

**Л. А. Булавин<sup>1,2</sup>, О. В. Томчук<sup>1,3</sup>, М. В. Авдеев<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

<sup>2</sup> Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, Київ

<sup>3</sup> Об'єднаний інститут ядерних досліджень, Дубна, Росія

## **ДОСЛІДЖЕННЯ БУДОВИ КЛАСТЕРІВ У ВОДНИХ СУСПЕНЗІЯХ НАНОАЛМАЗІВ МЕТОДОМ МАЛОКУТОВОГО РОЗСІЯННЯ НЕЙТРОНІВ**

Представлено результати дослідження структури різних типів рідинних систем «вода - детонаційний наноалмаз», які отримано за допомогою методу малокутового розсіяння теплових нейтронів. Було показано, що в діапазоні масових часток (0,3÷1,8) % експериментальні спектри добре описуються дворівневою моделлю універсального експоненційно-степенного наближення. Отримані структурні параметри дозволили оцінити числа агрегації в досліджуваних системах. Знайдено розміри наноалмазних частинок та їхніх кластерів, а також фрактальну розмірність останніх.

*Ключові слова:* детонаційні наноалмази, малокутове розсіяння нейтронів, фрактальні кластери, число агрегації.

**Л. А. Булавин<sup>1,2</sup>, А. В. Томчук<sup>1,3</sup>, М. В. Авдеев<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев

<sup>2</sup> Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Киев

<sup>3</sup> Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОЕНИЯ КЛАСТЕРОВ В ВОДНЫХ СУСПЕНЗИЯХ НАНОАЛМАЗОВ МЕТОДОМ МАЛОУГЛОВОГО РАССЕЯНИЯ НЕЙТРОНОВ**

Представлены результаты исследования структуры разных типов жидкостных систем «вода - детонационный наноалмаз», которые получены с помощью метода малоуглового рассеяния тепловых нейтронов. Было показано, что в диапазоне массовых долей (0,3÷1,8) % экспериментальные спектры хорошо описываются двухуровневой моделью универсального экспоненциально-степенного приближения. Полученные структурные параметры позволили оценить числа агрегации в исследуемых системах. Найденны размеры наноалмазных частиц и их кластеров, а также фрактальная размерность последних.

*Ключевые слова:* детонационные наноалмази, малоугловое рассеяние нейтронов, фрактальные кластеры, число агрегации.

**L. A. Bulavin<sup>1,2</sup>, O. V. Tomchuk<sup>1,3</sup>, M. V. Avdeev<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Taras Shevchenko National University, Kyiv

<sup>2</sup> Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

<sup>3</sup> Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

## **INVESTIGATION OF THE CLUSTER STRUCTURE IN AQUEOUS SUSPENSIONS OF NANODIAMONDS BY SMALL-ANGLE NEUTRON SCATTERING**

The paper presents the results of the structural study of various types of the water-detonation nanodiamond liquid systems, which are obtained by small-angle scattering of thermal neutrons. It was shown that in the mass fraction range (0.3÷1.8) % the experimental spectra are well described by a two-level model of unified exponential/power-law approach. The resulting structural parameters allowed us to estimate the aggregation number in the studied systems. Sizes of the nanodiamond particles and their clusters are found as well as the fractal dimension of the latter.

*Keywords:* detonation nanodiamonds, small-angle neutron scattering, fractal clusters, aggregation number.

### **REFERENCES**

1. Shenderova O.A., Zhirnov V.V., Brenner D.W. Carbon nanostructures // Crit. Rev. Solid State Mater. Sci. - 2002. - Vol. 27. - P. 227 - 356.
2. Osawa E. Monodisperse single nanodiamond particulates // Pure Appl. Chem. - 2008. - Vol. 80. - P. 1365 - 1379.
3. Dolmatov V.Yu.. Ultradisperse diamonds of detonation synthesis: properties and applications // Uspekhi Khimii. - 2001. - Vol. 70, No.7. - P. 687-708. (Rus)
4. Krüger A., Ozawa M., Jarre G. et al. Deagglomeration and functionalisation of detonation diamond // Phys. Status Solidi A. - 2007. - Vol. 204. - P. 2881 - 2887.
5. Chao J.I., Perevedentseva E., Chung P.H. et al. Nanometer-sized diamond particle as a probe for biolabeling // Biophys. J. - 2007. - Vol. 93. - P. 2199 - 2208.
6. Krüger A., Kataoka F., Ozawa M. et al. Unusually tight aggregation in detonation diamond: identification and disintegration // Carbon. - 2005. - Vol. 43. - P. 1722 - 1730.

