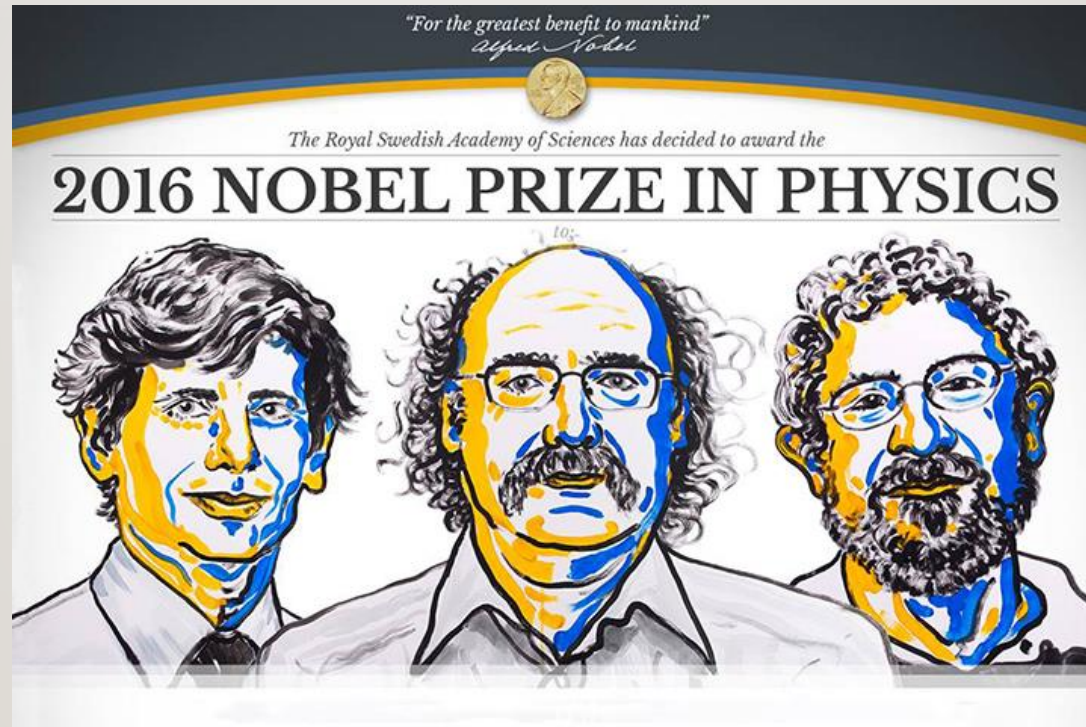
# פרס נובל בפיזיקה 2016 טופולוגיה ומכניקה קוונטית

---

יוסי אברון, הטכניון

# THOULESS, HALDANE & KOSTERLITZ

---



# טאולס ופיזיקה בשני ממדים

טרנזיסטורים דו-ממדים למחשבים קוונטים



Thouless and Haldane

מעבר פאזה מסוג חדש בשני ממדים



Kostrelitz-Thouless



## שני ממדים



בממד אחד אי אפשר לעקוף



בשני ממדים אי אפשר לקפוץ בחבל

# TKNN

---

---

## Quantized Hall Conductance in a Two-Dimensional Periodic Potential

D. J. Thouless, M. Kohmoto,<sup>(a)</sup> M. P. Nightingale, and M. den Nijs  
*Department of Physics, University of Washington, Seattle, Washington 98195*  
(Received 30 April 1982)

The Hall conductance of a two-dimensional electron gas has been studied in a uniform magnetic field and a periodic substrate potential  $U$ . The Kubo formula is written in a form that makes apparent the quantization when the Fermi energy lies in a gap. Explicit expressions have been obtained for the Hall conductance for both large and small  $U/\hbar\omega_c$ .

