



اثرات جفت شدگی اسپین- مدار بر روی ویژگی‌های ترابری الکتریکی شبکه لیب در حضور میدان مغناطیسی

رضانیا، حامد؛ صادقی خمارتاجی، الهام؛
گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه رازی

مقدمه

در این مقاله ویژگی‌های ترابری شبکه لیب (Lieb) دو بُعدی که شبکه مربعی مرکز خطی نیز نامیده میشود شکل (۱) هر سلول واحد آن شامل سه اتم می‌باشد، [1] در حضور میدان مغناطیسی و برهمکنش اسپین- مدار ذاتی بررسی شده است. شبکه لیب به دلیل ویژگی‌های توپولوژیک جدید و منحصر به فرد و همچنین وجود باند مسطح در ساختار نواری، در بسیاری از پژوهش‌های تئوری و تجربی مورد مطالعه قرار گرفته است. پیشنهاد شده است که شبکه لیب می‌تواند در سیستم‌های فیزیکی مختلف، مانند اتم‌های سرد در شبکه‌های نوری و انتشار نور در کریستال‌های فوتونی تحقق یابد [2-5]. حضور جمله جفت‌شدگی اسپین- مدار ذاتی (ISO) از نظر توپولوژیکی باعث ایجاد گاف غیرمستقیم و اثرات هال کوانتوم اسپین میشود. همچنین مشخص شده که این برهمکنش نقش مهمی در خصوصیات توپولوژیکی نانوساختارها دارد [6]. در این اینجا به طور خاص رفتار دمایی هدایت گرمایی و هدایت الکتریکی شبکه لیب (در جهت X) مورد مطالعه قرار گرفته است.

روش

در این پژوهش ما از رویکرد تابع گرین و هامیتونی مدل کن- مله [7] که شامل عبارت پرش به نزدیکترین همسایه و اسپین مدار ذاتی است بهره گرفته ایم همچنین تاثیر میدان مغناطیسی بر روی سیستم با اضافه کردن جمله زیمن به هامیتونی مسئله لحاظ شده است. پس از قطری سازی هامیتونی مسئله و محاسبه ساختار نواری الکترونی، توابع گرین را بدست آورده و در ادامه با بهره‌گیری از تئوری پاسخ خطی هدایت باری و حرارتی شبکه لیب را در حضور میدان مغناطیسی و برهمکنش اسپین- مدار را مورد مطالعه قرار داده ایم. هدایت باری σ و هدایت حرارتی κ به وسیله ضرایب ترابری $L_{ab}(a,b=1,2)$ به گرادیان دما و گرادیان پتانسیل الکتریکی مرتبط میشوند. با بکارگیری قضیه کوبو و انجام محاسبات در نهایت ضرایب ترابری استاتیک سیستم بر اساس ساختار نواری و قسمت موهومی توابع گرین الکترونی سیستم محاسبه شده است.

$$\kappa = \frac{1}{T^2} (L_{22} - \frac{L_{12}^2}{L_{11}}) \quad ; \quad \sigma = \frac{L_{11}^{xx}}{k_B T}$$

نتایج

رفتار دمای هدایت الکتریکی و هدایت حرارتی شبکه لیب به ازای مقادیر مختلف برهمکنش اسپین- مدار λ و میدان مغناطیسی ثابت به ترتیب در شکل ۲ و شکل ۳ رسم شده است. لازم به ذکر است که تمام مقادیر عددی نرمالیز شده هستند و پتانسیل شیمیایی و پارامتر گاف ثابت فرض شده‌اند. منحنی هدایت الکتریکی استاتیک شبکه لیب بر اساس دما، نشان می‌دهد که برای $k_B T < 1t$ افزایش دما سبب افزایش σ شده و برای دماهای بیشتر از این مقدار ثابت می‌شود همچنین در یک دمای خاص افزایش λ منجر به کاهش σ می‌شود. نمودار هدایت حرارتی بر حسب دما به ازای هر مقدار λ دارای یک قله در $k_B T = 0/7t$ است که مستقل از λ می‌باشد و در یک دمای ثابت افزایش λ منجر به کاهش هدایت حرارتی می‌شود.

تحلیل نتایج

افزایش شدت برهمکنش اسپین- مدار منجر به افزایش پهنای گاف در چگالی حالات شبکه لیب می‌شود و در نتیجه افزایش λ کاهش هدایت الکتریکی و حرارتی را به دنبال دارد. بعلاوه وجود قله در رفتار دمای κ ناشی از رقابت بین دو پدیده، افزایش سرعت انتقال الکترون‌ها از حالت پایه به حالت برانگیخته و پراکندگی الکترون‌ها در دماهای بالاتر است.

