

**Вітаю усіх учасників конференції MicroCAD-2022,  
яка проходить у НТУ «ХПІ»!**

**Фредерік Данкан Майкл Голдей**  
Прінстонський університет (США)

- Навіть в такі важкі часи наука повинна розвиватися;
- Наука-інтернаціональна, тому усі великі досягнення належать суспільству;
- Україна несе велике спадкування науки від Радянського Союзу, але українські вчені та сама Україна зробила великий внесок у майбутнє науки;
- Надія на «розробку теоретичних основ квантового комп'ютера».

# Конференція MicroCAD-2022

*Ключове повідомлення, котре я хочу донести до вас:*

**Як тільки ми починаємо розуміти квантову механіку краще, нові (дивні) можливості матеріалів майбутнього та технології, то вони одразу проявляються.**

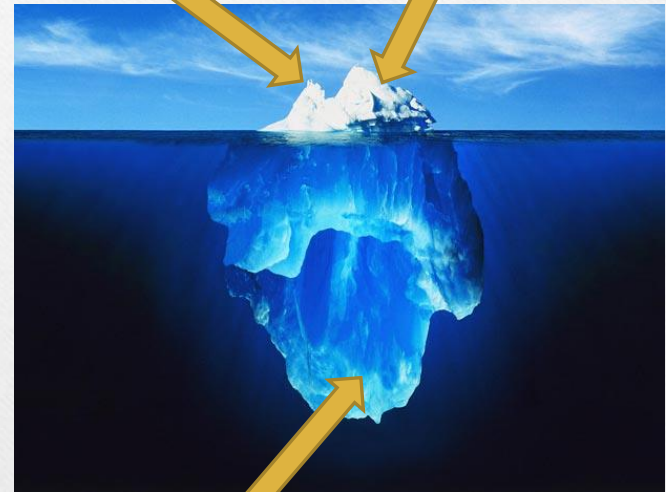
**Нове розуміння з'являється у ході виконання серії неочікуваних дивних відкриттів, які призводять до нових шляхів знайомства з квантовими матеріалами**

# Конференція MicroCAD-2022

- У 1980 «Фізики конденсованих систем» (які вивчають тверді та рідкі матеріали, на відміну від елементарних частинок або атомів) думали, що вони мають базове розуміння даних систем.
- В той час були відкриті незалежно один від одного два зразка з «дивними властивостями», які зараз ми називаємо різновидами конденсованого матеріалу, у яких квантова заплутаність відіграє ключову роль.

«Заборонена  
зона Голдея»  
спінові  
ланцюжки

Квантовий ефект  
Холла  
(Клаус фон Клітцинг)



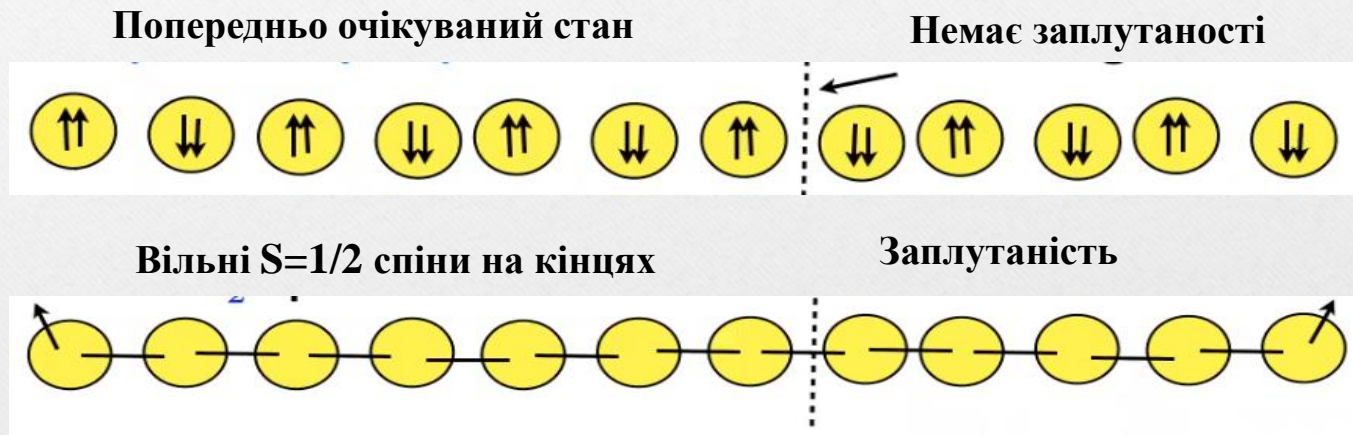
**Багато інших різновидів  
«топологічної квантової  
матерії», які були знайдені в  
останнє десятиліття**

