

Neigiamas mechaninės bangos energijos srautas

Negative flow of energy in a mechanical wave

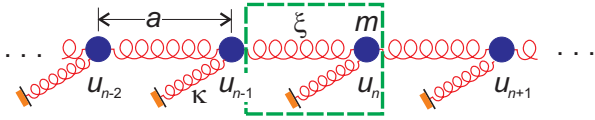
Algirdas Matulis¹, Artūras Acus²

¹Nacionalinis fizinių ir technologijos mokslų centras, Puslaidininkų fizikos institutas, Saulėtekio 3, LT-10257 Vilnius

²Teorinės fizikos ir astronomijos institutas, Vilniaus universitetas, Saulėtekio 3, LT-10257 Vilnius

arturas.acus@tfai.vu.lt

Aprašoma klasikinė sistema [1], kuri yra kvantinės sistemos, pasižyminčios neigiamu tikimybės srautu, analogas. Sistemą sudaro tarpusavyje spyruoklėmis sujungtų rutuliukų grandinė, kurioje kiekvienas rutuliukas papildoma spyruokle dar yra prijungtas prie fiksuotų atramų.



Dėl papildomai prijungtų spyruoklių atsiranda plintančių išilgai grandinės bangų spektre draustinis dažnių ruožas ir dispersija

$$\omega = \sqrt{4\omega_0^2 \sin^2(ka/2) + \Omega^2}, \quad (1)$$

kur

$$\Omega^2 = \kappa/m \quad \text{and} \quad \omega_0^2 = \xi/m. \quad (2)$$

Čia k žymi bėgančios bangos skaičių. Kitų pažymėjimų prasmė paaiškina iš tiriamos sistemos piešinys viršuje. Parodyta, kad perėjus prie tolydinės ribos ir nagrinėjant dviejų bangų, kurių fazės φ_1, φ_2 , o amplitudės 1 ir A superpoziciją, tokioje sistemoje gaunamas bangos energijos srautas:

$$J_0 = \frac{\pi^2 J}{4\omega_1 k_1} = \frac{\pi^2}{4} (\sin \varphi_1 + f \sin \varphi_2) (\sin \varphi_1 + g \sin \varphi_2), \quad (3)$$

kur

$$f = \frac{\omega_2}{\omega_1} A, \quad g = \frac{k_2}{k_1} A = \frac{v_{gr,2}}{v_{gr,1}} f. \quad (4)$$

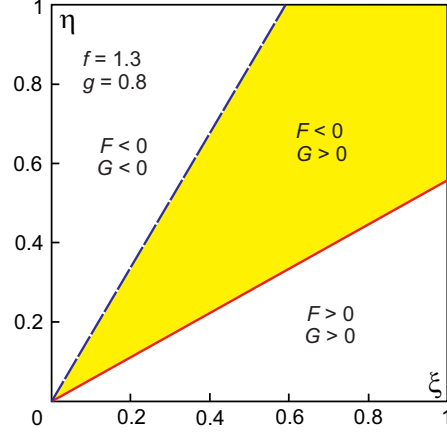
Parinkus tam tikras f ir g vertes jis gali virsti neigiamu. Iš tiesų, pažymėjus

$$\sin \varphi_1 = 2\xi/\pi, \quad \sin \varphi_2 = 2\eta/\pi. \quad (5)$$

galime pakeisti sudėtingą išraišką (3) daugianariu:

$$J_0 = (\xi - f\eta)(\xi - g\eta) = F \cdot G \quad (6)$$

kuriame dydžių kitimas $0 \leq \xi, \eta \leq 1$ yra apribotas kvadrato. Kadangi (6) yra dviejų narių sandauga jų sandauga virsta nuliu kai vienas iš narių tampa nulis, o tai ir žymi srauto su skirtingais ženklais ribą parodytą paveiksle žemiau.



Nuspalvintas plotas tarp dviejų tiesių (mėlynos brūkšniuotos ir raudonos ištisinės) yra parametru sritis, kurioje galima stebėti neigiamą energijos srautą, nes čia (6) formulės daugikliai (F arba G) yra skirtingų ženklų. Iš paveikslo taip pat aišku, kad plotas gaunamas didžiausias kai koeficientų f ir g vertės skiriasi daugiausia.

Apskaičiavę taip pat gavome, kad dviejų interferuojančių bangų atveju šio neigiamo srauto dydis visa eile viršija neigiamo tikimybės srauto dydį kvantiniame uždavinyje [2, 3, 4, 5].

Taip pat yra apskaičiuota klasikinė sistemą aprašančių lygčių Gryno funkcija ir parodyta, kad neigiamo energijos srauto atsiradimas įmanomas ir tada, kai sistema žadinama dviem trumpais nuosekliais impulsais. Ištirtoje klasikinėje sistemoje atsirandantis neigiamo energijos srauto reiškinys aiškinamas energijos išsišakojimu į lokales modas. Tai patvirtina gauti žadinamo išorine jėga disipacinio osciliatoriaus rezultatai. Parodyta, kad net tokioje paprastoje sistemoje įmanomas atbulinis (tiek momentinis, tiek ir vidutinis) energijos srautas.

Reikšminiai žodžiai: Banga, dispersija, energija, neigiamas srautas, 1D gardelė, osciliatorius

Literatūra

- [1] A. Matulis and A. Acus, Negative flow of energy in a mechanical wave Lith. J. Phys. **60**, 205–216 (2020)
- [2] A. J. Bracken and G. F. Melloy, Probability backflow and a new dimensionless quantum number, J. Phys. A **27**, 2197–2211 (1994).
- [3] J. M. Yearsley, J. J. Halliwell, R. Hartshorn, and A. Whitby, Analytical examples, measurement models, and classical limit of quantum backflow, Phys. Rev. A **86**, 042116–1–13 (2012).
- [4] M. V. Berry, Quantum backflow, negative kinetic energy, and optical retro-propagation, J. Phys. A: Math. Theor. **43**, 415302 (2010).
- [5] Anthony Allan D. Villanueva, The negative flow of probability, American Journal of Physics **88**, 325–333 (2020).