

# Kelių kūnų sistemų ryšio energijos skaičiavimai algebriniame branduolio modelyje

## Calculation of Binding Energies in Few-body Systems in Algebraic Nuclear Model

Augustinas Stepšys<sup>1,2</sup>, Saulius Mickevičius<sup>1</sup>, Darius Germanas<sup>2</sup>, Ramutis Kazys Kalinauskas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Vytauto Didžiojo universitetas, K. Donelaičio 58, LT-44248, Kaunas, Lithuania

<sup>2</sup>Fizinių ir technologijos mokslų centras, Savanorių pr. 231, 02300 Vilnius

[augustinas.stepsys@vdu.lt](mailto:augustinas.stepsys@vdu.lt)

Atomo branduolio parametrų skaičiavimui ab-initio metodu yra sėkmingai taikomas bešerdis sluoksnių modelis [1]. Surištą atomo branduolio sistemą aprašantys būsenos vektoriai turi būti ne tik antisimetriški, bet ir transliaciškai invariantiški. Šios dvi sąlygos yra labai svarbios, nes atomo branduoli sudarantys nukleonai yra fermionai, o pati sistema nepriklauso nuo išorinių laukų. Taip pat, reikia pažymėti, kad tarpnukleoninė sąveika priklauso tik nuo santykinų koordinatų.

Transliacinio invariantiškumo problema yra lengvai sprendžiama pereinant nuo viendalelinių sistemos koordinatų prie vidinių. Viena iš galimų tokių koordinatų sistemų yra Jacobi koordinatų sistema. Atlikus ortogonalų koordinatų pakeitimo transformaciją yra pašalinamas sistemos masių centro judėjimas ir dirbama tik su santykinio judėjimo koordinatėmis.

Šis metodas yra pakankamai populiarus tirti s-luoksnių branduoliams. Jakobi koordinatų transformacijų atvaizdai yra lengvai konstruojami harmoninio osciliatoriaus (HO) bazėje [2].

Būsenos vektorių antisimetriją galima užtikrinti keliais metodais. Tradicinis Sleiterio determinantų metodas nėra tinkamas vidinių koordinatų sistemose, nes simetrinės grupės dvidalelinių perstatymų operatorių matricinių elementų išraiškų kiekis tampa pernelyg didelis. Todėl dažniausiai yra stengiamasi išnaudoti tinkamos simetrinės grupės algebros savybes.

Algebriniame modelyje antisimetrinis būsenos vektorių poerdvis yra randamas panaudojant vadinamuosius  $\Lambda$  operatorius [3]. Šie operatoriai gali būti suprantami, kaip simetrinės grupės algebros generatoriai. Jų išraiškos susideda iš dvidalelinių perstatymo operatorių sumų. Diagonalizuojant atitinkamą  $\Lambda$  operatorių yra randami Jungo schemomis charakterizuojami neredukuotiniai poerdviai, o vienas iš šių poerdvių yra antisimetrinis.  $\Lambda$  operatoriaus tikrinių vektorių pagrindu yra konstruojami kilminiai koeficientai pagal simetrinės grupės grandinę:

$$S_N \supset S_{N_1} \times S_{N_2} , \quad (1)$$

kur  $N$  yra sistemos nukleonų kiekis,  $N_1$  pirmo klasterio, o  $N_2$  antro klasterio nukleonų kiekis. Būsenos vektoriai yra konstruojami panaudojant dvinarių klasterių formalizmą, geru kvantiniu skaičiumi laikant pilnutinį judesio kiekio momentą  $J$ . Taip pat, modelyje yra panaudojamas izosukinio formalizmas, t. y. protonas ir neutronas yra laikomi tapatingomis dalelėmis.  $J$

schemoje yra gaunami daug kompaktiškesni ortogonalų transformacijų atvaizdai, tačiau reikiamų transformacijų konstravimas reikalauja ypač kruopštaus darbo su judesio kiekio momento perrišimo koeficientais, išreiškiamais per  $6j$  ir  $9j$  simbolius.

Mes pritaikėme algebrinį modelį trijų ir keturių kūnų sistemoms ( $3H$ ,  $3He$  ir  $4He$ ) ir suskaičiavome ryšio energiją panaudojant fenomenologines sąveikas (Argonne v18 [4], Reid93 [5]) ir naujas sąveikas, sukurtas chiralinės perturbacijų teorijos pagrindu (Idaho N3LO [6]). Gauti rezultatai leidžia palyginti ryšio energijos konvergavimą, patikrinti algebrinio modelio galimybes sudėtingesnių sistemų parametrų skaičiavimui.

*Reikšminiai žodžiai: branduolio fizika, matematinė fizika, ab-initio skaičiavimai.*

### Literatūra

- [1] A. Idini et al. Phys. Rev. Lett. 123, 092501 (2019)
- [2] S. Liebig et al. Eur. Phys. J. A 52, 103 (2016)
- [3] S. Mickevičius et al. Phys. Atom. Nucl. 81, 899 (2018)
- [4] R. B. Wiringa et al. Phys. Rev. C 51, 38-51 (1995)
- [5] V. G. J. Stoks et al. Phys. Rev. C 49, 2950 (1994)
- [6] S. K. Saha et al. Phys. Rev. C 107, 034002 (2023)