

**О. О. Белюскаина, В. І. Гранцев, К. К. Кісурін, С. Є. Омельчук, Ю. С. Рознюк,  
Б. А. Руденко, Л. І. Слюсаренко, Б. Г. Стружко**

*Институт ядерних досліджень НАН України, Київ*

### **ЕНЕРГЕТИЧНІ РОЗПОДІЛИ ПРОТОНІВ У $D(d, p)$ РЕАКЦІЇ**

На прискорювачі У-240 ІЯД НАН України при енергії дейтронів  $E_d = 36,9$  МеВ отримано інклюзивні спектри протонів із реакції  $D(d, p)$  для вивчення енергетичного розподілу протонів у континуумі. Теоретичний аналіз проведено за спрощеною мікроскопічною дифракційною теорією, розробленою В. К. Тартаковським для тричастинкових реакцій розщеплення, та за моделями, що враховують механізми взаємодії в кінцевому стані пар «нейтрон - протон» у синглетному й триплетному спінових станах. Виявлено, що на кутах вильоту протонів  $\theta_p \sim 15^\circ$  процеси дифракційного розщеплення та процеси взаємодії в кінцевому стані практично рівноймовірні. Зі збільшенням кута вильоту протонів переважає процес дифракційного розщеплення дейтрона пучка. Теоретичні розподіли, що враховують дифракційне розщеплення та взаємодію в кінцевому каналі реакції, задовільно узгоджуються з експериментальними.

*Ключові слова:* дейтрон,  $d + d$ -реакція, енергетичні спектри, мікроскопічна дифракційна модель, розщеплення, взаємодія в кінцевому стані.

**О. О. Белюскаина, В. И. Гранцев, К. К. Кисурин, С. Е. Омельчук, Ю. С. Рознюк,  
Б. А. Руденко, Л. И. Слюсаренко, Б. Г. Стружко**

*Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев*

### **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОТОНОВ В $D(d, p)$ РЕАКЦИИ**

Измерены инклюзивные спектры протонов в реакции  $D(d, p)$  на ускорителе У-240 Института ядерных исследований НАН Украины при энергии дейтронов  $E_d = 36,9$  МэВ для изучения энергетического распределения протонов в континууме. Теоретический анализ выполнен по упрощенной микроскопической дифракционной модели, разработанной В. К. Тартаковским для трехчастичных реакций развала, и по моделям, учитывающим взаимодействие в конечном состоянии пар «нейтрон - протон» в синглетном и триплетном спиновых состояниях. Результаты проведенного анализа показывают, что на углах вылета протонов  $\theta_p \sim 15^\circ$  процессы дифракционного развала и процессы взаимодействия в конечном состоянии практически одинаковы. С увеличением угла вылета протонов дифракционный развал преобладает. Удовлетворительное согласие теоретических и экспериментальных распределений протонов достигается благодаря учету процессов дифракционного развала и взаимодействия в выходном канале реакций пар «нейтрон - протон».

*Ключевые слова:* дейтрон,  $d + d$ -реакция, энергетические спектры, микроскопическая дифракционная модель, расщепление, взаимодействие в конечном состоянии.

**O. O. Beiyuskina, V. I. Grantsev, K. K. Kisurin, S. E. Omelchuk, Yu. S. Roznyuk,  
B. A. Rudenko, L. I. Slusarenko, B. G. Struzhko**

*Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv*

### **ENERGY DISTRIBUTIONS OF PROTONS IN $D(d, p)$ REACTION**

Energy distributions of protons in continuum from  $D(d, p)$  reaction were obtained with 36.9 MeV deuteron beam of the U240 cyclotron accelerator of Institute for Nuclear Research of NAS of Ukraine. Analysis of energy distributions of protons in three-body break-up reactions were carried out according to the microscopic diffraction theory, developed by V. K. Tartakovsky. It is important that proposed model takes into account the contribution of final state interactions of  $np$  couples in singlet and triplet spin states. It was shown that for angle  $\theta_p \sim 15^\circ$  processes of contributions of diffraction break-up and processes of interaction in final state are equally probable. For greater angles the contribution of deuteron diffraction break-up process becomes more important. Satisfactory matching of experimental and theoretical distributions of diffraction break-up is achieved by taking into account the final state interactions in exit reaction channel.

*Keywords:* deuteron,  $d + d$ -reactions, energy spectra, microscopic diffraction model, break-up, final state interaction.

