

Ф. Р. Аббас*, А. К. Аобаїд

*Фізичний факультет, Коледж природничих наук, Університет Анбар, Рамаді, Ірак**Відповідальний автор: far23u3009@uoanbar.edu.iq

ЯДЕРНА СТРУКТУРА ТА ЕВОЛЮЦІЯ СИМЕТРІЇ В $^{190,192}_{84}\text{Po}$: ВИВЧЕННЯ З МОДЕЛЯМИ IBM-1, VMI ТА GVMI

У цій роботі три ядерні моделі – модель взаємодіючих бозонів-1 (IBM-1), модель змінного моменту інерції (VMI) та її узагальнена форма (узагальнений змінний момент інерції, GVMI) – було використано для дослідження низькорозташованих колективних станів парно-парних ізотопів полонію ^{190}Po та ^{192}Po . Моделі було використано для обчислення рівнів енергії з позитивною парністю $E(L)$, енергій переходів $E\gamma$, приведених ймовірностей електричних квадрупольних переходів $B(E2)$ та електричних квадрупольних моментів Q_L на основі доступних експериментальних даних та схем ідеальних рівнів. Характерні енергетичні співвідношення $E(4_1^+)/E(2_1^+)$, $E(6_1^+)/E(2_1^+)$ та $E(8_1^+)/E(2_1^+)$ було використано для оцінки динамічної симетрії ядер та порівняно з теоретичними межами в групах симетрії SU(5), SU(3) та O(6). Результати показують, що ^{190}Po проявляє домінуючу γ -м'яку симетрію O(6), тоді як ^{192}Po демонструє перехідну поведінку між SU(5) та O(6). Порівняльний аналіз показав гарну відповідність між експериментальними даними та теоретичними прогнозами, зокрема з IBM-1 та GVMI, що підтверджує їхню надійність у моделюванні структурної еволюції в ядрах середньої важкості. Крім того, теоретичні рівні енергії були екстрапольовані для високоспінових станів, які ще не спостерігалися експериментально. Для ^{190}Po , IBM-1 прогнозує стан 16_1^+ при 4,06 MeV, стан 18_1^+ при 4,96 MeV та стан 20_1^+ при 6,01 MeV. Для ^{192}Po передбачені рівні включають 12_1^+ при 3,12 MeV, 14_1^+ при 4,11 MeV та 16_1^+ при 5,20 MeV. Ці передбачення розширюють відомі спектри до спіну 20^+ та пропонують теоретичну основу для майбутньої експериментальної перевірки. Ці результати сприяють глибшому розумінню колективних збуджень та динаміки симетрії в ізотопному ланцюзі полонію.

Ключові слова: IBM-1, VMI, GVMI, ^{190}Po , ^{192}Po , енергетичні рівні, динамічна симетрія.

F. R. Abbas*, A. K. Aobaid

*Department of Physics, College of Education for Pure Science, University of Anbar, Ramadi, Iraq**Corresponding author: far23u3009@uoanbar.edu.iq

NUCLEAR STRUCTURE AND SYMMETRY EVOLUTION IN $^{190,192}_{84}\text{Po}$: INSIGHTS FROM IBM-1, VMI, AND GVMI

In this study, three nuclear models – the Interacting Boson Model-1 (IBM-1), the Variable Moment of Inertia (VMI), and its generalized form (Generalized Variable Moment of Inertia - GVMI) – were employed to investigate the low-lying collective states of the even-even polonium isotopes ^{190}Po and ^{192}Po . The models were used to compute positive-parity energy levels $E(L)$, transition energies $E\gamma$, reduced electric quadrupole transition probabilities $B(E2)$, and electric quadrupole moments Q_L , based on available experimental data and ideal level schemes. Characteristic energy ratios $E(4_1^+)/E(2_1^+)$, $E(6_1^+)/E(2_1^+)$, and $E(8_1^+)/E(2_1^+)$ were evaluated to assess the dynamical symmetries of the nuclei and compared with theoretical limits of the SU(5), SU(3), and O(6) symmetry groups. Results indicate that ^{190}Po exhibits dominant O(6) γ -soft symmetry, while ^{192}Po displays transitional behavior between SU(5) and O(6). Comparative analysis revealed good agreement between experimental data and theoretical predictions, particularly from IBM-1 and GVMI, confirming their reliability in modeling structural evolution in medium-heavy nuclei. In addition, theoretical energy levels were extrapolated for high-spin states not yet experimentally observed. For ^{190}Po , IBM-1 predicts the 16_1^+ state at 4.06 MeV, the 18_1^+ state at 4.96 MeV, and the 20_1^+ state at 6.01 MeV. For ^{192}Po , the predicted levels include 12_1^+ at 3.12 MeV, 14_1^+ at 4.11 MeV, and 16_1^+ at 5.20 MeV. These predictions extend the known spectra up to spin 20^+ and offer a theoretical framework for future experimental validation. These findings contribute to a deeper understanding of collective excitations and symmetry dynamics in the polonium isotopic chain.