مراجع

[1] Lieb E H; "Two theorems on the Hubbard model"; Phys. Rev. Lett. 62(1989) 1201.

[2] N. C. Costa, T. Medes-Santos, T. Pavia, R. Dos Santos and R. T. Scalettar; "Ferromagnetism beyond Lieb theorem"; Phys. Rev. B 94, (2016) 155107.

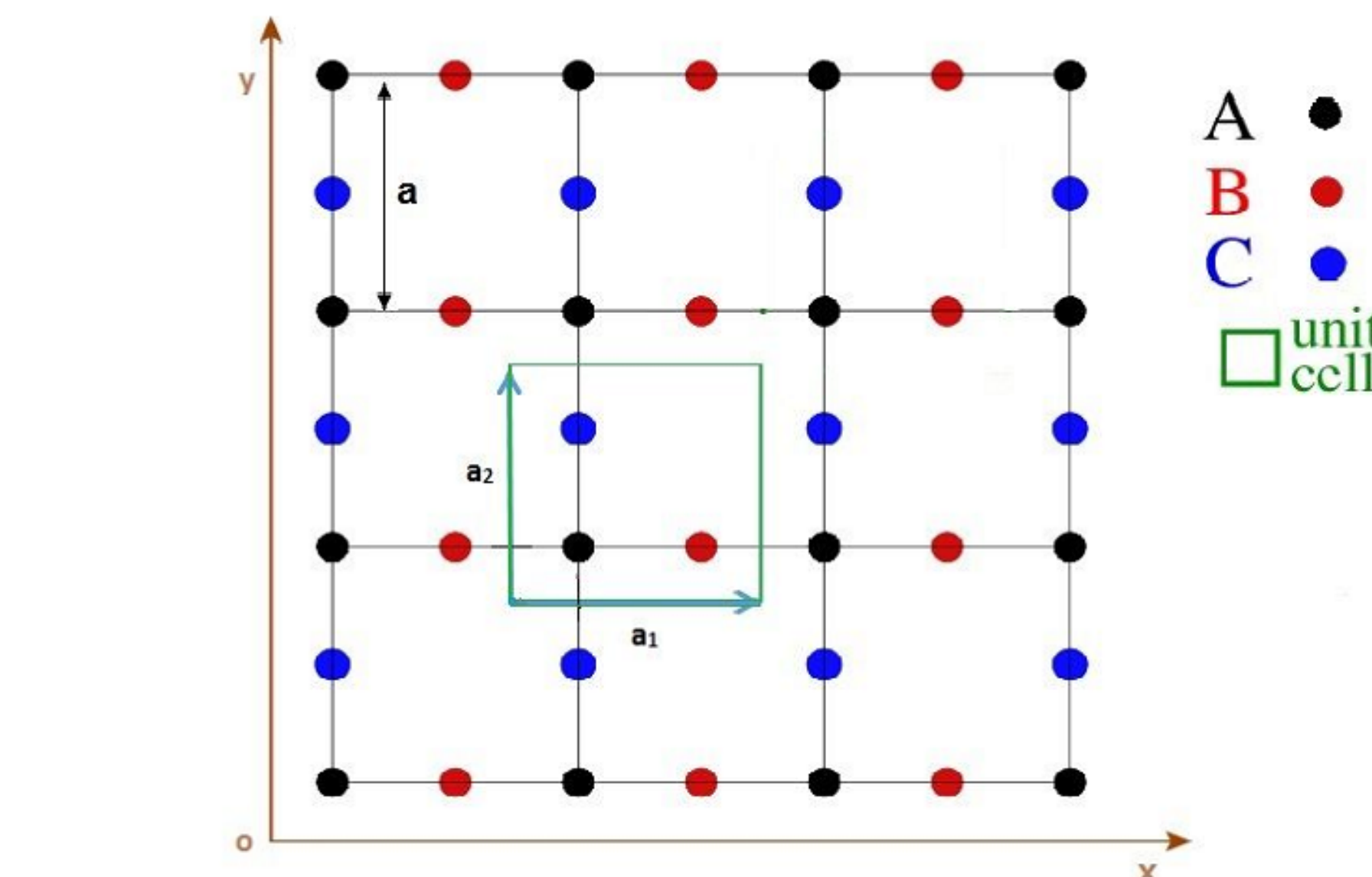
[3] A. Zhao and S. -Q. Shen; "Quantum Hall effect in a flat band"; Phys. Rev. B 85, (2012)085209.

