

Spektroskopija: nuo Rydbergo atomų iki $1/f$ triukšmo

Spectroscopy: from Rydberg atoms to $1/f$ noise

Bronislovas Kaulakys

Vilniaus universitetas, Teorinės fizikos ir astronomijos institutas, Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius

Bronislovas.Kaulakys@tfai.vu.lt

Pranešimas siejasi su šių tezių autoriui kartu su dr. Juliumi Rusecku skirta Lietuvos mokslų akademijos vardine Adolfo Jucio (teorinė fizika) 2017 metų premija už darbų ciklą *Atominių ir sudėtingų sistemų spektroskopija ir stochastiniai reiškiniai*. Todėl čia bus apžvelgiami pranešėjo darbai ir spektroskopijos istorijos Vilniaus universitete elementai, jų sąryšis su bendra spektroskopijos raida.

Gana plačią ilgamečių darbų ciklo mokslinių tyrimų tematiką vienija atominių ir sudėtingų sistemų spektroskopija ir su ja susiję reiškiniai bei tikslas suprasti ir modeliuoti sudėtingas sistemas remiantis fizikiniu požiūriu. Tyrinėjamos sistemos yra labai įvairios: įprastai fizikoje nagrinėjami objektai, tokie kaip stipriai sužadinti (Rydbergo) atomai, netiesinių ir chaotinių sistemų dinamika, kvantinių sistemų matavimo ypatumai ir netgi finansinės ir socialinės sistemos.

Nagrinėjamos Rydbergo kvaziklasikinių atomų savybės [1], jų sąveika su kitais atomais ir jos pasireiškimas spektrų išplitime ir postūmyje [2]. Su kvaziklasikinių sistemų dinamikos ypatumais glaudžiai siejasi kvantinio chaoso problema ir matavimų (stebėjimo) įtaka kvantinių sistemų dinamikai – kvantiniai Zenono ir anti-Zenono efektai [3]. Chaotinės dinamikos tyrimai natūraliai veda į taip vadinamą $1/f$ triukšmo problemą ir jo modeliavimą [4]. Daugelyje sudėtingų sistemų nuo seno stebimas (ir iki šiol vieningai nepaaiškintas) $1/f$ triukšmo reiškinys siejasi su anomaliąja difuzija bei stochastiniu finansinių ir kitų sistemų modeliavimu [5].

Spektroskopija – tai sąveikos tarp medžiagos ir spinduliuojamos energijos tyrimas. Lietuvoje spektroskopijos pradžia laikytini Vilniaus universitete dvidešimtojo amžiaus ketvirtame dešimtmetyje žymaus lenkų fiziko Aleksandro Jablonskio ir VU patriarcho profesoriaus Henriko Horodničiaus, teoretiko Jano Blatono tyrimai. Pokaryje spektroskopiją plėtojo Alfonsas Misiukas-Misiūnas, Povilas Brazdžiūnas, Henrikas Jonaitis su bendradarbiais ir kiti fizikai. Teorinių tyrimų pradžia sietina visų pirma su vieno žymiausių XX a. Lietuvos mokslininkų Adolfo Jucio su kolegomis veikla. Įtakingi Vytauto Bareikio, Ramūno Katiliaus, Arvydo Matulionio, Viliaus Palenskio ir jų bendradarbių fluktuacijų ir triukšmų kondensuotose medžiagose spektroskopijos tyrimai ir organizacinė veikla.

Pranešimo autoriui pavyko išplėtoti stipriai sužadintų (Rydbergo) atomų lygmenų išplitimo ir postūmio teoriją, gauti pakankami tiksliai paprastas formules, kurios aprašo nuo Enriko Fermio bendradarbių iki Petro Serapino ir vėlesnių eksperimentinių stebėjimų rezultatus. Gautas šuolių tarp Rydbergo lygmenų

skerspjuvių išraiškos plačiai naudojamos astrofizikų modeliuose. Paprastos kvaziklasikinės šuolių tarp sužadintų atomų būsenų matricinių elementų išraiškos taip pat turi plačias taikymų perspektyvas. Numatyta ir ištirta difuzinė stipriai sužadintų atomų jonizacija kai Rydbergo atomai dažnai susiduria su kitomis atominėmis dalelėmis arba yra veikiami šiluminio ar mikrobangų spinduliavimo. Aiškinantis kvantinių sistemų chaotinės dinamikos lokalizacijos problemą buvo pasiūlytas kvantinio anti-Zenono efekto terminas.

Tirta $1/f$ triukšmo problema. $1/f$ triukšmas – tai įvairių fizikinių dydžių ir signalų galingumo spektro augimas mažėjant dažniui – jau 90 metų stebimas universalus reiškinys, tačiau iki šiol nesukurta pripažinta vieninga šio efekto teorija. Mūsų pasiūlytas paprastas analiziškai išsprendžiamas $1/f$ triukšmo autoregresinis, AR(1), modelis. Parodyta, kad $1/f$ triukšmą gali sąlygoti signalo impulsų (dalelių, elementarių įvykių) klasterizacija dėl laiko intervalo tarp gretimų impulsų atsitiktinių pokyčių. Modelio apibendrinimai stochastinių netiesinių diferencialinių lygčių metodu, jo savybių tyrimai veda į gilesnį seniai stebimo, bet iki šiol pilnai nepaaiškinto reiškinio supratimą, jo vidinės kilmės atskleidimą ir įvairius taikymus. Modelis susieja signalo x galingumo spektro $S(f) \sim 1/f^\beta$ rodiklį β su signalo intensyvumo skirstinio $P(\lambda) \sim 1/x^\lambda$ rodikliu λ :

$$\beta = 1 + \frac{\lambda - 3}{2(\eta - 1)}, \quad (1)$$

kur η yra sistemos netiesiškumo rodiklis.

Kitas $1/f$ triukšmo modelis, kai signalas yra sudarytas iš impulsų, kaip, pvz., atsitiktinis telegrafo arba generacijos ir rekombinacijos signalas. Tokių signalų suma gali taip pat generuoti $1/f$ triukšmą,

$$S(f) \sim \frac{1}{f} \arg \left(i(1 - \chi_\tau(2\pi f)) \right), \quad (2)$$

išreiškiamą per impulsų arba tarpimpulsinių trukmių τ skirstinio charakteringąją funkciją $\chi_\tau(\omega)$.

Taip pat $1/f^\beta$ triukšmas gali pasireikšti ir kai impulsų arba tarpimpulsinių trukmių skirstinys yra laipsninis. Laipsniniai skirstiniai gali būti gauti ir iš Poisson'o arba eksponentinių skirstinių atitinkamos superpozicijos. Tai siejasi su atsitiktinių telegrafo signalų triukšmu bei su generacijos ir rekombinacijos reiškiniais kondensuotose sistemose su įvairiais elektronų pagavos centrais.

Reikšminiai žodžiai: spektroskopija, Rydbergo atomai, $1/f$ triukšmas, stochastinės lygtys.

Literatūra

- [1] B. Kaulakys, J. Phys. B. **28**, 4963 (1995).
- [2] B. Kaulakys, J. Phys. B. **17**, 4485 (1984).
- [3] B. Kaulakys and V. Gontis, Phys. Rev. A. **56**, 1138 (1997).
- [4] B. Kaulakys and M. Alaburda, J. Stat. Mech. **2009**, P02051 (2009)
- [5] B. Kaulakys, M. Alaburda and J. Ruseckas, J. Stat. Mech. **2016**, P054035 (2016).