

Vilniaus universitetas  
Fizinių ir technologijos mokslų centras  
Kauno technologijos universitetas  
Vilniaus Gedimino technikos universitetas (VILNIUS TECH)  
Lietuvos fizikų draugija

# 45-oji LIETUVOS NACIONALINĖ FIZIKOS KONFERENCIJA

*2023 m. spalio 25-27 d., Vilnius*

## **PROGRAMA IR PRANEŠIMŲ TEZĖS**



VILNIAUS  
UNIVERSITETO  
LEIDYKLA

2023

Bibliografinė informacija pateikiama

Lietuvos integralios bibliotekų informacinės sistemos (LIBIS) portale [ibiblioteka.lt](http://ibiblioteka.lt).

**ISBN 978-609-07-0981-8** (skaitmeninis PDF)

**DOI:** <https://doi.org/10.15388/LNPC.2023>

Leidinį rengė

LNFK45 organizacinis komitetas

Vilniaus universiteto leidykla, Saulėtekio al. 9, LT-10222 Vilnius

[info@leidykla.vu.lt](mailto:info@leidykla.vu.lt), [www.leidykla.vu.lt](http://www.leidykla.vu.lt)

Knygos internete [knygynas.vu.lt](http://knygynas.vu.lt)

Mokslo periodikos žurnalai [zurnalai.vu.lt](http://zurnalai.vu.lt)

© 2023 LNFK45 Organizacinis komitetas. Published by Vilnius University Press <https://www.vu.lt/leidyba/>

This is an Open Access article distributed under the terms of the <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> Creative Commons Attribution Licence, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

## Analitiniai aukšto dažnio skleidimai kvantinėms sistemoms trikdromoms amplitudiškai moduluota periodine jėga panaudojant srauto lygtį

### Analytical treatment of quantum systems driven by amplitude-modulated time-periodic force using flow equation approach

Viktor Novičenko<sup>1</sup>, Egidijus Anisimovas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Vilniaus universitetas, Fizikos fakultetas, Teorinės fizikos ir astronomijos institutas, Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius  
viktor.novicenko@tfai.vu.lt

Pastaraisiais metais yra didelis susidomėjimas aukšto dažniu virpinamomis kvantinėmis sistemomis. Nere-tai eksperimente nėra galimybės staigiai užkelti virpini-mo amplitudę iki norimos vertės, todėl lėta (palyginus su aukštu dažniu) amplitudės dinamika turi būti įskaityta ieš-kant sistemos efektinę Hamiltonianą [1]. Įdomu tai, kad tam tikros formos Hamiltonianams lėta amplitudės dina-mika sukuria neabelinį vektorinį potencialą [1, 2] kuris gali būti panaudotas holonominėse kvantiniuose skaičia-vimuose [3, 4]

Matematiškai periodinės kvantinės sistemos su pa-pildoma lėta dinamika nagrinėjamos naudojant Floke teo-riją. Jei turime kvantinę sistemą aprašomą Šredingerio lygtimi

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} |\phi(t)\rangle = \hat{H}(\omega t, t) |\phi(t)\rangle \quad (1)$$

su periodiškai (pagal pirmą argumentą) nuo laiko priklaus-sančiu Hamiltonianu  $\hat{H}(\omega t + 2\pi, t) = \hat{H}(\omega t, t)$  bei pa-pildoma lėta laikine priklausomybe ikoduota į antrą argu-mentą, tai tiesioginis būsenos vektoriaus  $|\phi\rangle \in \mathcal{H}$  evoliucijos radimas dažniausiai yra labai sudėtingas uždavinys. Įvedus išplėstinę vektorinę erdvę  $\mathcal{L} = \mathcal{H} \otimes \mathcal{T}$  [5] (čia  $\mathcal{T}$  yra kvadratiškai integruojamų periodinių funkcijų erdvė, o  $\mathcal{H}$  yra kvantinių būsenų Hilberto erdvė), uždavinys (1) susiveda į Šredingerio tipo lygties uždavinį

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} |\psi(t)\rangle\rangle = \hat{\mathcal{K}}(t) |\psi(t)\rangle\rangle, \quad (2)$$

kur  $|\psi\rangle\rangle \in \mathcal{L}$ , o  $\hat{\mathcal{K}}(t)$  yra lėtai nuo laiko (nebeliko grei-tų osciliacijų) priklausantis išplėstinės erdvės Hamiltonia-nas. Operatorius  $\hat{\mathcal{K}}(t)$  yra begalinės dimensijos matrica, kurios koeficientai yra operatoriai veikiantys  $\mathcal{H}$  erdvėje. Vektorinės erdvės  $\mathcal{T}$  bazinius vektorius  $\varphi_n(\theta) = e^{in\theta}$  pa-žymėjus  $|n\rangle$ , išplėstinės erdvės Hamiltonianas turi tokį pa-vidalą

$$\hat{\mathcal{K}}(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} n\hbar\omega \mathbf{1}_{\mathcal{H}} \otimes |n\rangle\langle n| + \sum_{m, n=-\infty}^{+\infty} \hat{H}^{(m)}(t) \otimes |n+m\rangle\langle n|. \quad (3)$$

Čia  $\hat{H}^{(m)}(t)$  yra originalaus Hamiltoniano  $\hat{H}(\omega t, t)$  Furje skleidimo pagal pirmą argumentą komponentės.