[4] B. Jaworowski, A. Manolecu and P. Potasz; "Fractional Chern insulator phase"; Phys. Rev. B 92, (2015)245119.

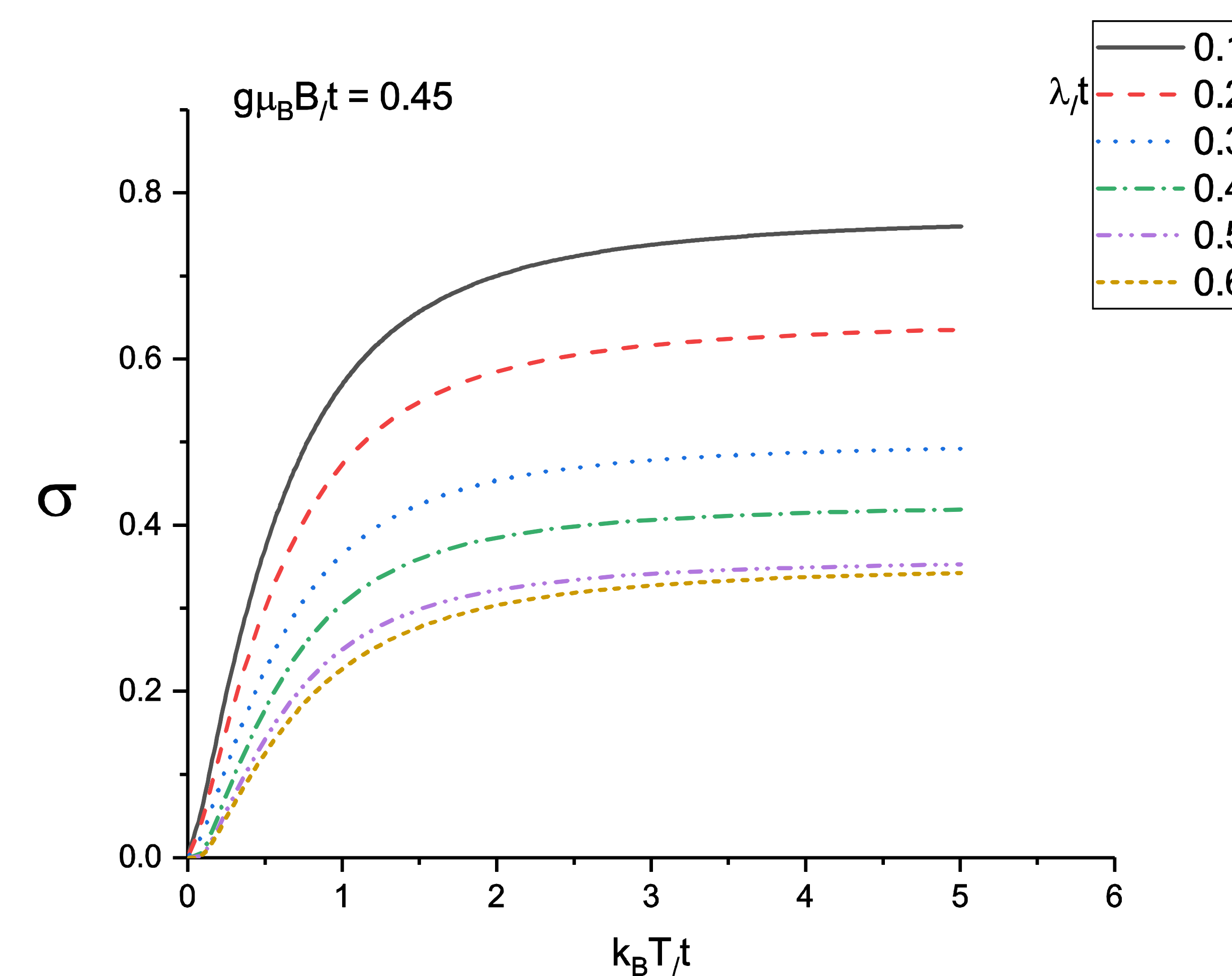
[5] N. B. Kopnin, T. T. Heikkila and G. E. Volovik, Phys. Rev. B 83, (2011) 220503 (R).

