Письма в ЭЧАЯ. 2025. Т. 22, № 5(262). С. 1071–1072



# ROLE OF VALENCE NUCLEONS IN QUANTUM THEORY OF BACKBENDING PHENOMENON WITHIN THE FRAMEWORK OF THE EXTENDED PARTICLES-PLUS-ROTOR MODEL

*A. M. Ismail* [a], *A. M. Khalaf* [b], *M. Kotb* [b], *Hagar M. El-Tohamy* [a]

[a] Department of Physics, College of Science, Qassim University, Buraidah, 51452, Saudi Arabia
[b] Physics Department, Faculty of Science, Al-Azhar University, Cairo, Egypt

The particle rotor model (PRM) is extended to couple several valence neutrons ($n_N = 2$, 4, 8, 10) to an axially symmetric deformed rotor core containing even number of protons and neutrons and provided with variable moments of inertia (VMI). The considered valence neutrons move in deformed Woods–Saxon potential and confined to an $i_{13/2}$ subshell with projections $\Omega = 1/2$, 3/2, 5/2 and 7/2. We have performed all complete Coriolis band mixing calculations and noticed that the Coriolis interaction is more and more attenuated when more neutrons are added. The dimensions of our Hamiltonian matrices are very large, so we used the Davidson method for diagonalization to extract the eigenvalues (energies) and the eigenvectors. As a particular example for our explicit numerical calculations, we present the case for two valence particles $n_N = 2$ occupying two Nilsson levels with $\Omega_1 = \pm 1/2$ and $\Omega_2 = \pm 3/2$ (matrix $4 \times 4$). For $n_N = 4$ in three levels with $\Omega_1 = \pm 1/2$, $\Omega_2 = \pm 3/2$, $\Omega_3 = \pm 5/2$, the matrix is of order $9 \times 9$, etc. It is found that for only two valence neutrons a sharp backbending happens; and when increasing the number of valence neutrons, the backbending decreases, that is, a smooth-back respective unbending happens. The proposed model has been applied to study the behavior of the yrast positive parity states in even–even hafnium isotopes $^{162-172}$Hf. The calculated energy levels agree excellently with experimental data up to spin $I^\pi = 36^+$. The backbending observed in the yrast and positive parity state in Hf nuclei are attributed to band crossing with rotation aligned $i_{13/2}$ neutrons bands. The $^{162,164}$Hf isotopes show strong backbending and then the backbending becomes less severe with increasing neutron numbers. The behavior of aligned angular momentum, which characterizes the rotational bands, is also discussed.

Модель частицы-ротора расширена нами до учета связи нескольких валентных нейтронов ($n_N = 2$, 4, 8, 10) с аксиально-симметричным деформированным кором ротора, содержащим четное число протонов и нейтронов, и также изменяющихся моментов инерции (ИМИ). Рассматриваемые валентные нейтроны двигаются в деформированном потенциале Вудса–Саксона в пределах подоболочки $i_{13/2}$ с проекциями $\Omega = 1/2$, 3/2, 5/2 и 7/2. В работе были проведены все полные вычисления полос смешивания Кориолиса. И было замечено, что взаимодействие Кориолиса ослабевает с увеличением числа нейтронов. Так как размерности учитываемых в вычислениях матриц Гамильтона очень большие, был использован метод Дэвидсона для их диагонализации с целью получения собственных значений (энергий) и собственных векторов. В приложении к работе приводится пример численных расчетов для случая двух валентных частиц $n_N = 2$, занимающих два уровня Нильссона с $\Omega_1 = \pm 1/2$ и $\Omega_2 = \pm 3/2$ (матрица $4 \times 4$). В случае $n_N = 4$ на трех уровнях с $\Omega_1 = \pm 1/2$, $\Omega_2 = \pm 3/2$, $\Omega_3 = \pm 5/2$ матрица имеет размерность порядка $9 \times 9$ и т. д. Расчеты показывают, что для случая только двух валентных нейтронов имеет место резкий бекбендинг, а при увеличении числа валентных нейтронов бекбендинг уменьшается, т. е. происходит плавное ослабление эффекта бекбендинга. Предла-

гаемая в работе модель применяется для изучения поведения yrast положительных состояний по четности четно-четных изотопов гафния $^{162-172}$Hf. Вычисляемые при этом уровни энергии прекрасно согласуются с экспериментальными данными вплоть до спина $I^{\pi} = 36^{+}$. Бекбендинг, наблюдаемый в yrast, и положительное состояние четности в ядрах Hf объясняются пересечением полосы с вращением вдоль полос нейтронов с $i_{13/2}$. Изотопы $^{162,164}$Hf демонстрируют сильный бекбендинг, который уменьшается с увеличением числа нейтронов. Также обсуждается поведение выстроенного углового момента, характеризующего полосы вращения.

PACS: 21.10.–k; 21.10.Re

Received on January 13, 2025.