## Конференція MicroCAD-2022

- Це були зовсім неочікувані результати, які здивували не тільки своїх винахідників, але й інших;
- Так як ніхто не знає про те, що дані матеріали чекають на своє відкриття, необхідна «вдача», щоб зробити експеримент правильним шляхом чи продумати проблеми, які можуть виникнути;
- Ми не знаємо, хто зробить такі відкриття чи де вони зможуть відбутися, крім того, що вони відбудуться у місці, яке активно приймає участь у інтернаціональній науці та зберігає наукові традиції.

# Конференція MicroCAD-2022

- У 1981 році я виявив, що  $S=1$  ланцюжок спінів міг бути у новому стані, який зараз називається найпростішим із топологічних станів



**AKLT модель для неочікуваного топологічного стану**

# Конференція MicroCAD-2022



Заплутана лінія людей, які тримаються за руки, залишає руку без пари на кінцях цієї лінії



Новий стан перетворився на перший самий простий зразок «топологічної матерії» (який був раніше досліджений професором фізики Сяо-Ган Вэнь )

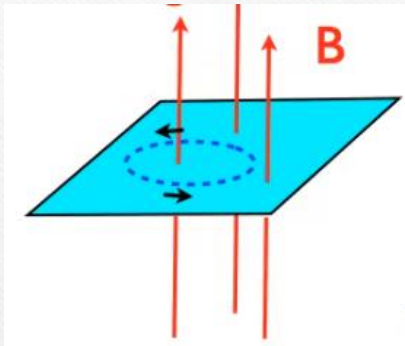


# Конференція MicroCAD-2022

Квантові рідини Холла – найяскравіші зразки топологічного стану

*Початок було знайдено у дуже великих магнітних полях*

*Магнітне поле*



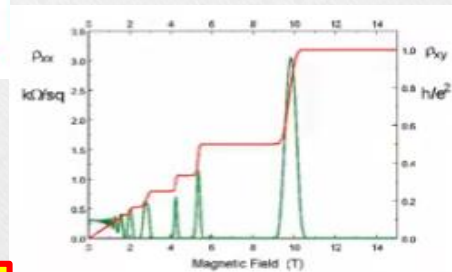
Провідність Холла

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

*Ціле число      основні константи*



*Клаус фон Клітцинг  
(Нобелівська Премія у 1985 році)*



*Старий Кілограм  
(платинова вага,  
яка зберігається в Парижі)*

***У теперешній час частина  
пристроїв нових систем з 10  
листопада 2018 року  
(заміна кілограма у Парижі)***



*Новий Кілограм («Дрібний баланс»  
при використанні  
квантового ефекту Холла)*

# Конференція MicroCAD-2022

Невдовзі за цілочисельним квантовим ефектом Холла виникла ще більша головоломка...

Дениел Цуї



Роберт Лафлін

- Дробовий квантовий ефект Холла;
  - Більш багата топологія;
- Нобелівська Премія у 1999 р.

$$\Psi = \prod_{i < j} (z_i - z_j)^m \prod_i e^{-\frac{1}{2} z_i^* z_i}$$

Хвильова функція Лафліна

(дуже просто, але достатньо неочікувано!)

