

*Наконечний І.А., Вастерова М.Д., Чирка Ю.В., Іванова І.М.*  
*Національний технічний університет України «Київський політехнічний*  
*інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, пр.Берестейський 37,*  
*email: [nakonechnyi.illia@lil.kpi.ua](mailto:nakonechnyi.illia@lil.kpi.ua)*

## **КЛАСТЕРНИЙ РОЗПАД: ЩО ЗНАХОДИТЬСЯ МІЖ АЛЬФА РОЗПАДОМ ТА СПОНТАННИМ ПОДІЛОМ?**

*Анотація.* Проведено аналіз сучасного розуміння поняття кластерного розпаду та експериментальних досліджень цього напрямку. Сформувано основні проблеми подальшого вивчення даного класу розпадів.

*Abstract.* This work provides general information about the concept of cluster decay and experimental studies. Also we tried to formulate main problems for further research.

**Ключові слова:** кластерний розпад, кластер, радіоактивність.

**Keywords:** cluster decay, cluster, radioactivity.

Нині кластерний розпад має широке застосування, зокрема для розуміння ядерних реакцій та властивостей ядра [1]. Саме тому для нового етапу ядерної фізики, застосування теорії кластерного розпаду залишається актуальним. Метою цього дослідження є розкриття теорії, що пов'язана з даним типом ядерних процесів та прогнозування подальших можливостей застосування знання про кластерний розпад.

*Кластерний розпад* — це ядерний процес, проміжний між альфа-розпадом і спонтанним поділом, під час якого радіоактивний атом випускає кластер (нове структурне утворення нейтронів і протонів, котре більше за альфа-частинку, проте менше за подвійний фрагмент поділу).

Хоча термін “кластерний розпад” технічно включає альфа-розпад, вони зазвичай розглядаються окремо, оскільки останній більш поширений. Рідкісність цього процесу пояснюється тим, що кластерна радіоактивність маскується кількома  $\alpha$  та  $\beta^-$  розпадами. Окрім цього він – також обмежений у області важких атомів, які мають енергію, щоб викинути частину свого ядра.

Розпад кластерів помітно відрізняється від спонтанного поділу. У разі спонтанного поділу буде багато різних видів дочірніх продуктів. При розпаді кластера завжди випромінюється одна й та сама частинка. Спільним для

кластерного та  $\alpha$ - розпадів є бар'єрний механізм реалізації кінцевого стану: утворення альфа-частинок або ансамблю різних фрагментів ділення.

Для пояснення кластерної радіоактивності використовують поєднання адіабатичних та неадіабатичних підходів залежно від маси випромінюваного кластера. При цьому маса  $A \sim 35$  стає критичним  $f$  параметром переходу між цими підходами.

Для проблем кластерної радіоактивності цікаво досліджувати ймовірності виходу фрагментів поділу важких ядер і встановлення факторів впливу на це дослідження. Таке завдання може бути вирішене в рамках наближення після поділу, коли конкретні характеристики розподілу маси або заряду визначаються відповідно до характеру термодинамічного впорядкування продуктів поділу ядра.

Досліджуючи залежності ймовірностей ( $P$ ) виходів різних фрагментів поділу з зарядовим числом  $Z_i$  для урану, видно, що результати не дуже чутливі до ізотопного складу урану ( $^{233}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  чи  $^{238}\text{U}$ ); однак на них дуже впливають параметри збудження розщеплюваного ядра.

Ступінь збудження  $^{234}\text{U}$  надає особливий вплив на "врожайність" фрагментів поділу ядра. З переходом від «холодної» ( $t = 0,5$  MeV) до «гарячої» ( $t = 2,0$  MeV) стадій поділу, збільшується ймовірність кластерів, що утворюються внаслідок розпаду.

Уперше кластерну радіоактивність було передбачено у працях Сандулеску, Поенару, Грейнер 1980 р. [2]. Чотири роки потому Роуз і Джонс з Оксфордського університету повідомили про свій експеримент із кластерної радіоактивності з материнського ядра [3].

Розрахунки систематичного режиму розпаду кластера були показані в [4]. З ASAF (analytical super asymmetric fission – аналітичне супер асиметричне ділення) [5], що моделює період напіврозпаду всіх комбінацій (близько  $10^5$ ) пари фрагментів  $^{A_e}Z_e$  та  $^{A_d}Z_d$  з зарядовим числом кластера  $2 < Z_d < 28$  для кожного  $^AZ$ . Найкоротший період напіврозпаду відповідає  $\alpha$  – розпаду, для  $^{14}\text{C}$  (для ізотопів Ra) або  $^{24}\text{Ne}$  (для ізотопів U) кластерам.

Потрійний поділ є порівняно рідкісним (від 0,2% до 0,4% від загальної кількості подвійних явищ поділу) різновидом ядерного поділу, під час якого утворюються три заряджені продукти [6]. Найменший із заряджених продуктів може варіюватися від такого малого заряду та маси, як один протон ( $Z = 1$ ), до такого великого фрагмента, як ядро аргону ( $Z = 18$ ), або навіть

більше. Найпоширенішим дрібним уламком є гелій-4 (близько 90% від загального виходу).

Отже теорія кластерного розпаду допомагає нам краще досягнути деякі космологічні процеси. Наприклад, його використання можна застосувати для дослідження еволюції зір та формування ядерних елементів у них. Також він може мати важливі наслідки і в контексті ядерної енергетики. Дослідження кластерного розпаду можуть також допомогти в розробці нових методів отримання ядерної енергії за допомогою ядерних реакторів, в основу яких покладено ці процеси.

## ЛІТЕРАТУРА

- [1] A. D. Skorbun, O.A. Kuchmagra, G.I. Odinokin, V.T. Maslyuk, M.I. Romanyuk. “*On the possibility to detect acts of cluster decay of atomic nuclei by the methods of noise diagnostic*”. Problems of atomic science and technology (ISSN 1562-6016). №3 (127). p.143-147. (2020).
- [2] Sändulescu, A., Poenaru, D. N., & Greiner, W. “*New Type of Decay of Heavy Nuclei Intermediate between Fission and Alpha-Decay*”. Soviet Journal Particles and Nuclei, №11, p.528-541. (1980).
- [3] Rose, H. J., & Jones, G. A. “*A New Kind of Natural Radioactivity*”. Nature, vol. 307 (Issue 5948), p.245-247. (1984). doi.org/10.1038/307245a0
- [4] W. Greiner, M. Ivascu, D.N. Poenaru, A. Sandulescu in “*Treatise on Heavy Ion Science*”, vol. 8, editors by D.A. Bromley (Plenum, New York, 1989), p.641 doi.org/10.1007/978-1-4613-0713-6
- [5] D.N. Poenaru (ed.), R.A. Gherghescu. “*Nuclear Decay Modes*”. Journal of Nuclear Physics, Material Sciences, Radiation and Applications, vol.8, №1. p.65-70. (2020) doi.org/10.15415/jnp.2020.81008
- [6] Poenaru, D. N., Greiner, W., & Gherghescu, R. A. “*Energy Released in Ternary Fission*”. Atomic Data and Nuclear Data Tables, vol.68(1), p.91-147. (1998). doi.org/10.1006/adnd.1997.0758