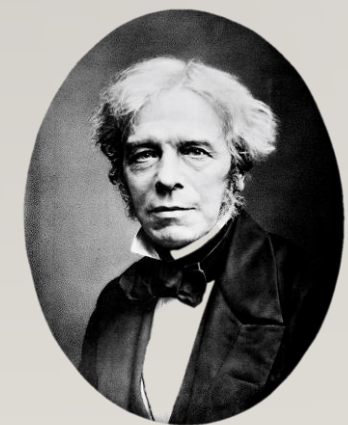
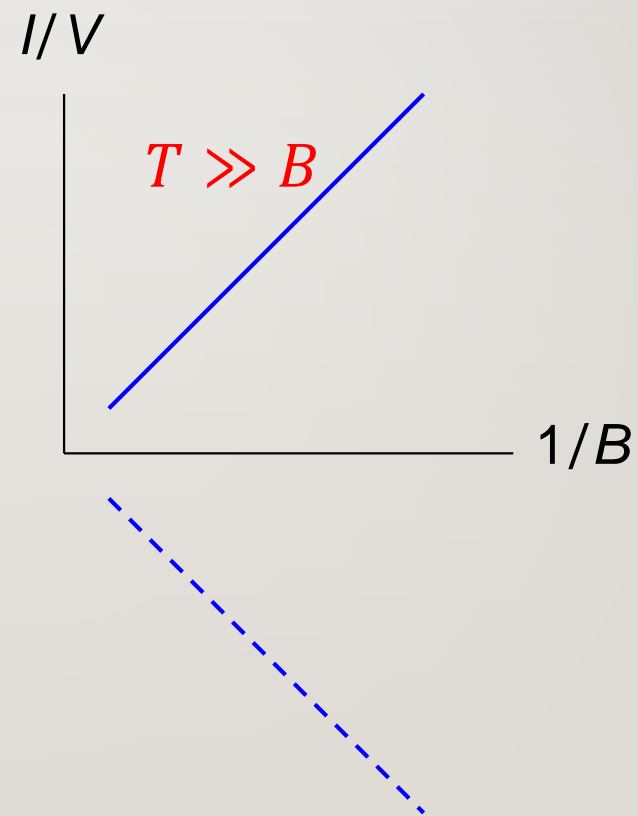
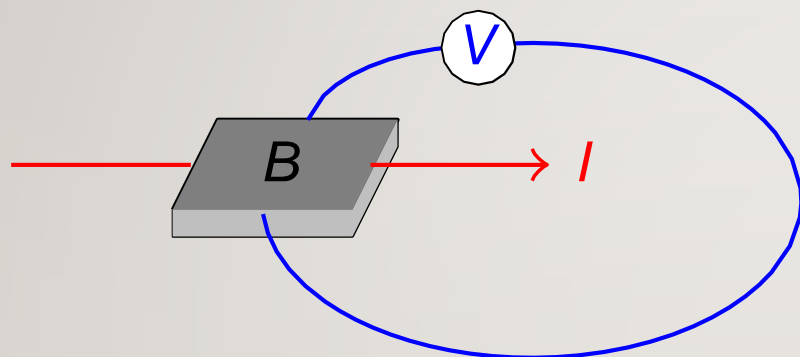
PACS numbers: 72.15.Gd, 72.20. Mg, 73.90.+b

The experimental discovery by von Klitzing, Dorda, and Pepper<sup>1</sup> of the quantization of the Hall conductance of a two-dimensional electron gas in

Laughlin's<sup>2</sup> argument that the Hall conductance is quantized whenever the Fermi energy lies in an energy gap, even if the gap lies within a Landau



