Photonic Anomalous Quantum Hall Effect

Présentation d'un article de recherche

Auteurs : **Sunil Mittal, Venkata Vikram Orre, Daniel Leykam, Y.D. Chong, Mohammad Hafezi**
Étudiants : **Joseph Touzet, Lucien Wacquez**

2 février 2023

Sommaire

Hamiltonien de Haldane

Hypothèses et intérêt

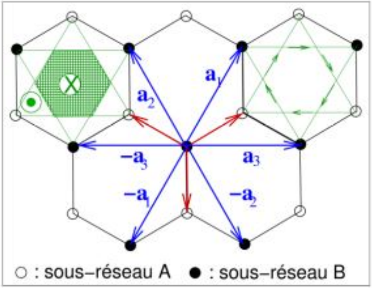
1. Briser la symétrie par renversement du temps pour obtenir des matériaux topologiques non triviaux
2. Variante du graphène avec ajout d'une phase faisant office de paramètre de contrôle
3. Prise en compte des sauts entre deuxièmes plus proches voisins (paramètre de saut différent)

Hamiltonien de Haldane

Hypothèses et intérêt

$t'e^{i\phi}$ pour saut de k à l

$t'e^{-i\phi}$ pour saut de l à k



$$H = \begin{pmatrix} AA & AB \\ AB^* & BB \end{pmatrix}$$

$$AA = 2t' \sum_{j=1}^{3} cos(b_j.k - \phi) + \Delta$$

$$AA = 2t' \sum_{j=1}^{3} cos(b_j.k + \phi) - \Delta$$

$$AB = AB^* = -t \left[1 + e^{ib_2.k} + e^{ib_3.k} \right]$$

Hamiltonien de Haldane

L'hamiltonien en question

$$H = \begin{pmatrix} \boxed{AA} & AB \\ AB^* & \boxed{BB} \end{pmatrix}$$

$$AA = \boxed{2t' \sum_{j=1}^{3} cos(b_j . k} - \phi) + \Delta$$

$$AA = \boxed{2t' \sum_{j=1}^{3} cos(b_j . k} + \phi) - \Delta$$

$$AB = AB^* = -t \left[1 + e^{ib_2 . k} + e^{ib_3 . k} \right]$$

Hamiltonien de Haldane

L'hamiltonien en question

$$H = \begin{pmatrix} \boxed{AA} & AB \\ AB^* & \boxed{BB} \end{pmatrix}$$

$$AA = 2t' \sum_{j=1}^{3} cos(b_j . k \boxed{- \phi)} \boxed{+ \Delta}$$

$$AA = 2t' \sum_{j=1}^{3} cos(b_j . k \boxed{+ \phi)} \boxed{- \Delta}$$

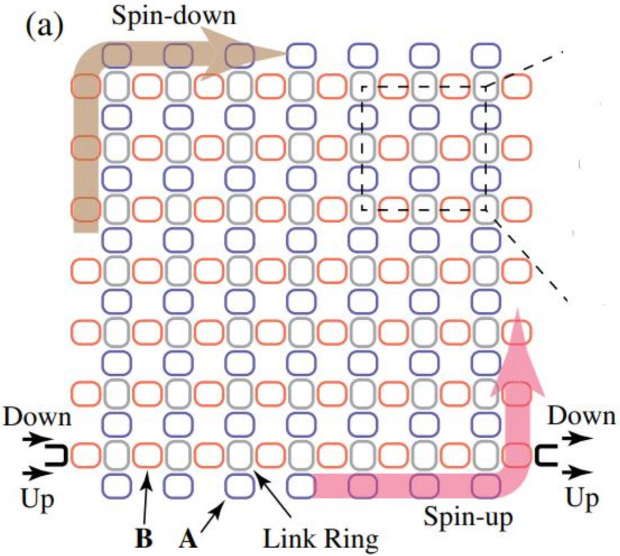
$$AB = AB^* = -t \left[1 + e^{ib_2.k} + e^{ib_3.k} \right]$$