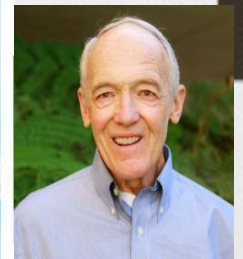
$$\sigma_H = \frac{p e^2}{q h} = pq \frac{(e/q)^2}{h}$$

ціле число

дробовий заряд



Хорст Штьормер



Артур Госсард

Пристрій, (розроблений Артуром Госсардом), в якому Штьормер та Цуї винайшли дробовий квантовий ефект Холла.



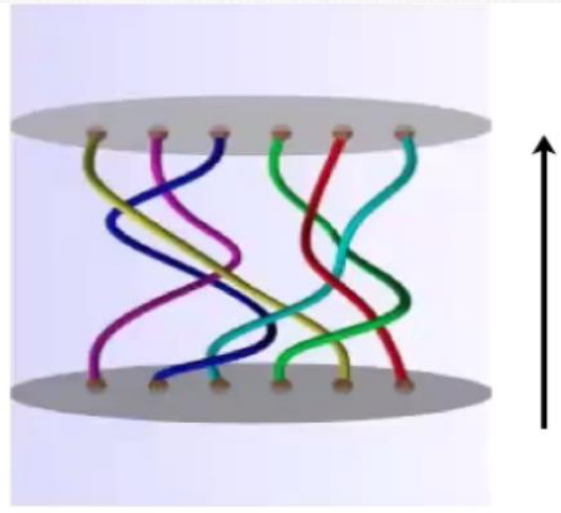
## Конференція MicroCAD-2022

Стан Лафліна та інші дробові квантові стани Холла є станами, які називаються «Абелевими».

- Найбільш визначними ніж «Абелевий» квантовий стан Холла є «Неабелевий стан», першовідкривачем якого є Мур і Ред.
- Вони можуть сховати «квантову інформацію» у своїй запутаній структурі;
- Деякі з них теоретично підтримують основи «універсального квантового комп'ютера», але ж це не було продемонстровано експериментально.

# Конференція MicroCAD-2022

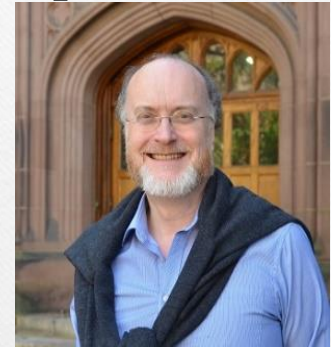
**«Неабелевий стан»: приховування та оброблення квантової інформації**