# אפקט הול הקלאסי (1879) השגיאה המבריקה של מכסול



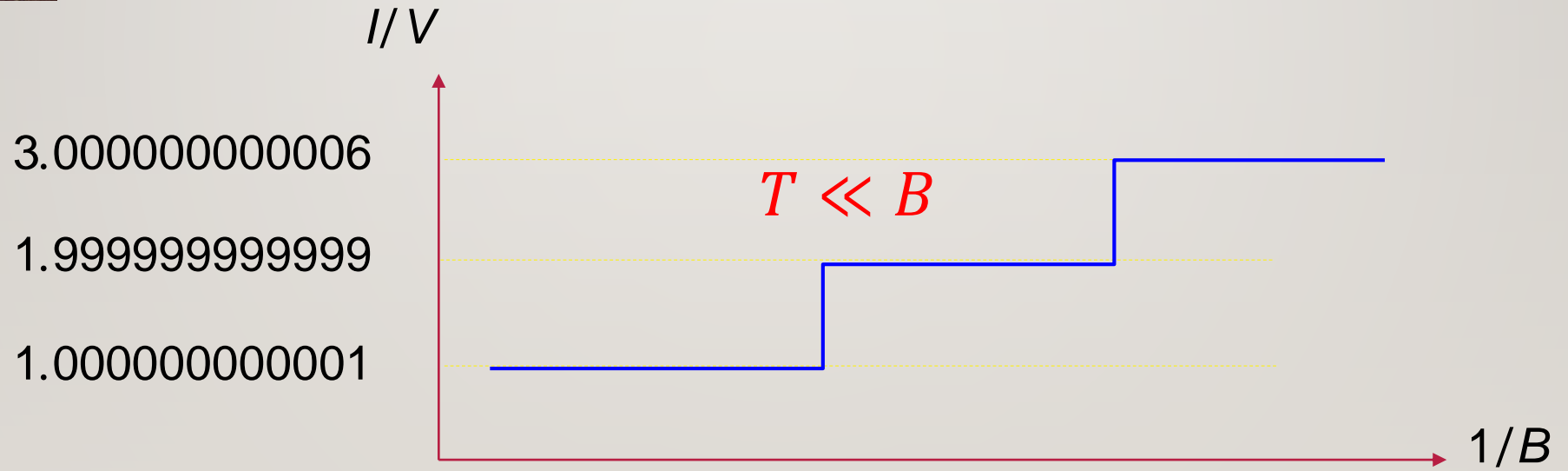


# אפקט הול הקוונטי

## פון קליצינג: פרס נובל 1985

$$\frac{h}{e^2} = \frac{\text{planck const}}{(\text{electron charge})^2} \sim 26 \text{ Kilo-Ohm}$$

