

**В. О. Тарасов, С. А. Чернеженко, А. О. Какаєв, О. Д. Березовський, В. В. Войтенко**

*Одеський національний політехнічний університет, Одеса*

**ПРО СПЕКТР НЕЙТРОНІВ, ЩО УПОВІЛЬНЮЮТЬСЯ,  
ВИПРОМІНЕНИХ ІЗОТРОПНИМ ДЖЕРЕЛОМ У ГАЗОПОДІБНОМУ ПАЛИВІ**

У рамках газової моделі вперше отримано аналітичний вираз для рівняння розсіювання нейтронів для ізотропного джерела нейтронів, який містить – як параметр – температуру середовища, що уповільнює нейтрони. Отримане рівняння розсіювання ґрунтується на розв'язку кінематичної задачі про пружне розсіювання нейтрона на ядрі в загальному випадку, коли до розсіювання не тільки нейтрон, але і ядро має довільно заданий вектор швидкості в лабораторній системі координат «Л». Для нового рівняння розсіювання знайдено щільності потоку і спектри уповільнення нейтронів для реакторного середовища, що ділиться, що також залежать від температури середовища. Отримані вирази для спектрів нейтронів, що уповільнюються, дають змогу по-новому інтерпретувати фізичну природу процесів, що визначають вид спектра нейтронів у тепловій області нейтронів.

*Ключові слова:* теорія уповільнення, нейтрони, ядерні реактори, температура середовища.

**В. А. Тарасов, С. А. Чернеженко, А. А. Какаєв, А. Д. Березовский, В. В. Войтенко**

*Одесский национальный политехнический университет, Одесса*

**О СПЕКТРЕ ЗАМЕДЛЯЮЩИХСЯ НЕЙТРОНОВ,  
ИСПУСКАЕМЫХ ИЗОТРОПНЫМ ИСТОЧНИКОМ В ГАЗОБРАЗНОМ ТОПЛИВЕ**

В рамках газовой модели впервые получено аналитическое выражение для уравнения рассеяния нейтронов для изотропного источника нейтронов, включающее температуру замедляющей среды как параметр. Полученное уравнение рассеяния основывается на решении кинематической задачи об упругом рассеянии нейтрона на ядре в общем случае, когда до рассеяния не только нейтрон, но и ядро обладает произвольно заданным вектором скорости в лабораторной системе координат «Л». Для нового уравнения рассеяния найдены плотности потока и спектры замедления нейтронов для реакторной делящейся среды, также зависящие от температуры среды. Полученные выражения для спектров замедляющихся нейтронов позволяют по-новому интерпретировать физическую природу процессов, определяющих вид спектра нейтронов в тепловой области нейтронов.

*Ключевые слова:* теория замедления, нейтроны, ядерные реакторы, температура среды.

**V. O. Tarasov, S. A. Chernezhenko, A. O. Kakaev, O. D. Berezovskiy, V. V. Voytenko**

*Odesa National Polytechnic University, Odesa*

**ON THE SPECTRUM OF MODERATED NEUTRONS  
EMITTED BY THE ISOTROPIC SOURCE IN THE GAS FUEL**

Analytical formula for the equation of the neutron scattering for isotropic neutron source, which includes the temperature of the moderating medium as the parameter, was first obtained in the given work in the framework of gas model of the medium. The obtained equation of the scattering is based on the solution of the kinematic problem of elastic scattering of neutron at the nucleus in “L”-system in general case, when before the scattering not only neutron but the nucleus also have the arbitrary velocity vector in “L”-system of coordinates. The neutron flux and moderating spectra depending on the media temperature were found for this new equation of the scattering. Obtained expression for the moderating neutron spectra allows the new interpretation of the processes, which determine neutron spectra in the thermal area.

*Keywords:* slowing down theory, neutrons, nuclear reactors, medium temperature.

REFERENCES

1. *Weinberg A., Wigner E.* Physical theory of nuclear reactors. - Moskva: Izdatelstvo inostrannoj literatury, 1961. - 732 p (Rus).
2. *Akhiezer A.I., Pomeranchuk I.Ya.* Introduction to the theory of neutron multiplying systems (reactors). - Moskva: IzdAT, 2002. - 367 p. (Rus)
3. *Galanin A.D.* The theory of nuclear thermal reactors. - M: Atomizdat, 1971. - 529 p. (Rus)
4. *Feinberg S.M., Shikhov S.B., Troyanskij V.B.* The theory of nuclear reactors. Vol. 1. - Moskva: Atomizdat, 1978. - 400 p. (Rus)
5. *Bartolomej G.G., Bat' G.A., Bajbakov V.D., Alkhutov M.S.* Fundamentals of the theory and methods of nuclear