Час



Грег Мур



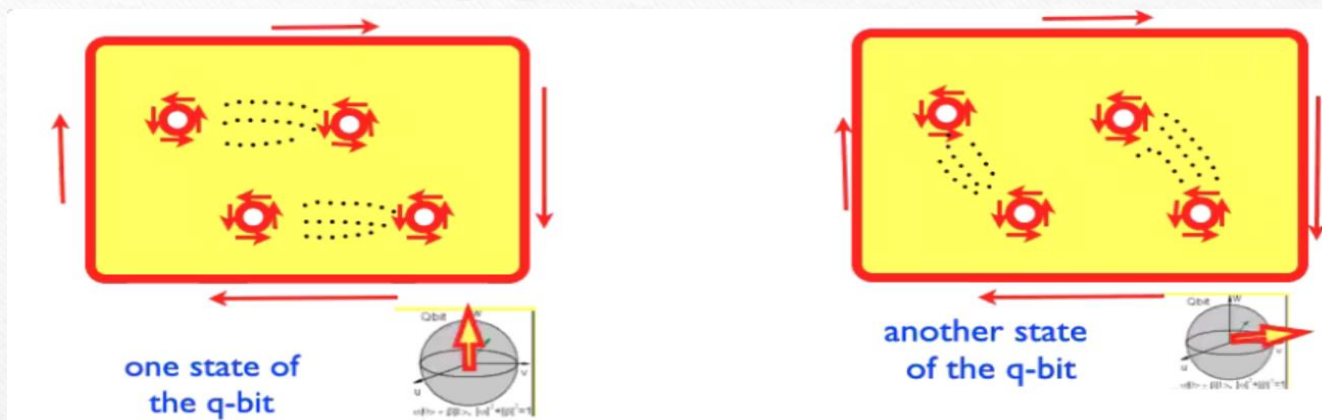
Нік Ред

- Дефекти (вихри) введення: приховані qbits ( $(N-1)/2$  q-bits для  $N$  вихрів у найпростішому випадку;
- «Обплетення» їх допомагає обробляти закодовану інформацію



Олексій Кітаєв

# Конференція MicroCAD-2022



Один стан  
q-bit

Інший стан  
q-bit

- Така конфігурація має один внутрішній «прихований» q-bit стан, який не може бути підданий впливу не зводячи вихори разом;
- Інформація «ховається» в заплутаності зразка;
- Ним можна маніпулювати захищеним способом, шляхом руху вихрів один коло одного, тримаючи їх далеко один від одного;
- Інформація, що обробляється (комп'ютерна програма) шляхом руху («обплетення») вихрів один коло одного з запрограмованою послідовністю.
- Квантова механіка **«тестує всі рішення проблеми»** в той же час!

## Конференція MicroCAD-2022

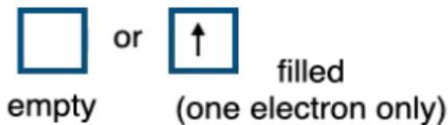
- Стан, зазначений як «Неабелевий» квантовий стан Холла був досліджений експериментально, але мав великі труднощі в роботі (необхідні ультра-високі магнітні поля, ультра-низькі температури і т. ін.).
- Але ж пізніше було визначено, що його примітна поведінка може проявитися також в інших системах;
- обплетення Майорани на нульових режимах виступає основною ідеєю в зусиллях (додаткове фінансування 1 млрд. \$) Microsoft досягти «топологічної захищеності» q-bits.

До теперішніх пір новини, які надходили з Microsoft здавалися збентежливими, без успіхів, також наступив передбачений рік як «рік обплетення» (2017) та пішов без усіляких новін про успіх, але, здається вони, можливо, трималися в стриманому вигляді та прогрес відбувся...

# Конференція MicroCAD-2022



Етторе Майорана  
1937 р.н.

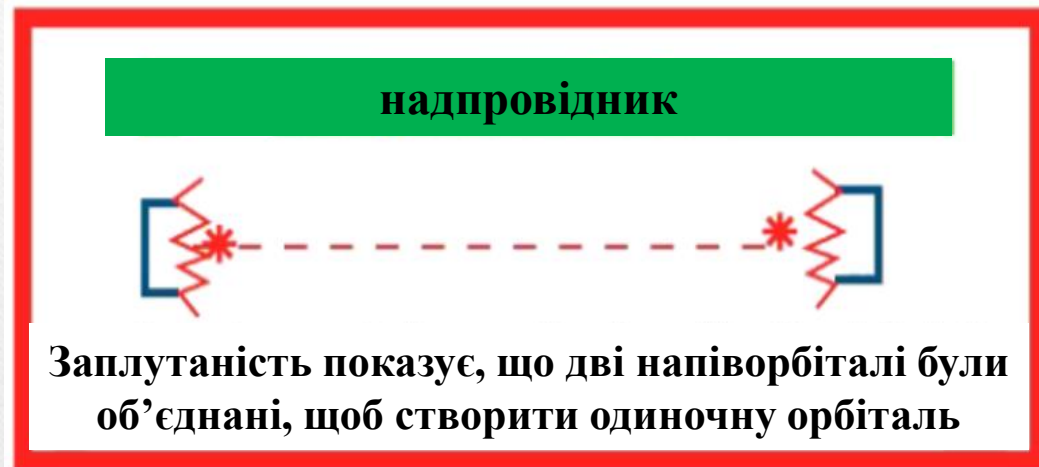


Пустий Заповнений (тільки один електрон)

*Використовує магнітне поле для того, щоб уникнути ↓*

У 1937 році перед таємничим зникненням Етторе Майорана поглибив наші знання стосовно ферміонів, у частині застосування принципу виключення Паулі.

