Estados topológicamente protegidos en metamateriales mecánicos

Felipe Cárdenas, Matías Méndez y Diego Rodríguez
Profesor: Claudio Falcón

Departamento de Física
Universidad de Chile

19 de abril, 2021

Índice

¿Qué es un aislante topológico?

- Materiales con un ordenamiento topológico protegido por una simetría no trivial.
- Aislante en su interior pero que tiene estados conductores en su superficie.
- Su existencia ha sido motivo de un extenso estudio teórico, numérico y experimental.
- Capacidad de conducir eléctricamente portadores de carga que no se ven afectados por deformaciones suaves de la forma del material.

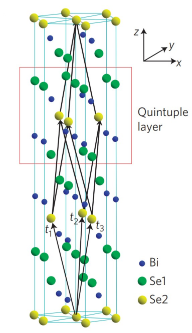


Figura 1: Estructura cristalina del $\mathrm{Bi_2Te}^3$. Fuente: Zhang, H.

Motivación

- Esta idea se ha extendido a materiales donde la propagación no es electrónica si no que fonónica, donde destacan los metamateriales mecánicos como candidatos de estudio.
- Deberían entonces presentar estados de borde protegidos topológicamente.
- ¿Cómo debiesen estar construidos estos materiales y bajo que reglas deben construirse?
- ¿Qué caracteriza estos estados de borde?

¿Qué es un metamaterial?

Material diseñado para tener propiedades que no se encuentran de forma natural. Estas propiedades provienen de la estructura diseñada y no de su composición.

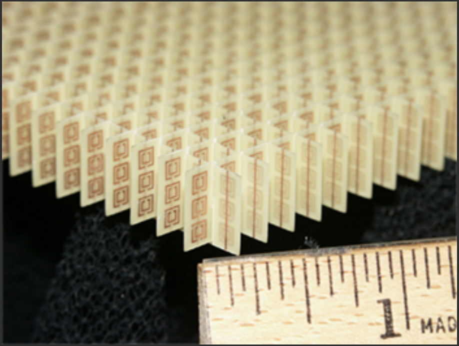


Figura 2: Ejemplo de metamaterial. Fuente: Wikipedia.

Objetivos

- Se busca estudiar teórica, numérica y experimentalmente la estructura de banda en un arreglo de osciladores en 2 configuraciones diferentes:
  1. Resortes lineales en presencia de términos giróscopicos y/o con resonadores internos.
  2. Resonadores de Helmholtz para ondas de agua.
- Se analiza analogía entre un arreglo de osciladores cuántico y clásico.
- Se estudia la aparición de modos de borde topológicamente protegidos

Modelo Su-Schrieffer-Heeger (SSH)

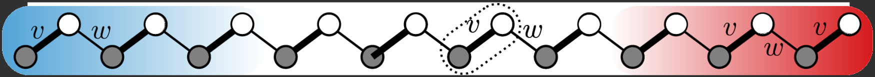


Figura 3: Geometría del Modelo SSH. Fuente: J. K. Asboth, L. Oroszlány, A. Pályi.

$$\hat{H} = v \sum_{m=1}^{N} (\mid m, B\rangle\langle m, A \mid + h.c.) + w \sum_{m=1}^{N-1} (\mid m, A\rangle\langle m, B \mid + h.c.) \quad (1)$$

Modelo Su-Schrieffer-Heeger (SSH)

$$\hat{H} = \begin{pmatrix} \ddots & & & & & & & \\ & 0 & v & 0 & 0 & & & \\ & v & 0 & w & 0 & & & \\ & 0 & w & 0 & v & 0 & 0 & \\ & 0 & 0 & v & 0 & w & 0 & \\ & & & 0 & w & 0 & v & \\ & & & 0 & 0 & v & 0 & \\ & & & & & & & \ddots \end{pmatrix} \Rightarrow \mathcal{H}(k) = \begin{pmatrix} 0 & v + we^{-ikd} \\ v + we^{ikd} & 0 \end{pmatrix} \tag{2}$$

$$\hat{H}^2 = \varepsilon(k)^2 \hat{\mathbb{I}}_2 \Rightarrow \varepsilon(k) = \left| v + we^{-ikd} \right| = \sqrt{v^2 + w^2 + 2vw\cos(kd)} \tag{3}$$

Modelo Su-Schrieffer-Heeger (SSH)

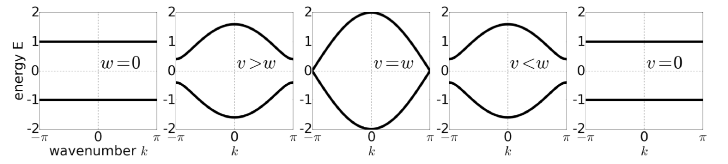
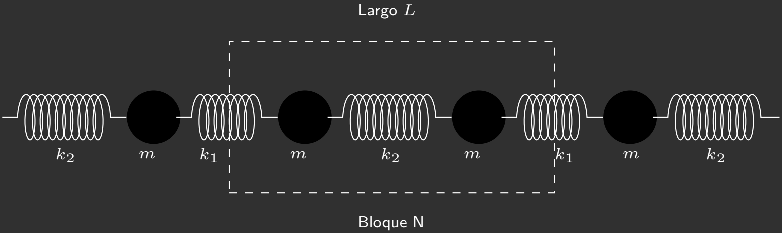


Figura 4: Relaciones de dispersión del modelo SSH. Fuente: J. K. Asboth, L. Oroszlány, A. Pályi.

Metodología

Consideremos un arreglo de resortes en una dimensión.



Modelo análogo al modelo SSH:

$$M\ddot{\vec{x}} + V\vec{x} = 0 \Leftrightarrow i\hbar\partial_t\psi = \hat{H}\psi \tag{4}$$

$$V = \begin{pmatrix} \ddots & & & & & \\ & k_1 + k_2 & -k_1 & 0 & 0 & \\ & -k_1 & k_1 + k_2 & -k_1 & 0 & \\ & 0 & -k_1 & k_1 + k_2 & -k_1 & \\ & 0 & 0 & -k_1 & k_1 + k_2 & \\ & & & & & \ddots \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$\Rightarrow v(q) = \begin{pmatrix} 0 & k_1 + k_2 e^{-iqL} \\ k_1 + k_2 e^{iqL} & 0 \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$\Rightarrow w(q) = \sqrt{k_1^2 + k_2^2 + 2k_1 k_2 cos(qL)} \quad (7)$$

Referencias

- Batra, N. y Sheet, G. *Understanding Basic Concepts of Topological Insulators Through Su-Schrieffer-Heeger (SSH) Model.*
- J. K. Asbáth L. Oroszlány, A. P. *A Short Course on Topological Insulators.* 2.ª ed. (Springer, 2015).
- Zhang, N. *Topological insulators in Bi2Se3, Bi2Te3 and Sb2Te3 with a single Dirac cone on the surface. Nature Physics.* (2009).

Continuará