יחידת התנגדות קוונטית



# סטנדרטים קלסים



שניה



קילוגרם



מטר



# קבועי היסוד של הטבע

---

$5.3 \times 10^{-44}$  s •

$1.6 \times 10^{-33}$  cm •

22 microgram •



מהירות האור c •

הקבוע של פלנק h •

קבוע הגרביטציה העולמי G •

# הגדרה קוונטית של שניה: מדויק, אוניברסאלי אבל בלי קשר פשוט לקבועי היסוד

---

אטום צסיום



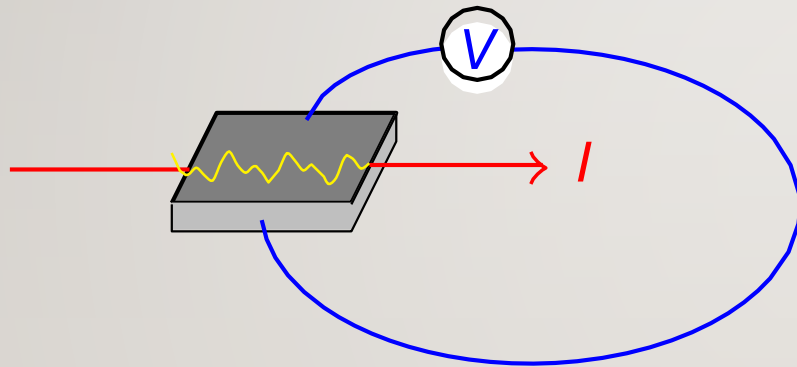
9,192,631,770 מחזורים בשנייה



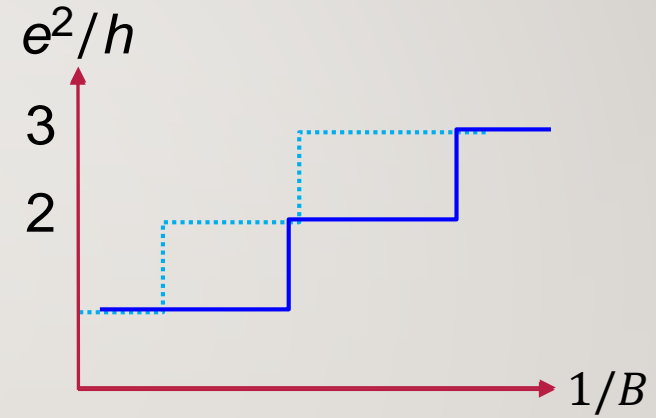
אלוהים ברא את כל אטומי צסיום זהים

# התנגדות חשמלית: אוהם

Ohm: QHE



כל התקן מלאכותי שונה מרעהו



קבוע יסוד שמאפיין מערכות מעשה אדם



# ביגלה וסטנדרט המוליכות

---



בוהר מול איינשטיין:  
האם אלוהים משחק בקוביות?

---



# הייזנברג ושרדינגר

---



$\Psi$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} i \\ 1 \end{pmatrix}$$

מצבים קוונטיים=וקטורים



עקרון אי הודאות

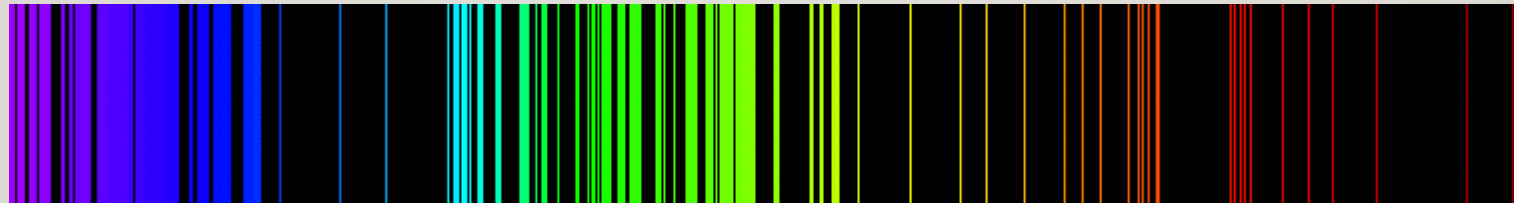
$$\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$