- power reactors calculation. - Moskva: Energoatomizdat, 1989. - 512 p. (Rus)
6. *Shirokov S.V.* Physics of nuclear reactors. - Kyiv: Naukova dumka, 1998. - 288 p. (Rus)
  7. *MCNP* - A General Monte Carlo N-particle Transport Code. Version 4C / Ed. J. F. Briesmeister. - Los Alamos National Laboratory, NM (USA). Report No. LA-13709-M. March 2000. - 788 p.
  8. *Agostinelli S., Allison J., Amak K. et al.* Geant4 - a simulation toolkit // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. - 2003. - Vol. 506, Iss. 3. - P. 250 - 303.
  9. *Rusov V.D., Linnik E.P., Tarasov V.A. et al.* Traveling Wave Reactor and Condition of Existence of Nuclear Burning Soliton-like Wave in Neutron-Multiplicating Media // Energies (Special Issue "Advances in Nuclear Energy"). - 2011. - No. - P. 1337 - 1361.
  10. *Rusov V.D., Tarasov V.A., Cherezhenko S.A.* // Voprosy atomnoj nauki i tekhniki. Seriya "Fizika radiatsionnykh povrezhdenij i radiatsionnoe materialovedenie". - 2011. - Iss. 2(97). - P. 123 - 131. (Rus)
  11. *Prigozhin I.* Introduction into thermodynamics of irreversible processes. - Izhevsk: SRC "Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika", 2001. - 160 p. (Rus)
  12. *Bakhareva I.F.* Nonlinear nonequilibrium thermodynamics. - Izdatel'stvo Saratovskogo unyversyteta, 1976. - 140 p. (Rus)
  13. *Kvasnikov I.A.* Thermodynamics and statistical physics. Vol. 3: Theory of nonequilibrium systems. - Moskva: Editorial URSS, 2003. - 448 p. (Rus)
  14. *Rusov V.D., Tarasov V.A., Sharf I.V. et al.* On some fundamental peculiarities of the traveling wave reactor operation // Science and Technology of Nuclear Installations. - 2015. - Vol. 2015. - P. 1 - 23.
  15. *Rusov V.D., Tarasov V.A., Eingorn M.V. et al.* Ultraslow wave nuclear burning of uranium-plutonium fissile medium on epithermal neutrons // Progress in Nuclear Energy. - 2015. - Vol. 83. - P. 105 - 122.
  16. *Kolesov V.F.* Aperiodic pulsed reactors. Vol. 1. - Sarov: Izdatel'stvo "VNIIEF", 2007. - 553 p. (Rus)
  17. *Lukin A.V.* Physics pulsed nuclear reactors. - Snezhinsk: Izdatel'stvo "VNIIEF", 2006. - 528 p. (Rus)
  18. *Arapov A.V., Devyatkin A.A., Drozdov Y.Yu., Mochkaev M.V.* // Problemy fiziki vysokikh plotnostej energii. XII Kharitonovskie tematicheskie nauchnye chteniya. Doklady. - Sarov: Izdatel'stvo "VNIIEF", 2010. - P. 22 - 27 p. (Rus)
  19. *Rusov V.D., Pavlovich V.N., Vaschenko V.N. et al.* Geoantineutrino spectrum and slow nuclear burning on the boundary of the liquid and solid phases of the Earth's core // Journal of Geophysical Research. - 2007. - Vol. 112, B09203. - P. 1 - 16.
  20. *Levich V.G.* The course of theoretical physics. Vol. 1. - Moskva: Nauka, 1969. - 910 p. (Rus)
  21. *Rusov V.D., Tarasov V.A., Kosenko S.Y., Cherezhenko S.A.* // Voprosy atomnoj nauki i tekhniki. Seriya "Fizika radiatsionnykh povrezhdenij i radiatsionnoe materialovedenie". - 2012. - Iss. 2(78). - P. 68 - 72. (Rus)
  22. *Short guide of engineer-physicist.* - Moskva: Gosudarstvennoe izdatel'stvo literatury v oblasti atomnoj nauki i tekhniki, 1961. - 507 p. (Rus)
  23. *Vladimirov V.I.* Practical tasks in the operation of nuclear reactors. - Moskva: Energatomizdat, 1986. - 304 p. (Rus)
  24. *Chadwick M.B., Herman M., Obložinský P. et al.* ENDF/B-VII.1 Nuclear Data for Science and Technology: Cross Sections, Covariances, Fission Product Yields and Decay Data // Nuclear Data Sheets. - 2011. - Vol. 112, Iss. 12. - P. 2887 - 2996.

Надійшла 10.05.2016

Received 10.05.2016