[6] D. A. Pesin and L. Balents; "Band topology in material with strong spin-orbit interaction"; Nat. Phys 6, (2010)376

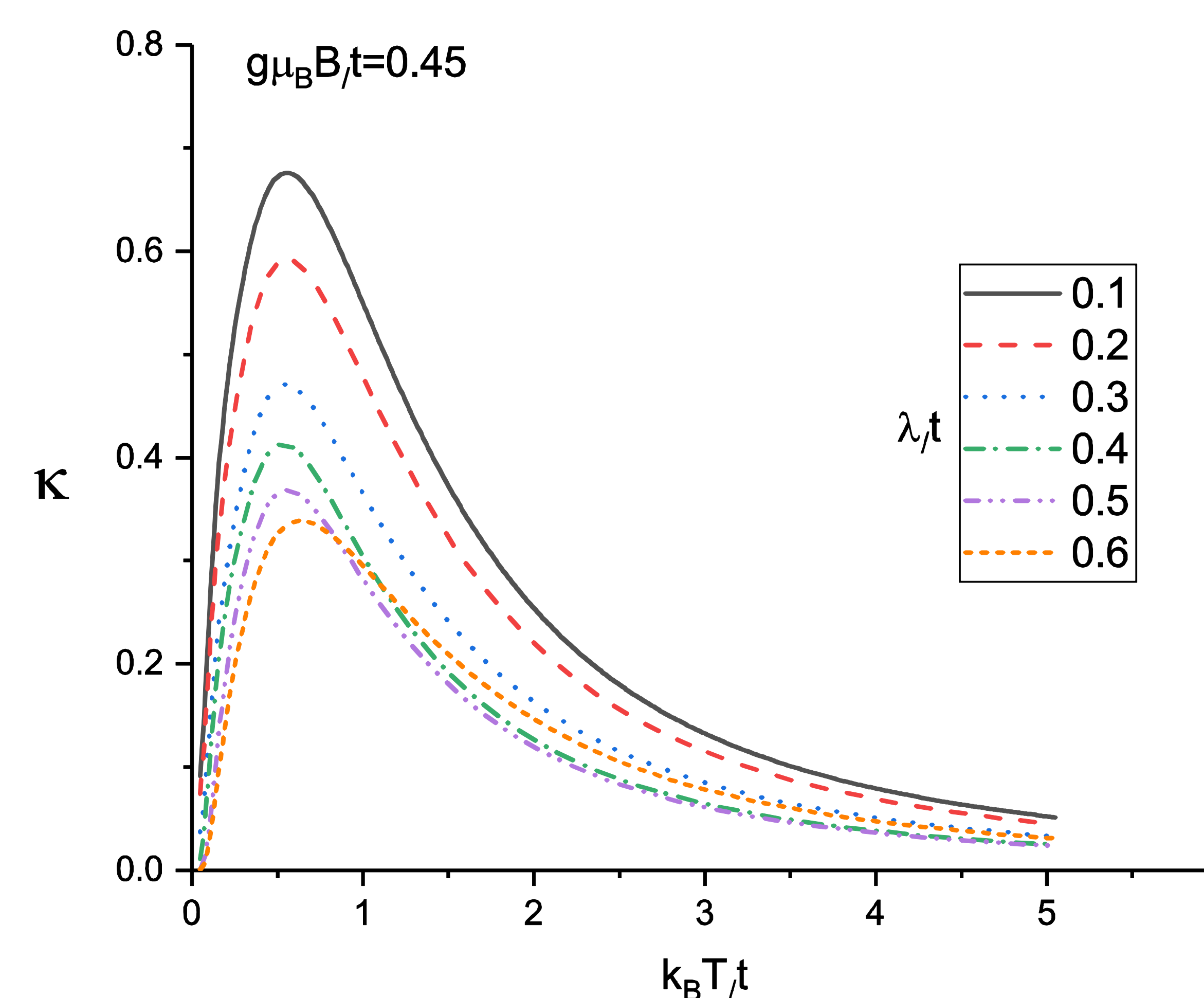
[7] C. L. Kane and E. J. Mele, Z2 "Topological order and the quantum spin hall effect", Phys. Rev. Lett 95, (2005) 146802.



شکل ۱: شبکه لیب دو بعدی با سه اتم در سلول واحد



شکل ۲: هدایت الکتریکی شبکه لیب بر اساس دما $k_B T/t$ به ازای مقادیر مختلف λ



شکل ۳: هدایت گرمایی شبکه لیب بر اساس دما $k_B T/t$ به ازای مقادیر مختلف λ