מדידים=מטריצות



# הקוונטיזציה של הייזנברג: ספקטרום של מטריצות

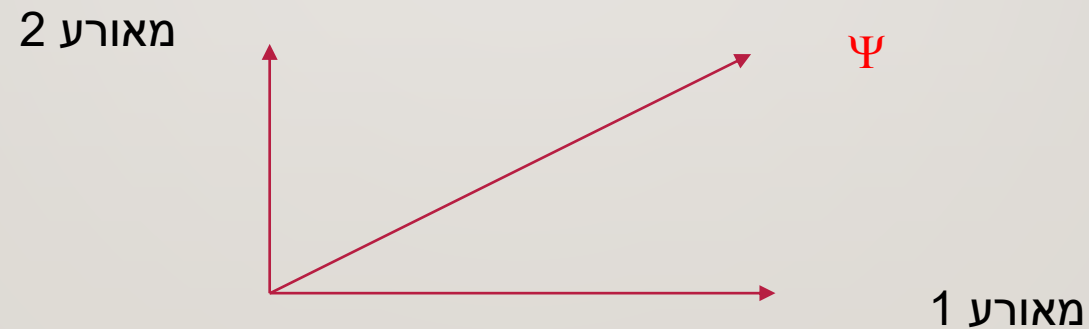
---



## שרדינגר ובוהר: אמפליטודת ההסתברות $\Psi$

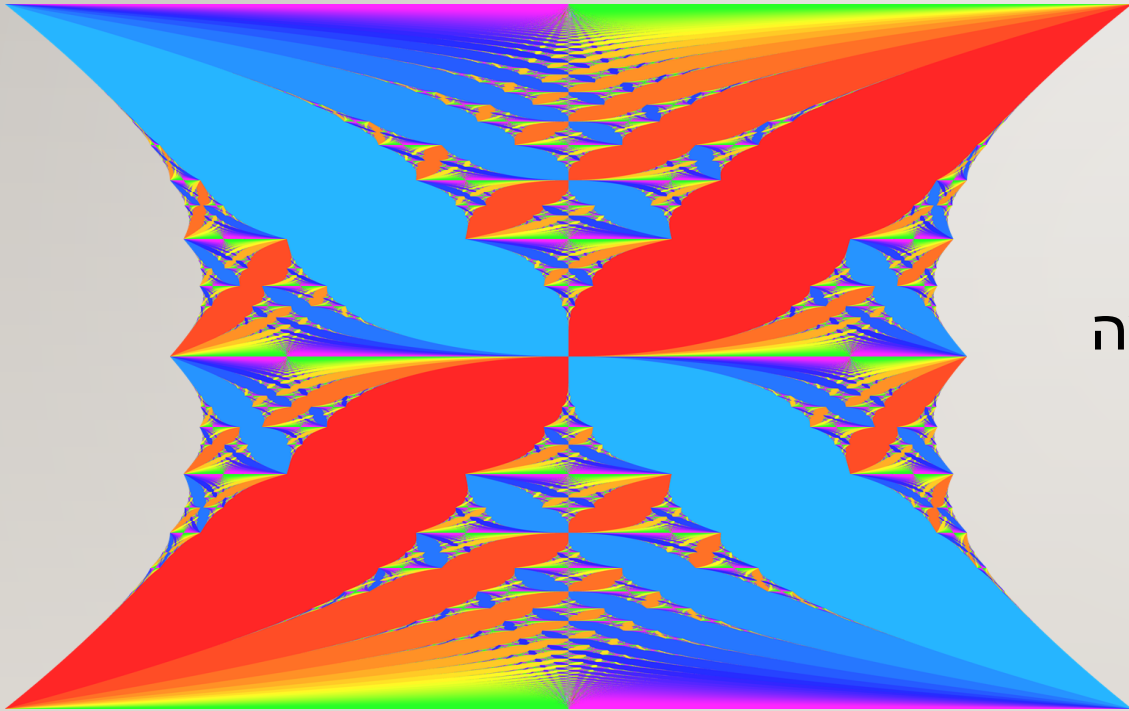
---

- הסתברות קלאסית: משקפת ידע חלקי
- מכניקה קוונטית: ידע מושלם מגולם ב  $\Psi$
- $\Psi$  היא אמפליטודת הסתברות--וקטור



# הפרפר של הופשטדטר: TKNN

---



- הצבעים מבטאים מוליכות הול שלמה
- הקוונטיזציה של מוליכות הול היא תכונה של  $\Psi$
- הקוונטיזציה אינה מבטאת ספקטרום של מטריצה

