

Kvazivienmatės kintamo magnetinio srauto optinės gardelės

Optical Ladder Lattices With Tunable Flux

Giedrius Žlabys, Egidijus Anisimovas

Teorinės fizikos ir astronomijos institutas, Vilniaus universitetas, Saulėtekio al. 3, 10257 Vilnius
giedrius.zlabys@tfai.vu.lt

Optinės gardelės – erdvėje periodiškai interferuojančių lazerių pluoštų intensyvumo skirstiniai. Jose sugauti šaltieji atomai gali sukurti švarias, įvairios kristalinės geometrijos sistemas, tiksliai kontroliuojamas laboratorijoje [1].

Skirtingai negu kietuosiuose kūnuose, tirti išorinio magnetinio lauko poveikį šaltųjų atomų sistemose yra sudėtinga – neutralios dalelės neveikiamos Lorentz jėgos. Norint įgyvendinti magnetinius efektus, tenka įvesti ekvivalentų dirbtinį kalibruotės potencialą [2]. Dėl jo, dalelė apėjusi gardelės elementarų narvelį sukaupia nenulinę fazę, atitinkančią lauko kuriamą dirbtinį magnetinį srautą. Toks srautas gali būti realizuojamas keliais būdais: periodiškai virpinant gardelę [3], lazeriu indukuojant kompleksinius šuolius tarp skirtingų jos mazgų [4] arba naudojant dažnio standarto šuolius [5]. Iš vienos pusės, eksperimento schema komplikuojasi, iš kitos – turime daugiau valdomų parametrų. Šiuos laisvės laipsnius galima išnaudoti įvairių stiprių bei erdviųjų konfigūracijų dirbtinio magnetinio srauto kūrimui. Iki šiol eksperimentai apsiribodavo pastoviu arba alternuojančiu vienodo dydžio srautu, todėl šiame darbe siūloma nehomogeninio srauto sukūrimo schema. Ji remiasi kiekvieno mazgo virpinimo fazės kontroliavimu. Jos taikymui pasirenkamos kvazivienmatės gardelės, dėl lengvai valdomų šuolių parametrų bei įdomių energijos juostų. Sukūrus norimą srautą, tiriama į tokią sistemą patalpinto banginio paketo dinamika ir jo valdymo galimybės.

Dirbtinio magnetinio srauto valdymas įgyvendinamas periodiškai virpinant gardelę ir įvedant jos mazgų energijų poslinkius. Bendriausiu atveju, tokios optinės gardelės aprašomos hamiltonianu

$$\hat{H}(t) = -J \sum_{\langle i,j \rangle} \hat{c}_i^\dagger \hat{c}_j + \sum_i w_i(t) \hat{c}_i^\dagger \hat{c}_i + \sum_i v_i \hbar \omega \hat{c}_i^\dagger \hat{c}_i, \quad (1)$$

čia \hat{c}_i^\dagger yra dalelės sunaikinimo (sukūrimo) i -tajame mazge operatorius, o $\langle i,j \rangle$ žymi sumavimą per artimiausius kaimyninius mazgus. Pirmasis narys įskaito įprastus tarpkaimyninius šuolius, su tuneliavimo stipriu J , antrasis moduliuoja kiekvieno mazgo energiją funkcija

$$w_i(t) = K \sin(\omega t - \varphi_i), \quad (2)$$

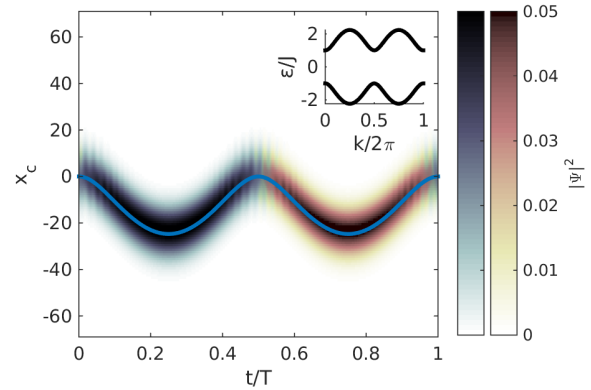
atitinkančia periodinį virpinimą K amplitudės išorine jėga ir dažniu ω . Laikoma, kad fazę φ_i įmanoma parinkti kiekvienam mazgui individualiai. Trečiasis narys įveda pastovios išorinės jėgos sukurtą Wannier-Stark tipo energijos poslinkį per v_i energijos kvantų, reikalingą magnetinį srautą sąlygojančių kompleksinių šuolių atsiradimui.

Pritaikius Floquet teorijos formalizmą gaunamas ilgalaikę šios sistemos dinamiką aprašantis efektyvus hamiltonianas

$$\hat{H}_{\text{eff}} = -J \sum_{\langle i,j \rangle} e^{iv_{ij} \left(\frac{\varphi_i + \varphi_j}{2} \right)} \mathcal{J}_{v_{ij}} \left(\frac{2K}{\hbar\omega} \sin \left(\frac{\varphi_i - \varphi_j}{2} \right) \right) \hat{c}_i^\dagger \hat{c}_j, \quad (3)$$

kai $\mathcal{J}_{v_{ij}}$ yra pirmos rūšies Bessel funkcija ir $v_{ij} \equiv v_i - v_j$. Juo pasinaudojant sudaroma lygčių sistema, kurią išsprendus randamos fazių vertės, reikalingos norimai magnetinių srautų konfigūracijai gauti.

Mokant valdyti srautus, skaitmeniškai tiriama banginio paketo dinamika (pavyzdys 1 pav.) ir jo kontrolės galimybės, esant skirtingoms srauto realizacijoms.



1 pav. Banginio paketo dinamika $x_c(t)$ kvazivienmatėje kvadratinėje gardelėje esant homogeniniam magnetiniam srautui π . Skirtingos spalvos vaizduoja banginio paketo judėjimą skirtingose gardelės šakose, $\epsilon(k)$ – dispersijos sąryšis.

Reikšminiai žodžiai: optinės gardelės, dirbtinis magnetinis srautas, banginio paketo dinamika

Literatūra

- [1] P. Windpassinger, K. Sengstock, Rep. Prog. Phys. **76**, 086401 (2013).
- [2] J. Dalibard, F. Gerbier, G. Juzeliūnas, P. Öhberg, Rev. Mod. Phys. **83**, 1523–1543 (2011).
- [3] A. Eckardt, Rev. Mod. Phys. **89**, 011004 (2017).
- [4] M. Aidelsburger, M. Atala, S. Nascimbène, S. Trotzky, Y.-A. Chen, I. Bloch, Phys. Rev. Lett. **107**, 255301 (2011).
- [5] L. F. Livi, G. Cappellini, M. Diem, L. Franchi, C. Clivati, M. Frittelli, F. Levi, D. Calonico, J. Catani, M. Inguscio, L. Fallani, Phys. Rev. Lett. **117**, 220401 (2016).