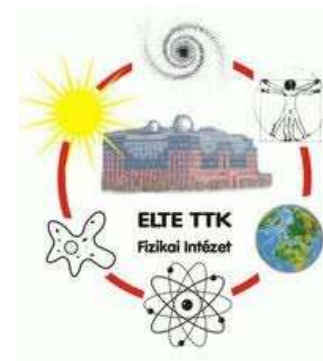


A rejtélyes Majorana-részecske nyomában

Széchenyi Gábor

Wigner FK, SZFKI, Kvantumoptika és Kvantuminformatikai
Osztály
ELTE, Anyagfizikai Tanszék



Atomoktól a csillagokig, 2020. december 10.

Majorana-részecskék hipotézise

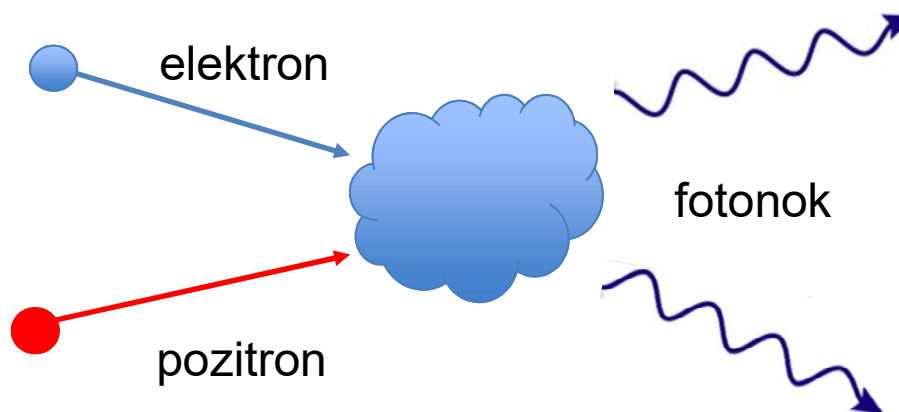
Ettore Majorana
1906 – 1938?



1937: Részecske, ami saját maga **antirészecskéje**

Antirészecske:

- **Első részecske-antirészecske pár elektron(1897) - pozitron(1932)**
- **Azonos tömegű**
- **Ellentétes töltésű**
- **Annihilációs kölcsönhatás**



Sótér Anna: Mérlegen az antianyag Atomcsill, 2015. március 12.

Keressük, de nem találjuk a „Majoranákat”

Majorana-fermion: Részecske, ami saját maga antirészecskéje

Részecskék csoportosítása

Fermionok:
(félegész spinű)

Elektron (1897) – Pozitron (1932)

Proton (1919) – Antiproton (1955)

Neutron (1932) – Antineutron (1956)

Neutrínó – ???

...

Bozonok:
(egész spinű)

Foton

Pion

...

