

INVESTIGATION OF NEUTRON CAPTURE REACTION ON $^{93-96}\text{Zr}$ ISOTOPES IN THE STELLAR ENVIRONMENT

Z. U. Abideen^{a,1}, A. Kabir^{a,b}, K. Nabi^a

^a Department of Space Science, Institute of Space Technology, Islamabad, 44000, Pakistan

^b Space & Astrophysics Research Laboratory, National Center of GIS & Space Applications,
Institute of Space Technology, Islamabad, 44000, Pakistan

This study presents a comprehensive theoretical analysis of neutron capture reactions on the zirconium isotopes $^{93-96}\text{Zr}$ under stellar conditions relevant to the *s*-process of nucleosynthesis. Using the Hauser–Feshbach formalism as implemented in the TALYS v2.1 code, Maxwellian-averaged cross sections (MACS) were calculated over a thermal energy range of $kT = 5–100$ keV, with a particular focus on $kT = 30$ keV. Various combinations of nuclear level density and photon strength function models were tested, including both phenomenological and microscopic approaches. The empirically tuned Brink–Axel model consistently yielded the closest agreement with available experimental data across all isotopes. Among the microscopic models, the Skyrme HFB + QRPA framework emerged as the most robust, reproducing MACS values within 10–30% of experimental measurements. The Kopecky–Uhl model significantly underestimated cross sections for all reactions studied. These findings emphasize the critical importance of accurate nuclear input selection for reliable modeling of neutron capture rates in astrophysical environments.

В работе представлен комплексный теоретический анализ реакций захвата нейтронов на изотопах циркония $^{93-96}\text{Zr}$ в условиях, соответствующих *s*-процессу нуклеосинтеза. С использованием формализма Хаузера–Фешбаха, реализованного в коде TALYS v2.1, рассчитаны максвелловские усредненные сечения (MACS) в диапазоне тепловых энергий $kT = 5–100$ кэВ с особым акцентом на $kT = 30$ кэВ. Были протестированы различные комбинации моделей плотности ядерных уровней и силовой функции фотонов, включая как феноменологические, так и микроскопические подходы. Эмпирическая модель Бринка–Акселя стабильно дает наиболее близкое согласие с имеющимися экспериментальными данными по всем изотопам. Среди микроскопических моделей наиболее надежной оказалась модель Skyrme HFB + QRPA, воспроизводящая значения MACS в пределах 10–30% экспериментальных измерений. Модель Копецкого–Уля значительно занижает сечения всех исследованных реакций. Эти результаты подчеркивают критическую важность точного выбора исходных ядер для надежного моделирования скоростей захвата нейтронов в астрофизических условиях.

PACS: 25.40.Lw; 28.20.Ka

Received on July 21, 2025.

¹E-mail: dominuszain@gmail.com