Kvantinių sistemų evoliucija su periodiškai nuo laiko priklausančiu hamiltonianu

Viktor Novičenko[1], Egidijus Anisimovas[1,2], Algirdas Mekys[1], Viačeslav Kudriašov[1] ir Gediminas Juzeliūnas[1]

[1]*Vilniaus universiteto Teorinės fizikos ir astronomijos institutas, A. Goštauto g. 12, LT-01108 Vilnius*

[2]*Vilniaus universitetas, Teorinės fizikos katedra, Saulėtekio al. 9, LT-10222 Vilnius*

Įvadas

Pastaraisiais metais yra didelis susidomėjimas periodiškai moduliuotomis kvantinėmis sistemomis, pavyzdžiui aukštu dažniu virpinamomis optinėmis gardelėmis. Optinės gardelės yra sukuriamos pasitelkus koherentinius šviesos pluoštus. Tai gali sukelti įdomius efektus, tokius kaip tuneliavimas sugeriant fotoną [1], Bloch'o juostų rezonansinis kaupinimas [2], dirbtinio magnetinio lauko sukūrimas [3].

Periodinės kvantinės sistemos

Periodinę kvantinę sistemą aprašanti Šredingerio lygtis:

$$i\hbar\frac{\partial}{\partial t}\left|\phi_\theta(t)\right\rangle = \hat H(\omega t+\theta)\left|\phi_\theta(t)\right\rangle \quad \text{kur} \quad \hat H(\omega t+2\pi)=\hat H(\omega t)$$

čia kintamasis θ traktuojamas kaip parametras. Jei pradinės sąlygos yra periodinės pagal θ tai ir visa evoliucija bus periodinė pagal θ:

$$\left|\phi_\theta(t)\right\rangle = \sum_{n=-\infty}^{\infty}\left|\phi^{(n)}(t)\right\rangle e^{in\theta}$$

Todėl originalų uždavinį galima performuluoti įvedus išplėstinę erdvę [4], kuri sudaroma iš tenzorinės sandaugos pagrindinės būsenų erdvės ir 2π periodinių funkcijų erdvės. Išplėstinėje erdvėje hamiltonianui atlikus unitarinę transformaciją $\hat U=\exp(\omega t\partial/\partial\theta)$ būsenos vektoriui $\left|\psi_\theta(t)\right\rangle=\hat U^\dagger\left|\phi_\theta(t)\right\rangle$ gaunama Šredingerio tipo lygtis su hamiltonianu:

$$\hat K = \begin{matrix} \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \iddots \\ \cdots & \hat H^{(0)}-\hbar\omega & \hat H^{(-1)} & \hat H^{(-2)} & \cdots \\ \cdots & \hat H^{(1)} & \hat H^{(0)} & \hat H^{(-1)} & \cdots \\ \cdots & \hat H^{(2)} & \hat H^{(1)} & \hat H^{(0)}+\hbar\omega & \cdots \\ \iddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{matrix} \qquad (*)$$

čia $\hat H^{(n)}$ yra originalaus hamiltoniano Furje skleidimo koeficientai. Išsprendus uždavinį išplėstinėje erdvėje su pradine sąlyga $\left|\bar 0\right\rangle\left|\phi\right\rangle_0$ grįžimas į originalią būsenų erdvę atliekamas taip:

$$\left|\phi_\theta(t)\right\rangle = \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{in(\theta+\omega t)}\left\langle \bar n\right|\exp\left[-i\hat K t/\hbar\right]\left|\bar 0\right\rangle\left|\phi\right\rangle_0$$

Trijų lygmenų sistema

Mes nagrinėjome trijų lygmenų sistemą, aprašomą periodiniu hamiltonianu:

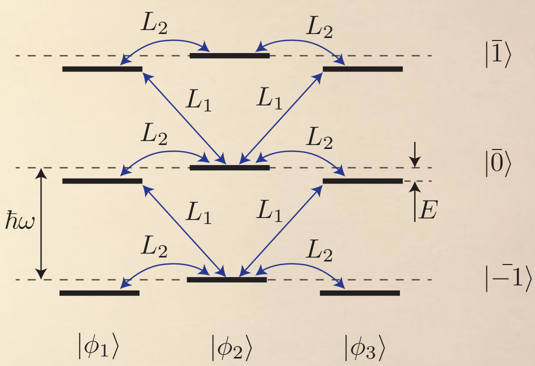
$$\begin{aligned}\hat H(\omega t) = \; & -E\left(\left|\phi_1\right\rangle\left\langle\phi_1\right| + \left|\phi_3\right\rangle\left\langle\phi_3\right|\right) \\ & + \left(L_2+L_1e^{i\omega t}\right)\left(\left|\phi_1\right\rangle\left\langle\phi_2\right| + \left|\phi_3\right\rangle\left\langle\phi_2\right|\right) \\ & + \left(L_2+L_1e^{-i\omega t}\right)\left(\left|\phi_2\right\rangle\left\langle\phi_1\right| + \left|\phi_2\right\rangle\left\langle\phi_3\right|\right)\end{aligned} \qquad (**)$$

Toks hamiltonianas aprašo periodinės moduliacijos poveikį trijų lygmenų atomui. Sistemos mažas parametras ε tenkina tokius sąryšius:

$$L_1/\hbar\omega\sim\varepsilon, \quad L_2/\hbar\omega\sim\varepsilon^2, \quad E/\hbar\omega\sim\varepsilon^2.$$

Panaudojus klasikinę perturbacijų teoriją yra randamos hamiltoniano (*) išplėstinėje erdvėje tikriniai vektoriai ir tikrinės vertės eilutės pavidalu $\epsilon\hbar\omega=\epsilon^{(0)}\hbar\omega+\varepsilon\epsilon^{(1)}\hbar\omega+\varepsilon^2\epsilon^{(2)}\hbar\omega+\ldots$ kur

$$\epsilon^{(0)}=0, \quad \epsilon^{(1)}=0, \quad \epsilon^{(2)}_{1,2,3}=\{-3,-3,0\}.$$



Trijų lygmenų kvantinės sistemos, aprašomos hamiltonianu (**) sąveikos tarp lygmenų schema.

Literatūra

[1] C. Sias, H. Lignier, Y. P. Singh, A. Zenesini, D. Ciampini, O. Morsch, and E. Arimondo, *Phys. Rev. Lett.* **100**, 040404 (2008)

[2] Li-Chung Ha, Logan W. Clark, Colin V. Parker, Brandon M. Anderson, and Cheng Chin, *Phys. Rev. Lett.* **114**, 055301 (2015)

[3] M. Aidelsburger, M. Atala, S. Nascimbène, S. Trotzky, Y.-A. Chen, and I. Bloch, *Phys. Rev. Lett.* **107**, 255301 (2011)

[4] S. Guérin andH. R. Jauslin, *Adv. Chem. Phys.* **125**, 147-267 (2003)

Padėka

Mokslinis tyrimas finansuojamas Europos socialinio fondo lėšomis pagal visuotinės dotacijos priemonę Nr. VP1-3.1-ŠMM-07-K-02-046.