Це знайшло застосування у надпровідності, а зовсім недавно у топологічній квантовій матерії.



Заплутаність показує, що дві напіворбіталі були об'єднані, щоб створити одиночну орбіталь

- Це призводить до чудової можливості розщеплення одиночної орбіталі («квантова коробка» для електрона) на дві «напіворбіталі» чи метод Майорана на нульових режимах, наприклад, за наявності надпровідника;
- Саме в цьому заключається одна спроба Microsoft побудувати «топологічний квантовий комп'ютер»

## Конференція MicroCAD-2022

- «Прекрасна мрія» квантових фізиків про топологічно захищений q-bit надихала багатьох фізиків, як одна з відповідей, яка може інтелектуально задовольнити проблему масштабованості та міцності проти декогеренції у квантовому комп'ютері.
- Звичайно, як практичним людям, технологам та підприємцям необхідно мати певний скептицизм стосовно інвестицій у научні «прекрасні мрії».

*(реалізація мрії стосовно термоядерної енергії зайняла багато часу...)*

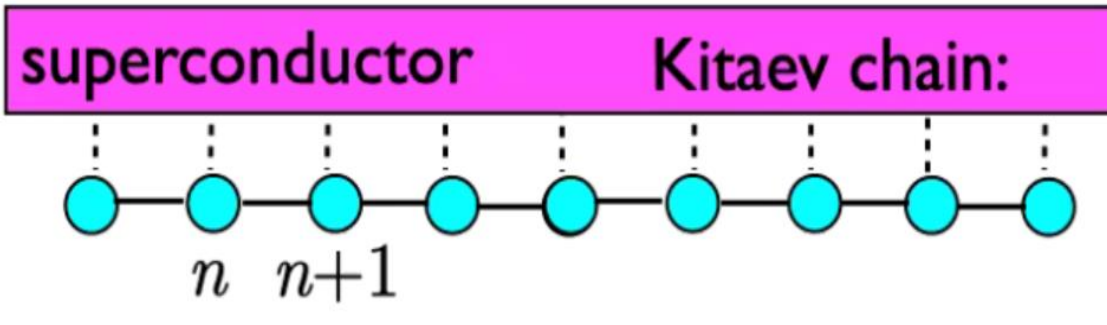
Однак, я, особисто, вірю, що це реальна мрія...

# Конференція MicroCAD-2022

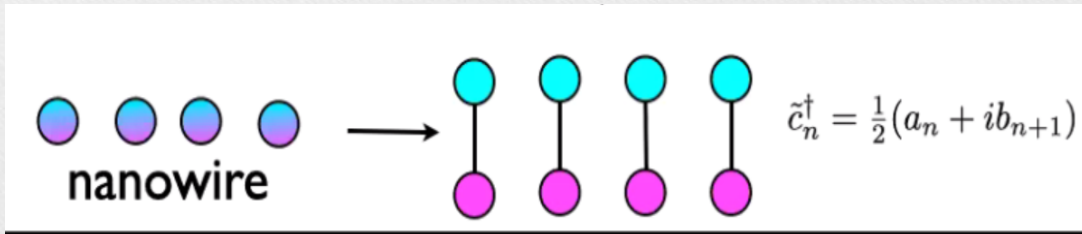
## Модель надпровідного дроту Р-хвилі (Кітаєв)