$$H = \begin{pmatrix} AA & \boxed{AB} \\ \boxed{AB^*} & BB \end{pmatrix}$$

$$AA = 2t' \sum_{j=1}^{3} cos(b_j . k - \phi) + \Delta$$

$$AA = 2t' \sum_{j=1}^{3} cos(b_j . k + \phi) - \Delta$$

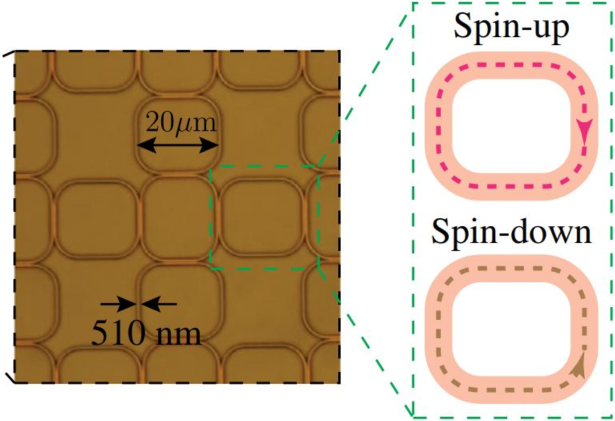
$$AB = AB^* = \boxed{-t \left[1 + e^{ib_2 . k} + e^{ib_3 . k}\right]}$$

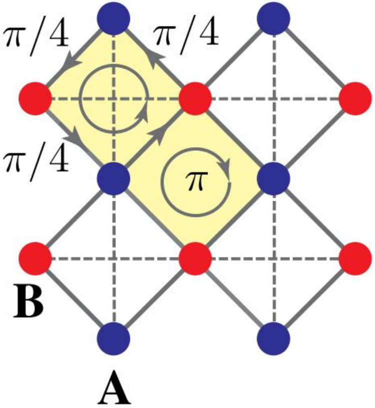


(a)
Spin-down
Down
Up
Down
Up
B
A
Link Ring
Spin-up

Implémentation expérimentale

Présentation du dispositif




$\pi/4$
$\pi/4$
$\pi/4$
π
B
A

Implémentation expérimentale

Hamiltonien global

$$\begin{aligned} H &= \sum_{i,\sigma} (\omega_0 - M) a^\dagger_{i,\sigma} a_{i,\sigma} + (\omega_0 + M) b^\dagger_{i,\sigma} b_{i,\sigma} \\ &- \sum_{<i,j>,\sigma} J\left(a^\dagger_{j,\sigma} a_{i,\sigma} + b^\dagger_{j,\sigma} b_{i,\sigma} + a^\dagger_{j,\sigma} b_{i,\sigma} e^{-i\sigma\phi_{i,j}} + H.c. \right) \end{aligned}$$

Implémentation expérimentale

Hamiltonien global

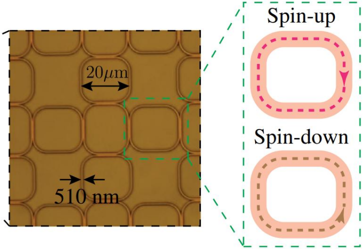


Figure: Image des résonateurs.

$$H = \sum_{i,\sigma} (\boxed{\omega_0} - M)\boxed{a^\dagger_{i,\sigma} a_{i,\sigma}} + (\boxed{\omega_0} + M)\boxed{b^\dagger_{i,\sigma} b_{i,\sigma}}$$

$$- \sum_{<i,j>,\sigma} J\left(a^\dagger_{j,\sigma} a_{i,\sigma} + b^\dagger_{j,\sigma} b_{i,\sigma} + a^\dagger_{j,\sigma} b_{i,\sigma} e^{-i\sigma\phi_{i,j}} + H.c.\right)$$