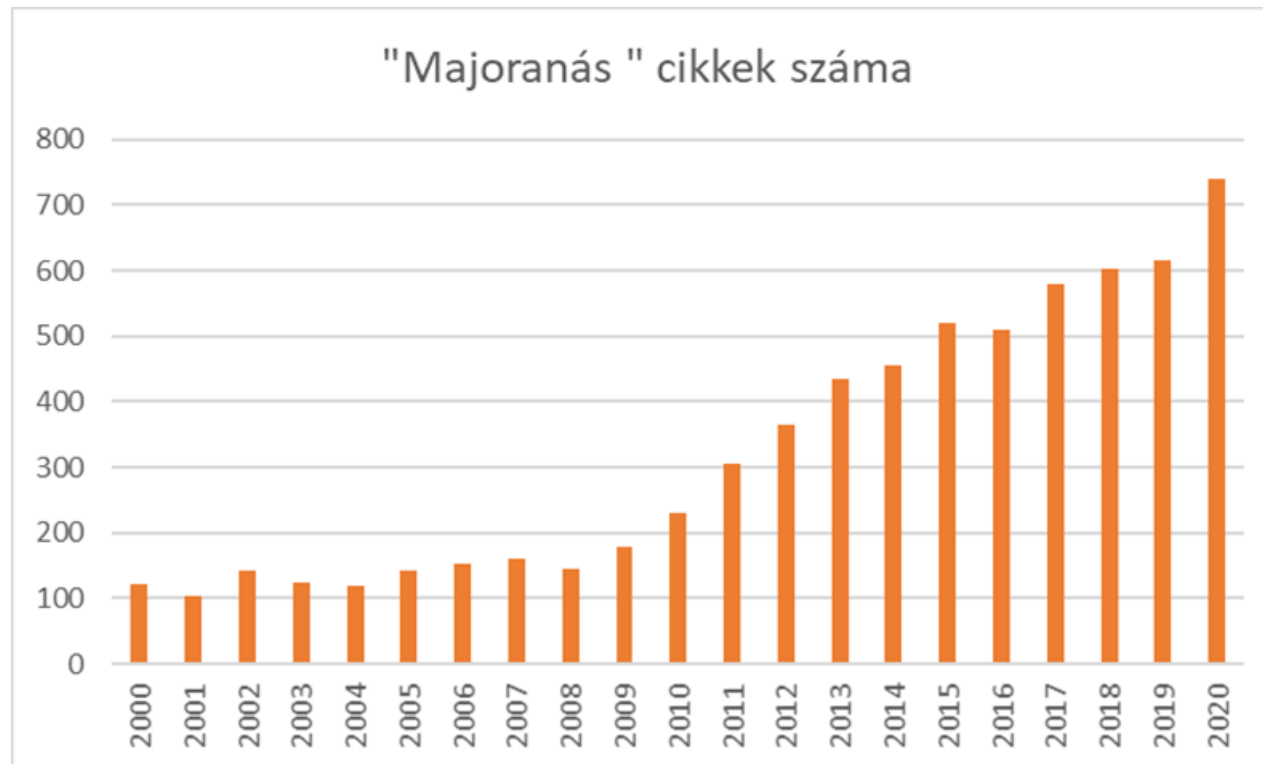
Máig nem találtak Majorana-fermionokat, bár kutatják, hogy esetleg a neutrínók azok.

Szilárdtestfizika beszáll a keresésbe

Holland kutatók úgy vélik, végre bizonyítékot találtak a saját maga antianyagaként is szolgáló Majorana-fermion létezésére.

A Majorana-fermion létét 75 évvel ezelőtt jóslták meg, de azóta sem sikerült rábukkanniuk a részecskefizikusoknak. A Delfti Műszaki Egyetem kutatóinak a Science tudományos magazinban ismertetett kísérlete azonban azt sugallja, hogy valóban létezik a különleges részecske.

Index, 2012. április 16.

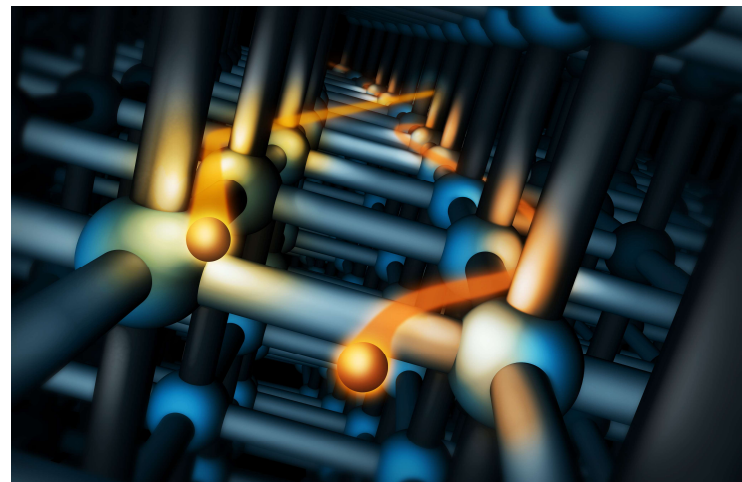


Elektronok periodikus potenciálban

Szabályos kristályok:

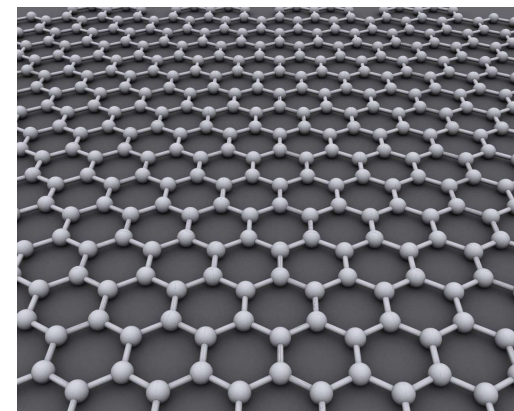
- Elektronok periodikus potenciálban
- Megváltozik az elektronok viselkedése
- Nem feltétlenül lesz

