

ВНЕСОК ПІГМІ-ДИПОЛЬНОГО РЕЗОНАНСУ В ЕНЕРГЕТИЧНО-ВЗВАЖЕНЕ ПРАВИЛО СУМ ДЛЯ Е1-ПЕРЕХОДІВ

В. А. Плюйко, О. М. Горбаченко, Н. О. Романовський

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

На різноманітні ядерні процеси може суттєво впливати присутність низькорозташованого колективного стану, а саме т.з. пігмі-дипольного резонансу (ПДР) [1-3]. Середня поведінка і деякі систематики характеристик ПДР були нами проаналізовані в роботах [4,5]. В даній роботі розглянуто опис внесків ізовекторних ПДР в енергетично-взважене правило сум (ЕВПС) для дипольних електричних переходів у середніх і важких атомних ядрах з надлишком нейтронів. Порівнюються результати з використанням аналітичних виразів для внеску ПДР, $m_{L=1}^1(\text{PDR})$, у Е1 ЕВПС [6] у відповідності до 1) молекулярного правила сум [7] та 2) кінетичного рівняння Власова у фазовому просторі з умовою дзеркального відбиття частинок від поверхні [8]. Побудовані систематики для ЕВПС. Результати порівнюються з експериментальними даними.

Згідно молекулярного правила сум [7] відношення внесків від ПДР і гігантського дипольного резонансу (ГДР) можна представити у вигляді [5]

$$\bar{s}_p \equiv \frac{m_{L=1}^1(\text{PDR})}{m_{L=1}^1(\text{GDR})} = \frac{Z}{A - N \cdot \sqrt{15} \cdot \Delta r_{np} / R_0} \frac{\sqrt{15} \cdot \Delta r_{np}}{R_0} \equiv \bar{s}_{p,1}, \quad (1)$$

де Δr_{np} є товщиною нейтронної шкіри. Для неї використовується параметризація [5]: $\Delta r_{np} = 0.62 - 0.22 \cdot A^{1/3} + 0.003 \cdot A + (0.47 \cdot A^{1/3} - 0.009 \cdot A) \cdot I$ фм, де $I = (N - Z) / A$, $R_0 = 1.15 A^{1/3}$ фм.

У лептодермічному наближенні та при $N \cong Z \cong A/2$ цей вираз має вигляд: $\bar{s}_{p,1} \cong 1.68 \Delta r_{np} A^{-1/3}$. Тобто у такому наближенні відношення внесків ПДР і ГДР визначається головним чином величиною $\Delta r_{np} A^{-1/3}$. Тому систематика внеску ПДР в ЕВПС вибиралася у вигляді

$$\bar{s}_p = \delta (\Delta r_{np} A^{-1/3})^\gamma \equiv \bar{s}_{p,sys}. \quad (2)$$

Якщо вважати, що повне Е1 ЕВПС складається з суми внесків станів ГДР та ПДР ($m_{L=1}^1 = m_{L=1}^1(\text{GDR}) + m_{L=1}^1(\text{PDR})$), то маємо для відносних внесків ПДР і ГДР

$$s_p \equiv s_{p,1} = \sigma_{\text{int}}(\text{PDR}) / \sigma_{\text{int}} \equiv m_{L=1}^1(\text{PDR}) / m_{L=1}^1 = \bar{s}_{p,1} / (1 + \bar{s}_{p,1}) \quad (3)$$

Інший вираз для внеску ПДР у ЕВПС для Е1 переходів був отриманий в роботі [8] у квазикласичному наближенні з використанням кінетичного рівняння Власова у фазовому просторі з умовою дзеркального відбиття частинок від нерухомої поверхні. В лептодермічному наближенні та при $N \cong Z \cong A/2$ таке співвідношення має вигляд:

$$s_p \equiv s_{p,2} = m_{L=1}^1(\text{PDR}) / m_{L=1}^1 \cong \sqrt{2} (\delta r_{np} / R_0)^{3/2} = 2.1 (\Delta r_{np} / R_0)^{3/2}, \quad (4)$$

а $\bar{s}_p \equiv \bar{s}_{p,2} = m_{L=1}^1(\text{PDR}) / m_{L=1}^1(\text{GDR}) = s_{p,2} / (1 - s_{p,2})$.

Параметри δ , γ систематики (2) були обчислені методом найменших квадратів з підгонки цим виразом значень мікроскопічних розрахунків, а також незалежно експериментальних значень (відповідні посилання наведені у [5]). При використанні мікроскопічних результатів були отримано такі значення $\delta = 0.37$, $\gamma = 0.55$, а для експериментальних даних з використанням постійних похибок були отримано $\delta = 0.37$, $\gamma = 0.78$. Порівняння внесків ПДР станів у Е1 ЕВПС за формулами (1)-(4) з експериментальними даними представлено на рисунку 1.

