

Rayane Maria de Oliveira – Graduanda em Física
Jakson Miranda Fonseca – Professor do Departamento de Física

Introdução

Em 1937, com o intuito de encontrar soluções reais para a equação de Dirac, o jovem físico Ettore Majorana previu a existência de uma classe especial de férmions onde a partícula e a antipartícula são idênticas. No entanto, com a possível exceção dos neutrinos, não existem partículas fundamentais conhecidas que pertençam a esta classe. Mas a realização potencial de férmions de Majorana como excitações de quase-partículas em sólidos reacendeu o interesse nessas partículas, especialmente porque os estados de Majorana em sólidos podem ser úteis como qubits tolerantes a falhas para processamento de informação quântica [1].

Objetivo

Fornecer uma visão física do que consideramos os conceitos básicos mais importantes sobre os férmions de Majorana. Além de transmitir a empolgação com os MFs discutindo brevemente algumas de suas propriedades exóticas, como a estatística não abeliana e o potencial resultante para computação quântica topológica.

Metodologia

Definição matemática: $\gamma = \gamma^\dagger$

Dois férmions de Majorana formam um férmion comum:

$$C = (\gamma_1 + i\gamma_2) \quad C^\dagger = (\gamma_1 - i\gamma_2)$$

Candidatos: Neutrinos e quase-partículas na matéria condensada.

Na matéria condensada: o equivalente a partícula e antipartículas são elétrons e buracos.

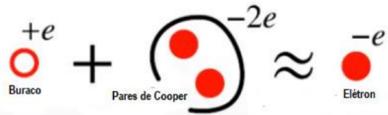


Figura 1: Ettore Majorana[1].

Natural procurá-los em supercondutor!

Supercondutores: simetria partícula-buraco
 $\gamma(E) = \gamma^\dagger(-E)$

Em E=0: férmions de Majorana

$$\gamma = \gamma^\dagger$$

Fundamentalmente interessante:

- MFs são partículas não abelianas;
- Potencialmente úteis como qubits em computadores quânticos.

Cadeia de Kitaev:

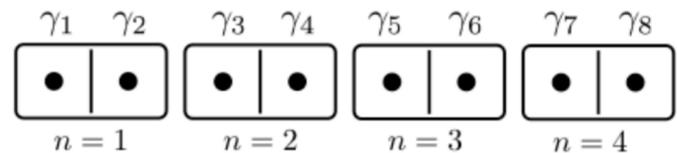
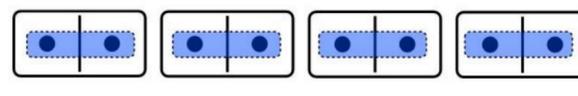


Figura 2: Representação da cadeia unidimensional de N=4 sítios, cada ponto representa um modo de Majorana, e um par de tais modos forma um estado fermiônico comum [2].

$$H = -\mu \sum_n c_n^\dagger c_n - t \sum_n (c_{n+1}^\dagger c_n + h.c.) + \Delta \sum_n (c_n c_{n+1} + h.c.),$$

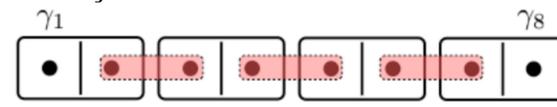
- Interação onsite:



$$H = \frac{i}{2} \mu \sum_{n=1}^N \gamma_{2n-1} \gamma_{2n}.$$

Figura 3: Todos os majoranas estão acoplados a seus vizinhos [2].

- Interação entre sítios:



$$H = it \sum_{n=1}^N \gamma_{2n} \gamma_{2n+1}.$$

Figura 4: Note a presença de modos de Majorana desemparelhados nas bordas da cadeia [2].

Projetando um supercondutor topológico:

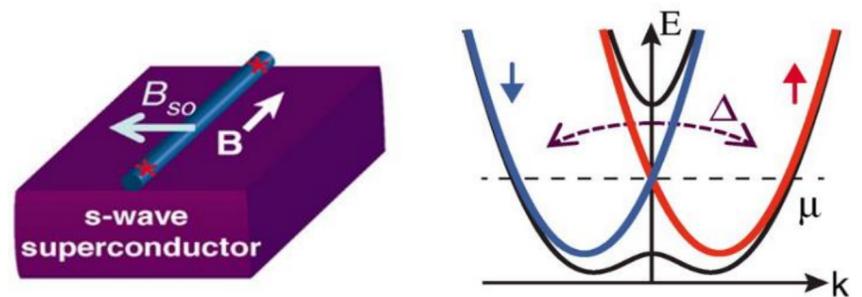


Figura 5: Esboço da configuração para engenharia de supercondutividade topológica em um nanofio 1D. E estrutura de bandas do nanofio acoplado a spin-órbita com campo magnético aplicado[3].

Spin-órbita + supercondutor + campo magnético = supercondutor topológico!

Conclusão

Nos últimos anos, vários grupos experimentais estão à procura destes férmions, a parte mais empolgante desta descoberta é testar suas propriedades teoricamente previstas, que com certeza trará grandes avanços para as tecnologias que nos rodeiam no dia-a-dia.

Bibliografia

- [1] Aguado, Ramón. "Majorana quasiparticles in condensed matter." *La Rivista del Nuovo Cimento* 40 (2017): 523-593.
- [2] edX. Topology In Condensed Matter: Tying Quantum Knots. url: <https://www.edx.org/course/topology-condensed-matter-tying-quantum-delftx-topocmx-0>.
- [3] V. Mourik, K. Zuo, S. M. Frolov, S. R. Plissard, E. P. A. M. Bakkers, and L. P. Kouwenhoven. Signatures of majorana fermions in hybrid superconductor-semiconductor nanowire devices. *Science*, 336(6084):1003–1007, 2012.