$$E = \frac{1}{2}mv^2$$



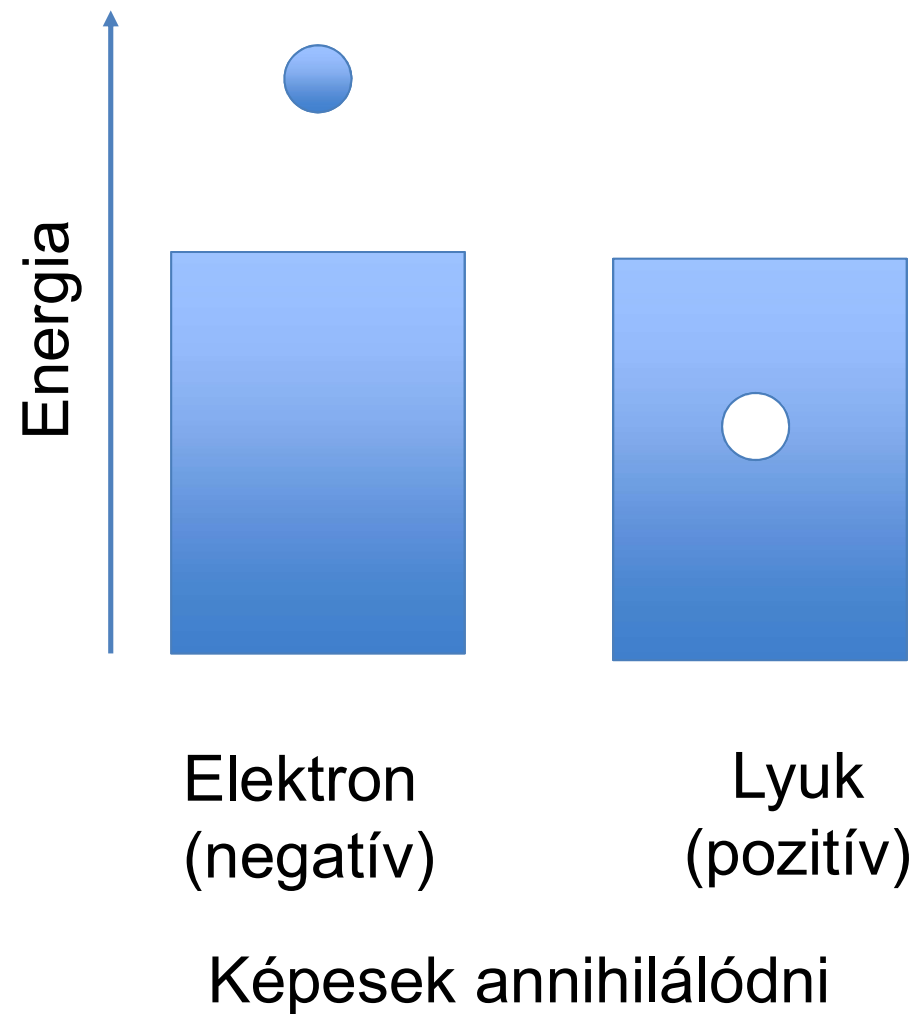
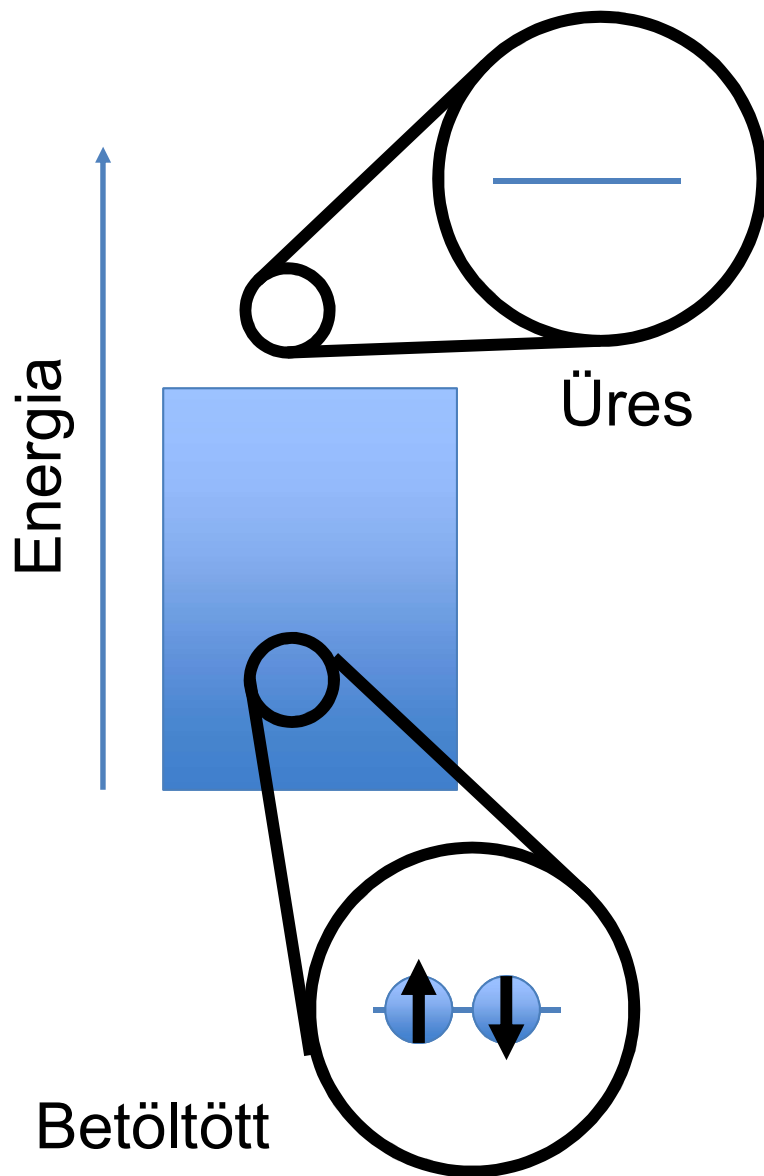
Példák:

- Nehéz fermionos anyagok,
m 1000-szer nagyobb, mint az elektron tömeg
- Grafén $E \sim v$
- Szupravezetés



Rácstérben való mozgás és az atomokkal való kölcsönhatás megváltoztatja az elektronok tulajdonságait.

Elektron antirészecskéje a lyuk



Majorana-állapotok kikavarása



elektron

$c_{\text{elektron}}^\dagger$: hozzáadok a rendszerhez egy elektront

lyuk

c_{elektron} : kiveszek egy elektront

$c_{\text{elektron}}^\dagger$ antirészecskéje c_{elektron}

Varázslat:

$$\gamma_1 = c_{\text{elektron}}^\dagger + c_{\text{elektron}}$$

$$\gamma_2 = c_{\text{elektron}}^\dagger - c_{\text{elektron}}$$

Önmaga antirészecskéje
Megtaláltuk a Majoranát!

Egyből két Majoranát találtunk.

Csak párosával tudunk Majoranákat létrehozni.

Információ nem lokális tárolása

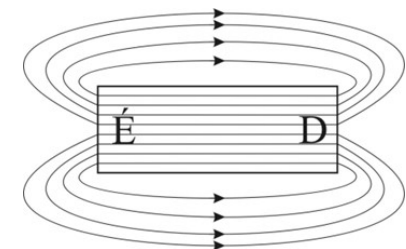
Összekeverés után a Majoranákat vigyük jó messzire egymástól.



A. Kitaev
2001

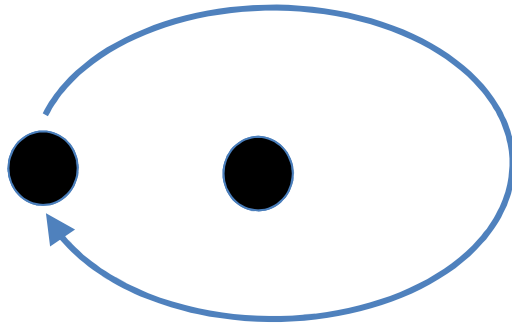
Fermionikus gerjesztés:

- Szétszedtük két Majoranára
- Nem lokális
- A rendszer két végére lokalizált
- Védett lokális zajok ellen



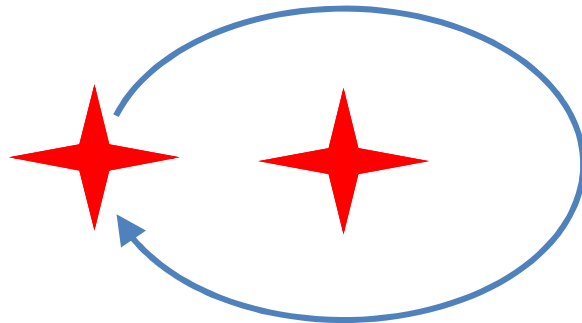
Bármionok és fura viselkedésük

Bozonok vagy fermionok:



Azonos részcskék esetén, ha egyiket a másik körül viszem, akkor az állapot változatlan marad.