Надпровідник

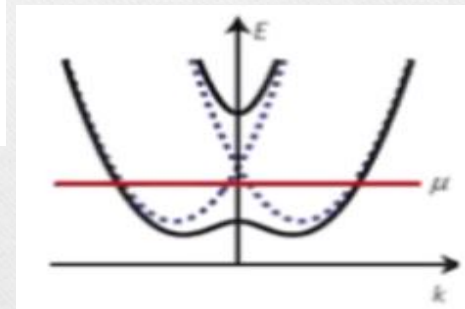
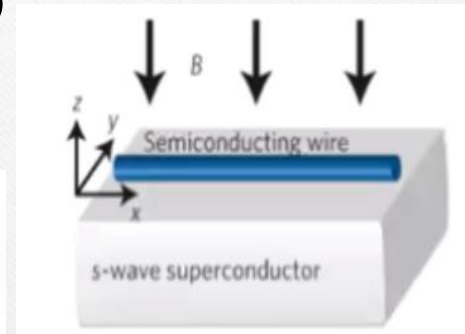
Ланцюг Кітаєва



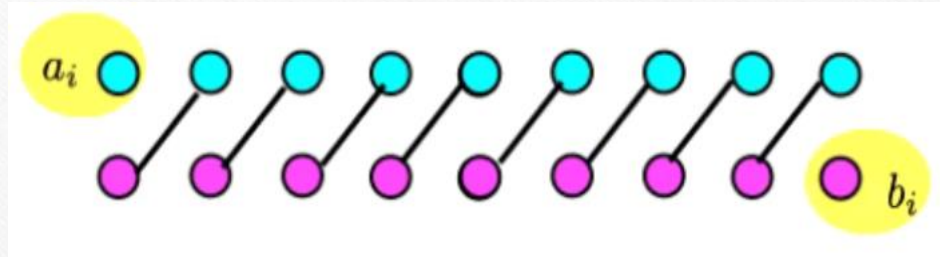
З'єднання з надпровідником обертає електроний заряд та спліта відповідно до кожного стану електонів на два нейтральних ферміона Майорана



Нанодріт



# Конференція MicroCAD-2022



Вони можуть рекомбінувати із сусідніми елементами через зв'язок із надпровідником

**Залишаючи вільними Майорана в нульовому режимі (як вихори) на кінцях**

**(Як мій старий «ланцюжок спінів»)**





## Конференція MicroCAD-2022

- Це тільки один з підходів (Microsoft) у питанні «святого Грааля» квантового комп'ютера;
- Були впробувані інші цікаві підходи та багато учасників робили великі інвестиції в даній гонці!

*Transmon q-bit*

*nv-center q-bit*

*ion-trap q-bits*

*etc.*

*Великий прогрес полягає у створенні  
не захищених q-bit !*

**Я не знаю, що нарешті з'явиться, але ми обов'язково навчимося багатьом новим речам у «другій квантовій революції»!**

# Конференція MicroCAD-2022

**Висновки (мораль): необхідні три складові, щоб взаємодіяти один з одним!**

**Розробляти модель  
для того, щоб  
можна було б  
зрозуміти, яка  
несподівана фізика  
в принципі може  
виникнути**

**Мати глибоке  
математичне  
розуміння того, які  
принципи можуть  
пояснити фізичні  
процеси, які  
відбуваються у  
моделі.**

**Використовувати  
сучасне  
матеріалознавство,  
щоб можна було  
перенести теорію у  
реальність**

**Все, що нам потрібно  
- це вміти розмовляти  
один з одним, навіть,  
якщо це важко**

# Конференція MicroCAD-2022

## Мотиваційне звернення до студентів



*Ви не повинні бути «геніями», таким, як , наприклад, Ейнштейн*

- Вам потрібна просто **ВДАЧА!** Щоб зіткнення з чимось неочікуваним зараз, обернулось важливим відкриттям у майбутньому;
- Мати розуміння того, що ви досліджуєте щось чудове;
- Обов'язково дотримуватися своєї ідеї та боротися за неї.