Keywords: IBM-1, VMI, GVMI, ^{190}Po - ^{192}Po -isotopes, energy levels, dynamical symmetry.

REFERENCES

1. K. Heyde, J.L. Wood. Shape coexistence in atomic nuclei. *Rev. Mod. Phys.* 83(4) (2011) 1467.
2. A. Oros et al. Shape coexistence in the light Po isotopes. *Nucl. Phys. A* 645 (1999) 107.

3. P.E. Garrett, M. Zielińska, E. Clément. An experimental view on shape coexistence in nuclei. [Prog. Part. Nucl. Phys. 124 \(2022\) 103931](#).
4. U.S. Ghosh et al. Systematic study of potential energy surfaces of odd mass Astatine isotopes. [Proc. of the DAE Symp. on Nucl. Phys. 62 \(2017\) 188](#).
5. W. Younes, J.A. Cizewski. Systematical behavior of even-A polonium isotopes. [Phys. Rev. C 55\(3\) \(1997\) 1218](#).
6. A.N. Andreyev et al. A triplet of differently shaped spin-zero states in the atomic nucleus ^{186}Pb . [Nature 405 \(2000\) 430](#).
7. T.E. Cocolios et al. Early onset of ground state deformation in neutron deficient polonium isotopes. [Phys. Rev. Lett. 106\(5\) \(2010\) 52503](#).
8. V. Prassa, K.E. Karakatsanis. Microscopic description of shape transitions and shape coexistence in Hg isotopes. [Bulg. J. Phys. 48 \(2021\) 495](#).
9. R.F. Casten. *Nuclear Structure from a Simple Perspective*. 2nd edn. (Oxford, Oxford University Press, 2001) 478 p.
10. N. Kesteloot et al. Deformation and mixing of coexisting shapes in neutron-deficient polonium isotopes. [Phys. Rev. C 92 \(2015\) 054301](#).
11. B. Rossé et al. Structure of polonium isotopes at high spin with Rfd + Euroball IV. [Int. J. Mod. Phys. E 13 \(2004\) 47](#).
12. Y.Y. Kassim et al. Evaluating the nuclear properties of $^{120-130}\text{Xe}$ isotopes. [Momento 70 \(2025\) 16](#).
13. R. Lică et al. (IDS Collaboration). Revealing the nature of yrast states in neutron-rich polonium isotopes. [Phys. Rev. Lett. 134\(5\) \(2025\) 052502](#).
14. F. Iachello, A. Arima. *The Interacting Boson Model*. Cambridge Monographs on Mathematical Physics (Cambridge, Cambridge University Press, 2011) 264 p.
15. A. Arima, F. Iachello. The interacting boson model. [Annu. Rev. Nucl. Part. Sci. 31 \(1981\) 75](#).
16. A.M. Khalaf, A.M. Ismail, A.A. Zaki. Nuclear shape transition between the limiting symmetries U(5) and SU(3) of interacting boson model applied to double even Hafnium isotopic chain. [Nucl. Phys. A 996 \(2020\) 121704](#).
17. M. Abdel-Mageed. Investigation of the nuclear structure of even-even $^{96-108}\text{Mo}$ isotopes. [Arab J. Nucl. Sci. Appl. 57\(4\) \(2024\) 9](#).
18. D. Bonatsos, A. Klein. Energies of ground-state bands of even nuclei from generalized variable moment of inertia models. [At. Data Nucl. Data Tables 30\(1\) \(1984\) 27](#).
19. D. Bonatsos, A. Klein. Generalized phenomenological models of the yrast band. [Phys. Rev. C 29\(5\) \(1984\) 1879](#).