REFERENCES

1. *Rybakov B.V., Sidorov V.A., Vlasov N.A.* Break of deuterons on H, D,  $^3\text{He}$  and  $^4\text{He}$  // Nucl. Phys. - 1961. - Vol. 23. - P. 491 - 498.
2. *Lefevre H.W., Borchers R.R., Poppe C.H.* Neutrons from deuteron breakup on D, T and  $^4\text{He}$  // Phys. Rev. - 1962. - Vol. 128, No. 3. - P. 1328 - 1335.
3. *Pope C., Buget N., Blyth C.O. et al.* A search for spin dependent effects in the three body final state from the  $^2\text{H}(d, n)pd$  reaction at 11.3 MeV incident deuteron energy // J. Phys. A: Gen. Phys. - 1972. - Vol. 5. - P. L33 - L37.
4. *Van Oers W.T.H., Brockman K.W.* Proton spectra from d + d breakup at 25.3 MeV // Nucl. Phys. - 1965. - Vol. 74. P. - 73 - 80.
5. *Fukunaga K., Ohsawa T., Kakigi S. et al.* Energy spectra of deuterons and protons for the d + d reaction at 60 MeV // Nucl. Phys. - 1982. - Vol. A390. - P. 19 - 28.
6. *Beliuskina O.O., Grantsev V.I., Kisurin K.K. et al.* // Izvestiya RAN. Ser. fiz. - 2013. - Vol. 77, No. 7. - P. 981 - 987; Bull. RAS. - 2013. - Vol. 77, No. 7. - P. 893 - 899. (Rus)
7. *Beliuskina O.O., Grantsev V.I., Kisurin K.K. et al.* Distribution of deuterons in the three-body break-up reactions in d+d collisions // VANT. - 2013. - Vol. 85, No. 3. - P. 162 - 167.
8. *Beliuskina O.O., Berdnychenko S.V., Grantsev V.I. et al.* // Nucl. Phys. At. Energy. - 2007. - No. 3 (21). - P. 54 - 59. (Ukr)
9. *Beliuskina O.O., Grantsev V.I., Davydovs'kyi V.V. et al.* // Ukr. fiz. zhurn. - 2009. - Vol. 54, No. 7. - P. 658 - 668. (Ukr)
10. *Tartakovskij V.K.* // Izv. vuzov SSSR. Fizika (Tomsk). - 1980. - No. 9. - P. 3 - 8. (Rus)
11. *Tartakovskij V.K., Fursaev A.V., Sidorenko B.I.* // Yadernaya fizika. - 2005. - Vol. 68. - P. 35. (Rus)
12. *Tartakovs'kyi V.K., Koval'chuk V.I.* // Zhurnal fizychnykh doslidzhen' (L'viv). - 2006. - Vol. 10. - P. 29 - 34. (Ukr)
13. *Beliuskina O.O., Grantsev V.I., Davydovskyy V.V. et al.* // Izv. RAN. Ser. fiz. - 2011. - Vol. 75, No. 7. - P. 988 - 993. (Rus); *Beliuskina O.O., Grantsev V.I., Davydovskyy V.V. et al.* Quasi-Free Inclusive Processes in the Two-Particle Splitting of Tritons by Deuterons with an Energy 37 MeV // Bull. RAS. - 2011. - Vol. 75, No. 7. - P. 925 - 930.
14. *Beliuskina O.O., Grantsev V.I., Kisurin K.K. et al.* // Yadernaya fizika. - 2012. - Vol. 75, No. 12. - P. 1532 - 1543. (Rus); *Beliuskina O.O., Grantsev V.I., Kisurin K.K. et al.* Breakup of deuterons on tritons // Physics of Atomic Nuclei. - 2012. - Vol. 75, No. 12. - P. 1454 - 1465.
15. *Beliuskina O.O., Grantsev V.I., Davydovskyy V.V. et al.* // Izv. RAN. Ser. fiz. - 2010. - Vol. 74, No. 6. - P. 798. (Rus); *Beliuskina O.O., Grantsev V.I., Davydovskyy V.V. et al.* T(d, p)tn reactions at a deuteron energy of 37 MeV // Bull. Russ. Acad. Sci. - 2010. - Vol. 74, No. 6. - P. 761.
16. *Akhiyezer O.I., Sytenko O.G.* // UFZh. - 1958. - Vol. 3. - P. 16 - 34. (Ukr)
17. *Warner R. E., Di Cenzo S. B., Ball G. G. et al.* Final-state interactions in the  $^2\text{H}(d, pp)nn$  reaction // Nucl. Phys. - 1975. - Vol. A243. - P. 189 - 201.
18. *Leeman B. Th., Pugh H.G., Chant N.S., Chang C.C.D* + D four-body breakup at 80 MeV // Phys. Rev. - 1978. - Vol. C17. - P. 410.
19. *Warner R.E.* Reinterpretation of the  $^2\text{H}(d, pp)nn$  reaction at 80 MeV // Phys. Rev. - 1981. - Vol. C24. - P. 2759.
20. *Konfederatenko V.I., Pirnak V.M., Pylypchenko V.A. et al.* // Ukr. fiz. zhurn. - 1997. - Vol. 42. - P. 1175 - 1181. (Ukr)
21. *Struzhko B.* FSI and QFS in the four-body d + d reaction at 46,7 MeV // Journal of Physical Studies. - 1999. Vol. 3, No. 4. - P. 431 - 436.
22. *Struzhko B.* Four-body d + d reaction at 46,7 MeV // Acta Physica Polonica B. - 1999. - Vol. 30, No. 5. - P. 1487 - 1492.
23. *Lebedev V.M., Neudatchin V.G., Struzhko B.G.* Reactions Involving the Flip of the Deuteron Spin and Isospin and Supermultiplet Potential Model for the Interaction of Extremely Light Clusters // Physics of Atomic Nuclei. - 2002. - Vol. 65, No. 3. - P. 462 - 477.
24. *Watson K.M.* The effect of final state interactions on reaction cross section // Phys. Rev. - 1952. - Vol. 88. - P. 1163 - 1170.
25. *Migdal A.B.* // ZhETF. - 1955. - Vol. 28. - P. 3 - 10. (Rus)
26. *Machleidt R.* The meson theory of nuclear forces and nuclear structure // Advances in nuclear physics. - 1989. - Vol. 19. - P. 189 - 376.

Надійшла 02.07.2015

Received 02.07.2015