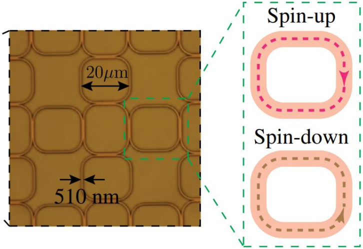


Figure: Image des résonateurs.

$$H = \sum_{i,\sigma} (\omega_0 \boxed{- M}) \boxed{a_{i,\sigma}^\dagger a_{i,\sigma}} + (\omega_0 \boxed{+ M}) \boxed{b_{i,\sigma}^\dagger b_{i,\sigma}}$$

$$- \sum_{<i,j>,\sigma} J\left(a_{j,\sigma}^\dagger a_{i,\sigma} + b_{j,\sigma}^\dagger b_{i,\sigma} + a_{j,\sigma}^\dagger b_{i,\sigma} e^{-i\sigma\phi_{i,j}} + H.c.\right)$$

Implémentation expérimentale

Hamiltonien global

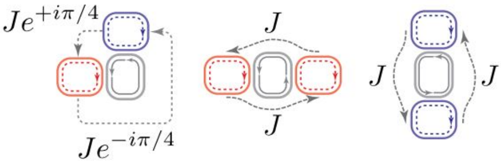


Figure: Schéma des couplage entre les résonateurs voisin:
- Millieu: couplage entre deux résonateurs *B*.
- Droite: couplage entre deux résonateurs *A*.

$$
\begin{aligned}
H \;=\; & \sum_{i,\sigma} (\omega_0 - M) a^{\dagger}_{i,\sigma} a_{i,\sigma} + (\omega_0 + M) b^{\dagger}_{i,\sigma} b_{i,\sigma} \\
& - \sum_{<i,j>,\sigma} \boxed{J} \left(\boxed{a^{\dagger}_{j,\sigma} a_{i,\sigma}} + \boxed{b^{\dagger}_{j,\sigma} b_{i,\sigma}} + a^{\dagger}_{j,\sigma} b_{i,\sigma} e^{-i\sigma\phi_{i,j}} + H.c. \right)
\end{aligned}
$$

Implémentation expérimentale

Hamiltonien global

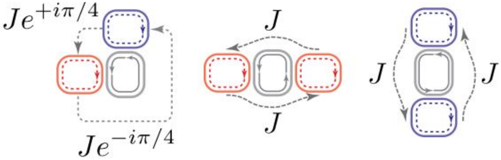


Figure: Schéma des couplage entre les résonateurs voisin:
- Gauche: couplage entre des résonateurs *A* et *B*

$$H = \sum_{i,\sigma} (\omega_0 - M) a^\dagger_{i,\sigma} a_{i,\sigma} + (\omega_0 + M) b^\dagger_{i,\sigma} b_{i,\sigma}$$

$$- \sum_{<i,j>,\sigma} \boxed{J} \Big(a^\dagger_{j,\sigma} a_{i,\sigma} + b^\dagger_{j,\sigma} b_{i,\sigma} + \boxed{a^\dagger_{j,\sigma} b_{i,\sigma} e^{-i\sigma\phi_{i,j}}} + H.c. \Big)$$