Šredingerio lygtį išplėstinėje erdvėje (2) dažniausiai tiksliai išspręsti nepavyksta, todėl yra naudojami pertur-bacijos metodai. Jei pavyktų rasti unitarinį operatorių

$\hat{\mathcal{D}}(t)$  kuris paverstų operatorių  $\hat{\mathcal{K}}(t)$  į blok-diagonalią for-mą

$$\begin{aligned} \hat{\mathcal{K}}_D(t) &= \hat{\mathcal{D}}^\dagger \hat{\mathcal{K}} \hat{\mathcal{D}} - i\hbar \hat{\mathcal{D}}^\dagger \frac{d\hat{\mathcal{D}}}{dt} \\ &= \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \left( n\hbar\omega \mathbf{1}_{\mathcal{H}} + \hat{H}_{\text{eff}}(t) \right) \otimes |n\rangle\langle n|, \end{aligned} \quad (4)$$

tai operatorius  $\hat{H}_{\text{eff}}(t)$  aprašytų efektinę būsenos dinami-ką suvidurkintą per periodines osciliacijas. Tačiau tiks-liai tiek  $\hat{\mathcal{D}}(t)$  tiek  $\hat{H}_{\text{eff}}(t)$  rasti retai kada galima, todėl šie operatoriai dažniausiai ieškomi kaip skleidiniai  $\omega^{-1}$  laipsniais.

Blok-diagonalizavimo uždavinys panašus į statinės ermitinės matricos diagonalizavimo uždavinį, o šie užda-viniai turi įvairių gerai žinomų sprendimo metodų. Vie-nas iš tokių metodų yra sraudo lygčių panaudojimas [6]. Panašiai kaip straipsnyje [7], mes adaptavome srauto lygtis kurios tolygiai blok-diagonalizuoja išplėstinės erdvės Hamiltonianą  $\hat{\mathcal{K}}(t)$  ir gali būti sprendžiamos perturbaty-viai skleidžiant operatorius  $\hat{\mathcal{D}}(t)$  ir  $\hat{H}_{\text{eff}}(t)$  atvirkštinio dažnio laipsniais. Priešingai negu straipsnyje [7], mūsų pasiūlytas sraudo generatorius [8] srautui bėgant neužpil-do aukštų Furje harmonikų ( $\hat{H}^{(m)}(s, t) = \mathbf{0}_{\mathcal{H}}$  visiems  $|m| > m_0$ ) jei tik srauto pradžioje tos harmonikos buvo lygios nuliui ( $\hat{H}^{(m)}(s = 0, t) = \mathbf{0}_{\mathcal{H}}$ ). O šį savybę lei-džia spresti srauto lygtis (nes jų yra baigtinis kiekis, t.y.  $2m_0 + 1$ ) automatiškai su simbolinės algebros paketu, to-kiu kaip *Mathematica* arba *Maple*. Tokių būdų galima au-tomatizuoti efektinio Hamiltoniano  $\hat{H}_{\text{eff}}(t)$  skleidinio ra-dimą iki norimos eilės.

*Reikšminiai žodžiai:* Floke teorija kvantinėms sistemoms, aukšto dažnio skleidimai, srauto lygtis

#### Literatūra

- [1] V. Novičenko, E. Anisimovas ir G. Juzeliūnas, Phys. Rev. A **95**, 023615 (2017)
- [2] V. Novičenko, ir G. Juzeliūnas, Phys. Rev. A **100**, 012127 (2019)
- [3] Z. Chen, J. D. Murphree ir N. P. Bigelow, Phys. Rev. A **101**, 013606 (2020)
- [4] L. W. Cooke, A. Tashchilina, M. Protter, J. Lindon, T. Ooi, F. Marsigliio, J. Maciejko ir L. LeBlanc, arXiv:2307.12957 (2023)
- [5] H. Sambe, Phys. Rev. A **7**, 2204 (1973)
- [6] F. Wegner, Ann. Phys.(Leipzig) **506**, 77 (1994)
- [7] A. Verdeny, A. Mielke ir F. Mintert, Phys. Rev. Lett. **111**, 175301 (2013)
- [8] V. Novičenko, G. Žlabys ir E. Anisimovas, Phys. Rev. A **105**, 012203 (2022)