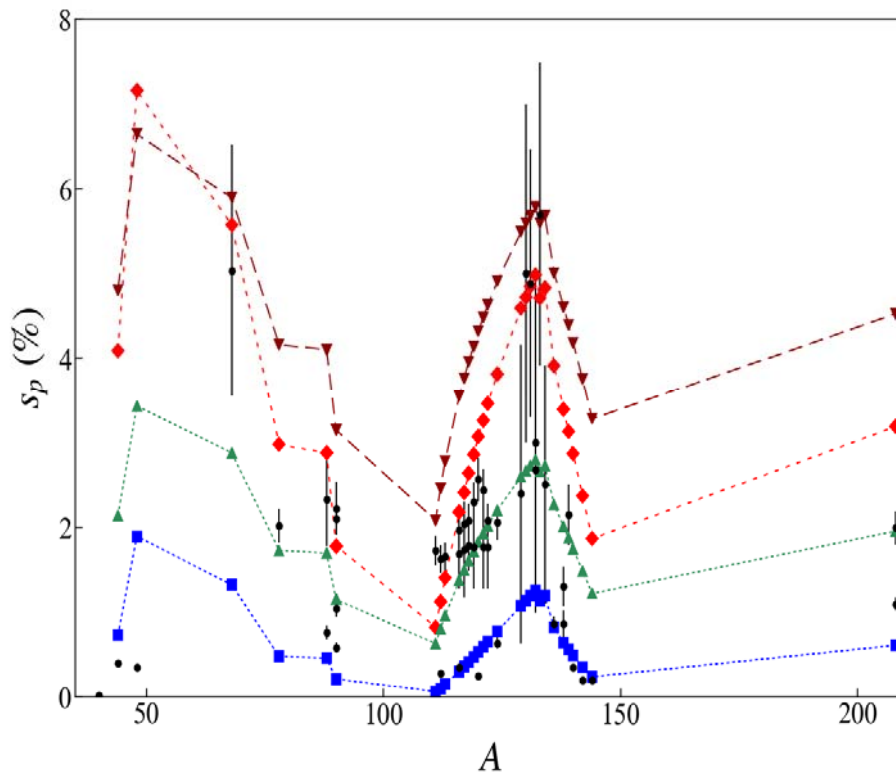


Рис. 1. Порівняння внесків ПДР станів у Е1 ЕЗПС за формулами (1)-(4) з експериментальними даними. Позначення: чорні точки (з похибками або без)- експериментальні дані; ромб \blacklozenge - $s_{p,1}$ обчислення за формулою (1); квадрат \blacksquare - $s_{p,2}$ формула (4); трикутник \blacktriangle - систематика (2) з параметрами з підгонки експериментальних даних; перевернутий трикутник \blacktriangledown - систематика (2) з параметрами з підгонки мікроскопічних обчислень.

Видно, що систематика (2) статистично краще описує дані для відношення внесків ПДР і ГДР, ніж аналітичні вирази (1), (4). Систематика (2), обчислена з параметрами за мікроскопічними розрахунками, загалом дає вищі значення внеску ПДР, тоді як значення, що обчислені за систематикою з параметрами за експериментальними лежать нижче.

В.А.П та О.М.Г дякують фонду НФДУ за часткову підтримку досліджень (грант НФДУ 2023.05/0024 «Вирішення сучасних проблем хімії, біомедицини, фізики та матеріалознавства з використанням центру високопродуктивних обчислень і машинного навчання»).

1. M. Arnould, S. Goriely, K. Takahashi. Phys. Rep. 450 (2007) 97.
2. E.G. Lanza et al. Progr. Part. and Nucl. Phys. 129 (2023) 104006.
3. A. Zilges et al. Prog. Part. Nucl. Phys. 122 (2022) 103903.
4. В.А. Плюйко, О.М. Горбаченко, Н.О. Романовський. Ядерна фізика та енергетика 26(2) (2025) 105.
5. V.A. Plujko, O.M. Gorbachenko, N.O. Romanovskiy. Phys. Rev. C 113 (2026) 044322.
6. Y. Alhassid, M. Gai, G.F. Bertsch. Phys. Rev. Lett. 49 (1982) 1482.
7. E. Lipparini, S. Stringari. Phys.Rep. 175 (1989) 103.
8. В.І. Абросімов, О.І. Давидовська. Укр. Фіз. Журнал. 54 (11) (2009) 1069.