Bármionok (2D):

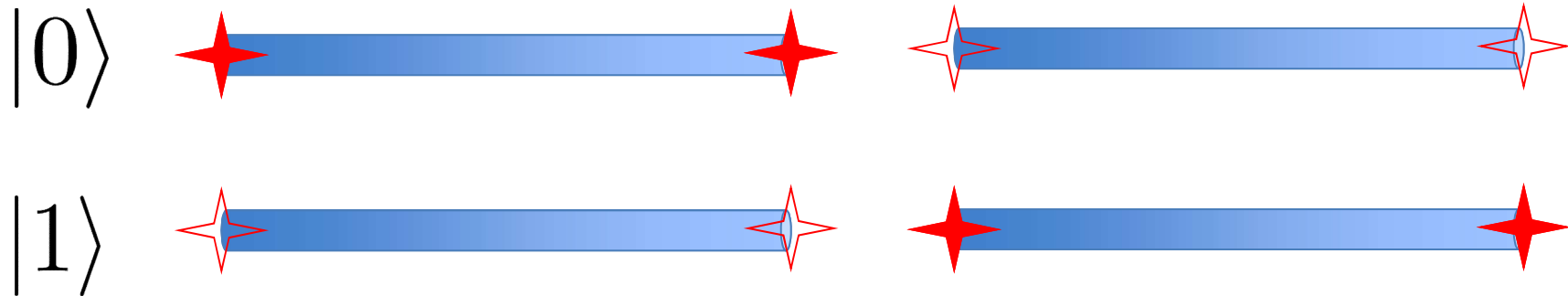


$$\Psi_{\text{vég}} \neq \Psi_{\text{kezdeti}}$$

$$\Psi_{\text{vég}} = -\Psi_{\text{kezdeti}}$$

Topologialilag védett, nem függ az út pontos alakjától.

Topologikusan védett művelet



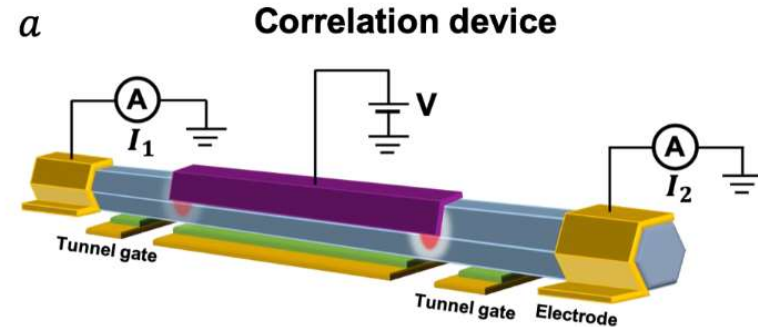
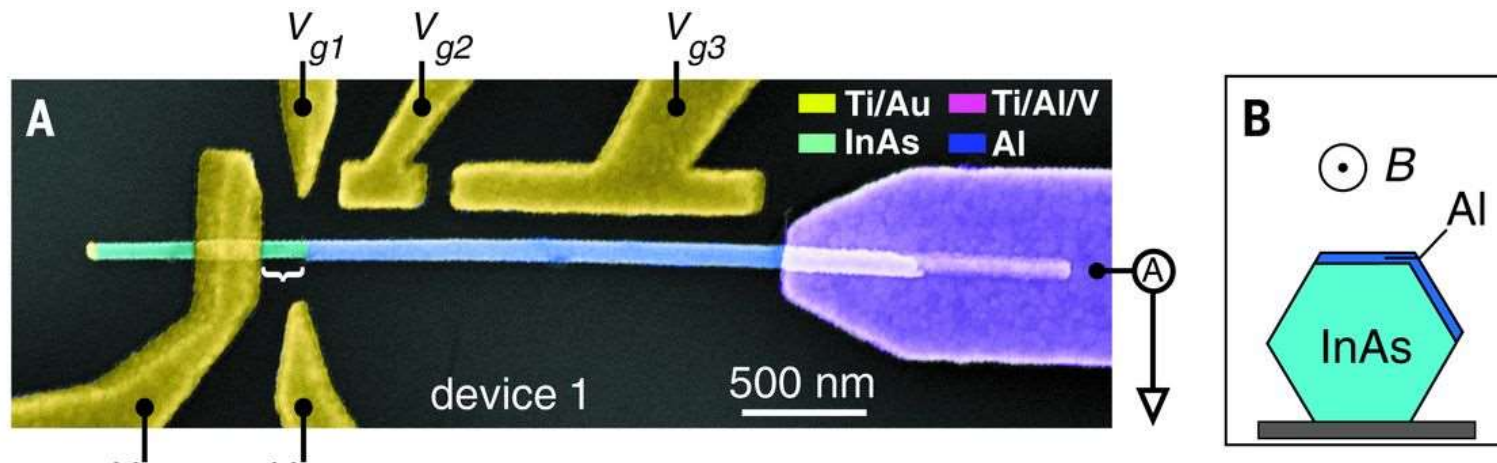
Vigyük körül a két jobb oldali Majorana egyikét a másik körül:

- Topologikusan védett művelet

$$|0\rangle \rightarrow |0\rangle \quad |1\rangle \rightarrow -|1\rangle$$

- Nem függ a megcserélés részleteitől
- Kvantumkaput valósít meg, (Z-operáció)

Hogy állnak a kísérletek?



Recept:

Félvezető nanodrót
Érintkezésben egy szupravezetővel
Külső mágneses tér

Nature, 556, 74 (2018)
Science, 354, 6319 (2016)
Nat. Comm. 10, 5128 (2019)

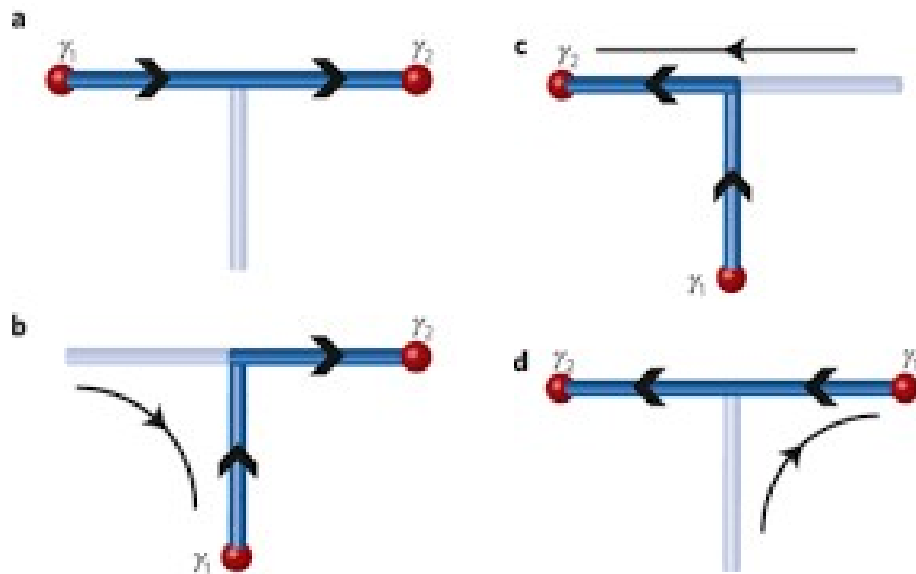
Reprodukálhatóan még nem látják egyszerre a két Majoranát.

Topologikus kvantumszámítógép:

- Surface code (felszíni kód)

Asbóth János: Így véd meg a kvantumbitjeidet! Atomcsill 2020. november 12.

- Hardver szinten (bármionok fonogatásával)



Alicea et al. Nature Phys



Összefoglalás

- **Részecskefizika**
 - Nem találják a Majorana-fermionokat
- **Szilárdtestfizika**
 - Előállíthatóak Majoranák párosával
 - Megvalósítható kísérletileg
 - Bármionok
- **Kvantumszámítógép**
 - Topologikusan védett műveletek
 - Bármionok fonogatásával
 - Kísérletek még gyerekcipőben
- **Köszönetnyilvánítás**

