

Topological index for periodically driven time-reversal invariant 2D systems

David Carpentier, Pierre Delplace, Michel Fruchart, Krzysztof Gawędzki

*Laboratoire de Physique, École Normale Supérieure de Lyon
47 allée d'Italie, 69007 Lyon, France
michel.fruchart@ens-lyon.fr*

La découverte de l'effet Hall quantique, dans les années 1980, a ouvert le champ des phases topologiques de la matière. L'intérêt pour ces systèmes a été renouvelé en 2005, avec la découverte d'un nouveau type d'isolant topologique [1], cette fois dans un système invariant par renversement du temps (contrairement à l'effet Hall quantique, qui n'a lieu que sous un fort champ magnétique), donnant lieu à une intense activité théorique et expérimentale. Bien que découverts dans le contexte de la physique de la matière condensée électronique, principalement dans des hétérostructures de semi-conducteurs, ces phases topologiques sans interaction sont essentiellement liées à la physique des ondes classiques dans des structures périodiques. Il est donc possible d'en découvrir, ou d'en concevoir des analogues dans des systèmes classiques.

Dans le but d'obtenir un matériau contrôlable, où l'on peut facilement passer d'une phase « triviale » à une phase « topologique », des recherches ont été menées sur les systèmes soumis à un forçage périodique (et donc hors d'équilibre), dans l'espoir de reproduire la physique des phases d'équilibre topologiques [2-5]. Ces systèmes forcés périodiquement présentent en fait une physique plus riche [5], quoique assez similaire. En outre, ils sont utiles pour comprendre certains des analogues classiques des phases topologiques [6-7]. Dans les systèmes forcés périodiquement, l'énergie n'est pas conservée, et les bandes d'énergie ne sont pas pertinentes pour étudier le système ; néanmoins, l'énergie modulo un quantum h/T est conservée (et est appelée quasi-énergie), et on voit apparaître des structures de bandes de quasi-énergie, similaires aux bandes d'énergie, mais qui s'organisent sur un cercle.

Nous considérons un cristal périodique à deux dimensions, soumis à un forçage périodique dans le temps, contraint de sorte à ce que le système soit, dans son ensemble, invariant par renversement du temps. Par analogie avec les isolants topologiques d'équilibre, on s'attend à ce qu'un tel système soit caractérisé par des invariants \mathbf{Z}_2 , et à ce que ces invariants soient attachés à un gap (et pas à une bande, comme il est naturel dans les systèmes d'équilibre) ; c'est effectivement le cas [8]. La démonstration de ces propriétés est, de manière surprenante, assez élaborée [9].

[1] C.L. Kane and E.J. Mele, *Z₂ Topological Order and the Quantum Spin Hall Effect*, Phys. Rev. Lett. **95**, 246802 (2005).

[2] T. Oka, H. Aoki, *Photovoltaic Hall effect in graphene*, Phys. Rev. B, **79** (8) 081406 (2009)

[3] J.-I. Inoue, A. Tanaka, *Photoinduced transition between conventional and topological insulators in two-dimensional electronic systems*, Phys. Rev. Lett., **105** (1) 017401 (2010)

[4] N.H. Lindner, G. Refael, V. Galitski, *Floquet topological insulator in semiconductor quantum wells*, Nat. Phys., **7**, 490 (2011)

[5] M. S. Rudner, N. H. Lindner, E. Berg, M. Levin, *Anomalous edge states and the bulk-edge correspondence*

for periodically-driven two dimensional systems, Phys. Rev. X **3**, 031005 (2013)

[6] MC Rechtsman, JM Zeuner, Y Plotnik, Y Lumer, D Podolsky, S Nolte, F Dreisow, M Segev, A Szameit, *Photonic Floquet Topological Insulators*, Nature **496**,196–200 (2013)

[7] L. M. Nash, D. Kleckner, A. Read, V. Vitelli, A. M. Turner, W. T.M. Irvine, *Topological mechanics of gyroscopic metamaterials*, arXiv:1504.03362 (2015)

[8] D. Carpentier, P. Delplace, M. Fruchart, K. Gawedzki, *Topological Index for Periodically Driven Time-Reversal Invariant 2D Systems*, Phys. Rev. Lett. **114**, 106806 (2015)

[9] D. Carpentier, P. Delplace, M. Fruchart, K. Gawedzki, C. Tauber, *Construction and properties of a topological index for periodically driven time-reversal invariant 2D crystals*, Nuclear Physics B **896** (2015) 779-834