Mesures et interprétations des résultats

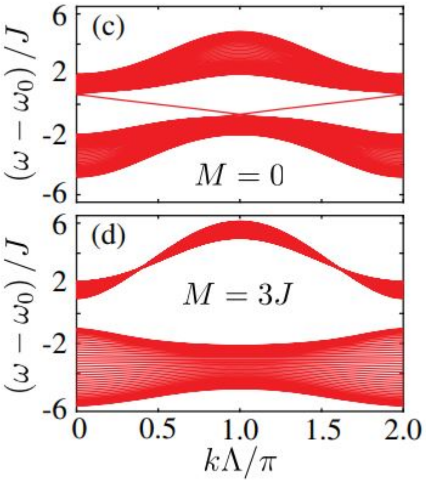
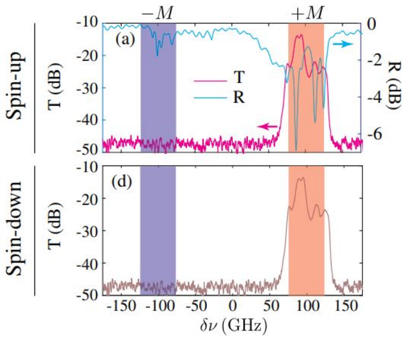
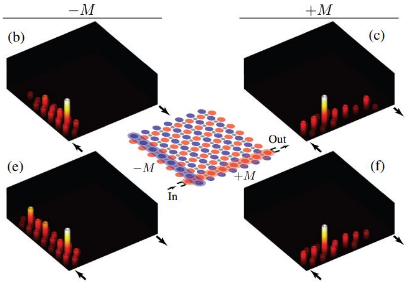


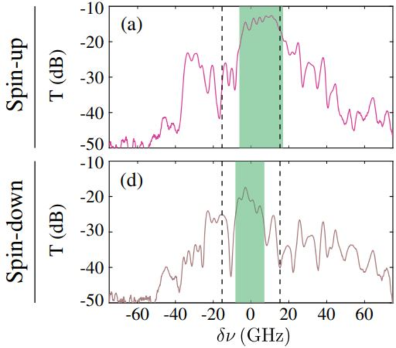
Figure: Diagrame de bande pour (c) $M = 0$ (topologique), on remarque alors des états de bords; et (d) $M = 3J > 2J$ (trivial).



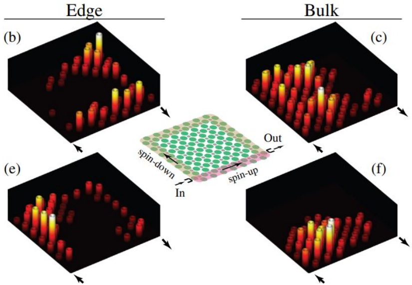
(a) Mesures d'atténuation de transmission et de réflexion pour [en haut] le pseudo-spin up et [en bas] le pseudo-spin down.



(b) Répartition d'intensité pour un pseudo-spin up ou down pour ((b) et (e)) la bande -M et ((c) et (f)) la bande M, que l'on remarque indépendante du pseudo-spin.



(a) Mesures d'atténuation de transmission et de réflexion pour (a) le pseudo-spin up ((b) et (c)) et (d) le pseudo-spin down ((e) et (f)).



(b) Répartition d'intensité pour le pseudo-spin up ((b) et (c)) et (d) le pseudo-spin down ((e) et (f)), et pour un état de bord ((b) et (e)) ou de volume ((c) et (f)).

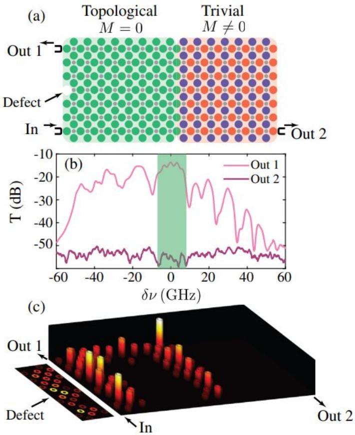


Figure: (a) interface de deux device: une topologique ($M = 0$) et une triviale ($M \neq 0$). (b) Mesure d'atenuation de transmission et de réflexion (pseudo-spin down). (c) Répartition d'intensité: On remarque que le photon suit l'interface.

Conclusion

1. L'implémentation photonique d'un phénomène de matière condensée est pertinente
2. Elle permet de mieux contrôler les différents paramètres pratiques
3. Le substrat en silice permet un potentiel contrôle actif des paramètres (chauffage, ou contrôle électro-optique).