20. A.K. Aobaid. Theoretical description of even-even platinum Pt-186 nucleus using IBM and (VMI) models. [East Eur. J. Phys. 2 \(2023\) 69](#).
21. C. Fransen et al. Systematics of low-lying electric dipole excitations in the $A \sim 130-200$ mass region. [Phys. Rev. C 57 \(1998\) 129](#).
22. V. Devi, J.S. Matharu. Spherical to axially symmetric shape transition $\text{SU}(5) \rightarrow \text{SU}(3)$ in the frame work of interacting boson model IBM. [Proc. of the DAE Symp. on Nucl. Phys. 58 \(2013\) 164](#).
23. D. Bucurescu et al. Detailed spectroscopy of ^{113}Cd through transfer reactions. [Nucl. Phys. A 756\(1\) \(2005\) 54](#).
24. G. Kyrchev. On the equivalence of the quadrupole phonon model and the interacting boson model. [Nucl. Phys. A 349\(3-4\) \(1980\) 416](#).
25. P. Vasileiou, D. Bonatsos, T.J. Mertzimekis. Mean-field-derived IBM-1 Hamiltonian with intrinsic triaxial deformation. [Phys. Rev. C 110\(1\) \(2024\) 014313](#).
26. N. Turkan, T. Bascetin, I. Inci. Quadrupole moments of some nuclei around the mass of $A \sim 80$: $^{76,78,80,82,84}\text{Kr}$ and neighboring Se isotopes. [Phys. At. Nucl. 72\(6\) \(2009\) 960](#).
27. I.A. Hamdi, A.K. Aobaid. Description of nuclear properties for $(^{70}_{32}\text{Ge}_{38})$ nucleus in framework of (IBM-1) and (VMI) models. [AIP Conf. Proc. 3018 \(2023\) 020050](#).
28. K.M.A. AlEsawi, A.K. Aobaid. Studying the electric quadruple moments and electric transitions probability of Nd($A = 146-154$) isotopes. [AIP Conf. Proc. 2394 \(2022\) 090026](#).
29. S.H. Al-Fahdawi, A.K. Aobaid. Studying the nuclear structure of the $(^{172}_{70}\text{Yb}_{102})$ deformed nucleus using (IBM-1) and (GVMI) models. [IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1095 \(2021\) 012012](#).
30. J.B. Gupta, A.K. Kavathekar, Y.P. Sabharwal. Reexamination of the variable moment of inertia nuclear softness model. [Phys. Rev. C 56 \(1997\) 3417](#).
31. I.A. Hamdi, A.K. Aobaid. Describe of nuclear structure for germanium $(^{66}_{32}\text{Ge}_{34})$ nucleus under frame (IBM-1, GVMI and VMI) models. [East Eur. J. Phys. 2 \(2023\) 85](#).
32. [Plato Integrated Development Environment \(IDE\) for FTN95 Fortran Compiler](#). Silverfrost Ltd., Manchester, United Kingdom (2024).
33. J.S. Batra, R.K. Gupta. Reformulation of the variable moment of inertia model in terms of nuclear softness. [Phys. Rev. C 43\(4\) \(1991\) 1725](#).
34. B. Singh, J. Chen. Nuclear Data Sheets for $A = 190$. [Nucl. Data Sheets 169 \(2020\) 1](#).
35. C.M. Baglin. Nuclear Data Sheets for $A = 192$. [Nucl. Data Sheets 113\(8-9\) \(2012\) 1871](#).
36. S.E.A. Al-Slami et al. Calculation of energy levels and reduced transition probabilities $B(E2)$ for ^{130}Ba isotope using IBM-1. [J. Phys.: Conf. Ser. 1530 \(2020\) 012088](#).