7. *Avdeev M.V., Rozhkova N.N., Aksenov V.L. et al.* Aggregate Structure in Concentrated Liquid Dispersions of Ultrananocrystalline Diamond by Small-Angle Neutron Scattering // *J. Phys. Chem. C.* - 2009. - Vol. 133. - P. 9473 - 9479.
8. *Feigin L.A., Svergun D.I.* Structure analysis by small-angle x-ray and neutron scattering. - New York: Plenum Press. - 1987. - 335 p.
9. *Tomchuk O.V., Avdeev M.V., Bulavin L.A. et al.* Small-angle neutron scattering by fractal clusters in aqueous dispersions of nanodiamonds // *Physics of Particles and Nuclei Lett.* - 2011. - Vol. 8, No. 10. - P. 1046 - 1048.
10. *Avdeev M.V., Aksenov V.L., Tomchuk O.V. et al.* The spatial diamond-graphite transition in detonation nanodiamond as revealed by small-angle neutron scattering // *J. Phys.: Condens. Matter.* - 2013. - Vol. 25. - P. 445001 (7 p).
11. *Tomchuk O.V., Bulavin L.A., Aksenov V.L. et al.* Small-angle scattering from polydisperse particles with a diffusive surface // *J. Appl. Cryst.* - 2014. - Vol. 47. - P. 642 - 653.
12. *Tomchuk O.V., Volkov D.S., Bulavin L.A. et al.* Structural characteristics of aqueous dispersions of detonation nanodiamond and their aggregate fractions as revealed by small-angle neutron scattering // *J. Phys. Chem. C.* - 2015. - Vol. 119. - P. 794 - 802.
13. *Tomchuk O.V., Avdeev M.V., Aksenov V.L. et al.* Comparative structural characterization of the water dispersions of detonation nanodiamonds by small-angle neutron scattering // *J. Surf. Inv. X-ray, Synchr. Neutr. Techn.* - 2012. - Vol. 6, No. 5. - P. 821 - 824.
14. *Nagornyj A.V., Bulavin L.A., Petrenko V.I. et al.* Determination of the structure factor of interparticle interactions in the ferrofluid by small-angle neutron scattering // *Nucl. Phys. Atom. Energ.* - 2013. - Vol. 58(8). - P. 735 - 741. (Ukr)
15. *Aleksenskii A.E., Eydelman E.D., Vul' A.Y.* Deagglomeration of detonation nanodiamonds // *Nanosci. Nanotechnol. Lett.* - 2011. - Vol. 3. - P. 68 - 74.
16. *Zhao J., Meerwinck W., Niinkoski T. et al.* The polarized target station at GKSS // *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A.* - 1995. - Vol. 356. - P. 133.
17. *Ostanevich Y.M.* Time-of-flight small-angle scattering spectrometers on pulsed neutron sources // *Macromol. Chem., Macromol. Symp.* - 1988. - Vol. 15. - P. 91 - 103.
18. *Kuklin A.I., Islamov A.Kh., Kovalev Yu.S. et al.* Optimization of the two-detector system of the YuMO small-angle neutron spectrometer for investigation of nanoobjects // *Poverkhnost'. Rentgenovskie, Sinkhrotronnye i Neitronnye Issledovaniya.* - 2006. - No. 6. - P. 73 - 84. (Rus)
19. *Schmidt P.W.* Small-angle scattering studies of disordered, porous and fractal systems // *J. Appl. Cryst.* - 1991. - Vol. 24. - P. 414 - 435.
20. *Beaucage G.* Small-angle scattering from polymeric mass fractals of arbitrary mass-fractal dimension // *J. Appl. Cryst.* - 1996. - Vol. 29. - P. 134 - 149.
21. *Beaucage G., Kammler H.K., Pratsinis S.E.* Particle size distributions from small-angle scattering using global scattering functions // *J. Appl. Cryst.* - 2004. - Vol. 37. - P. 523 - 535.

Надійшла 02.04.2015  
Received 02.04.2015