$\Psi, \Psi, \Psi$



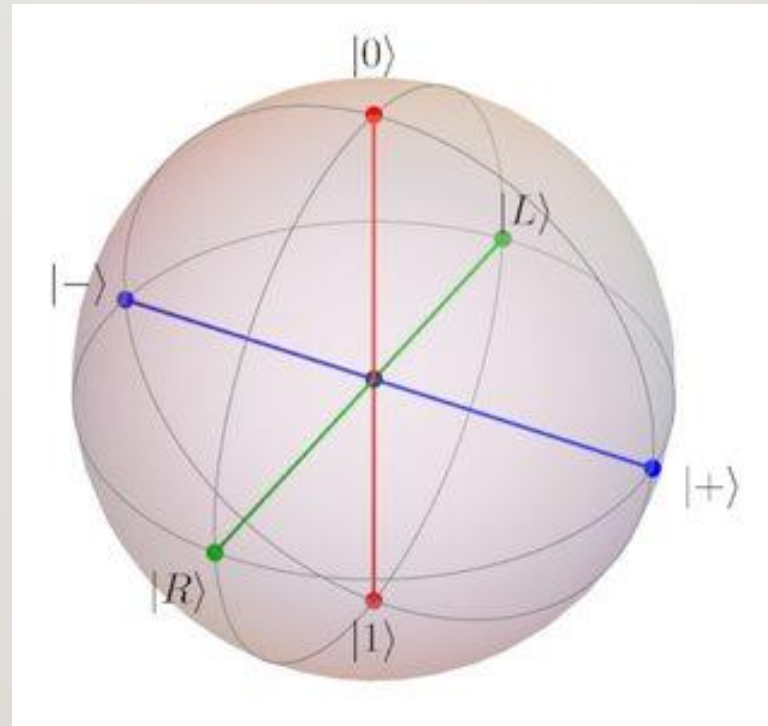
# טופולוגיה

---



# משפחות של פונקציות גל

---



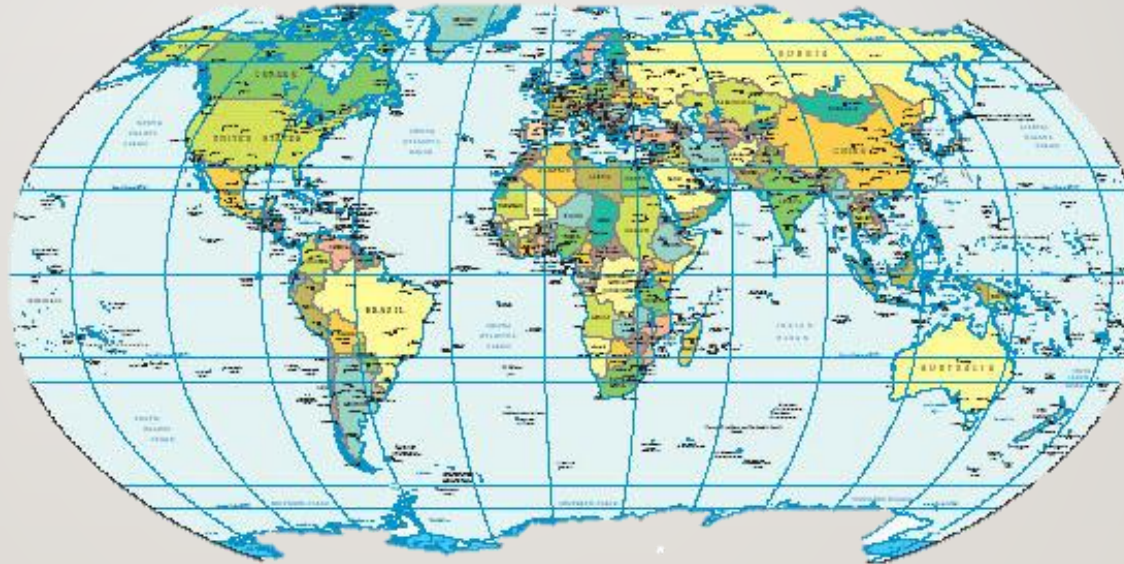


# שדות וקטורים וטופולוגיה

---



תלמים



אין תאריך ואין שעה בקטבים



הספר מסיביליה



# מה למדנו?

---

תכונות טופולוגיות של מצבים קוונטים באות לידי ביטוי במדידות של גדלים פיזיקאליים

