

**А. В. Нагорний<sup>1,2</sup>, Л. А. Булавин<sup>1,3</sup>, В. І. Петренко<sup>1,2</sup>, О. І. Іваньков<sup>1,2</sup>,  
О. В. Томчук<sup>1,2</sup>, М. В. Авдєєв<sup>2</sup>, Л. Векаш<sup>4</sup>**

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

<sup>2</sup> Об'єднаний інститут ядерних досліджень, Дубна, Росія

<sup>3</sup> Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, Київ

<sup>4</sup> Центр фундаментальних і передових технічних досліджень, Румунська АН, Тімішоара, Румунія

## **ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРНОГО ФАКТОРА МІЖЧАСТИНКОВОЇ ВЗАЄМОДІЇ У ФЕРОФЛЮІДІ ЗА ДАНИМИ МАЛОКУТОВОГО РОЗСІЯННЯ НЕЙТРОНІВ**

Представлено результати дослідження структури та міжчастинкової взаємодії полярної магнітної рідинної системи з різним вмістом магнетиту, отримані методом малокутового розсіяння нейтронів (МКРН). Експеримент проводився на спектрометрі малокутового розсіяння ЮМО реактора ІБР-2 в Об'єднаному інституті ядерних досліджень (Дубна, Росія). В якості магнітної рідинної системи було використано ферофлюїд магнетит/олеїнова та додецил-бензолсульфонова кислоти/ізобутанол. Було показано, що експериментальні МКРН криві добре описуються лише форм-фактором полідисперсних сферичних частинок для концентрацій магнетиту ~ 0,5 об. % у системі. Для більших концентрацій магнітного матеріалу в об'ємі ферофлюїдів було знайдено значний вплив структурного фактора на МКРН дані. Наведено експериментально отримані залежності ефективного структурного фактора та проведено порівняння з теоретичною залежністю, розрахованою для потенціалу твердих сфер у полідисперсному наближенні.

*Ключові слова:* магнітні рідинні системи, ферофлюїди, малокутове розсіяння нейтронів, структурний фактор, міжчастинкова взаємодія.

**А. В. Нагорный<sup>1,2</sup>, Л. А. Булавин<sup>1,3</sup>, В. И. Петренко<sup>1,2</sup>,  
О. И. Иваньков<sup>1,2</sup>, О. В. Томчук<sup>1,2</sup>, М. В. Авдеев<sup>2</sup>, Л. Векаш<sup>4</sup>**

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

<sup>2</sup> Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

<sup>3</sup> Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Киев

<sup>4</sup> Центр фундаментальных и передовых технических исследований, Румынская АН,  
Тимишоара, Румыния

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНОГО ФАКТОРА МЕЖЧАСТИЧНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ФЕРРОЖИДКОСТИ ПО ДАННЫМ МАЛОУГЛОВОГО РАССЕЯНИЯ НЕЙТРОНОВ**

Представлены результаты исследований структуры и межчастичного взаимодействия полярной магнитной жидкости с разным содержанием магнетита, которые получены методом малоуглового рассеяния нейтронов (МУРН). Эксперимент проводился на спектрометре малоуглового рассеяния ЮМО реактора ИБР-2 Объединного института ядерных исследований (Дубна, Россия). В качестве магнитной жидкостной системы был использован феррофлюид магнетит/олеиновая и додецил-бензолсульфоновоая кислоты/изобутанол. Показано, что экспериментальные кривые МУРН хорошо описываются форм-фактором полидисперсных сферических частиц только для жидкостных систем с концентрацией магнетита ~ 0,5 об. %. Для больших концентраций магнитного материала в объеме феррофлюида наблюдалось существенное влияние структурного фактора на МУРН спектры. В исследуемом диапазоне концентраций магнитного материала, агрегация магнитных частиц и молекул стабилизатора не происходит. Наводятся экспериментально полученные зависимости эффективного структурного фактора и приводится дополнительное сравнение с теоретической зависимостью, рассчитанной для потенциала твердых сфер в полидисперсном приближении.

*Ключевые слова:* магнитные жидкости, феррофлюиды, малоугловое рассеяние нейтронов, структурный фактор, межчастичное взаимодействие.

A. V. Nagornyi<sup>1,2</sup>, L. A. Bulavin<sup>1,3</sup>, V. I. Petrenko<sup>1,2</sup>,  
O. I. Ivankov<sup>1,2</sup>, O. V. Tomchuk<sup>1,2</sup>, M. V. Avdeev<sup>2</sup>, L. Vékás<sup>4</sup>

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

<sup>2</sup> Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Moscow region, Russia

<sup>3</sup> Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

<sup>4</sup> Center for Fundamental and Advanced Technical Research, Romanian Academy of Sciences,  
Timisoara, Romania

## DETERMINATION OF THE STRUCTURE FACTOR OF INTERPARTICLE INTERACTIONS IN THE FERROFLUID BY SMALL-ANGLE NEUTRON SCATTERING

Results of the structure and interparticle interaction investigations of polar magnetic fluid with different content of magnetite, which are obtained by small-angle neutron scattering (SANS) are presented in the work. The experiment was performed on small-angle scattering spectrometer YuMO at the Pulsed Reactor IBR-2 in the Joint Institute for Nuclear Research (Dubna, Russia). Polar ferrofluid magnetite/oleic and dodecyl-benzenesulfonic acid/isobutanol was considered. It is shown that the experimental SANS curves are well described by form-factor for polydisperse spherical particles only for ferrofluids with magnetite concentration of about 0.5 vol. %. Significant effect of structural factors on the SANS spectra was observed for respectively large concentrations of magnetic material in the volume of ferrofluid. Aggregation of magnetic particles and the molecules of the stabilizer do not occur in the considered concentration range of magnetic material. Experimentally obtained dependences of the effective structure factor as well as the comparison with the theoretical curve calculated for the hard sphere potential in polydisperse approximation are presented in the work

*Keywords:* magnetic fluid, ferrofluid, small angle neutron scattering, structure factor, the interparticle interaction.

### REFERENCES

1. Berkovski B. Magnetic Fluids and Applications Handbook. - N.-Y.: Beggel House Inc., 1996. - P. 350.
2. Iwamoto Y., Yamaguchi H., Niu X.-D. // J. Mag. Mag. Mater. - 2011. - 323 - P. 1378 - 1383.
3. *Proceedings of the 11-th Int. Conf. on Magnetic Fluids* / Ed. by P. Kopcansky, M. Timko, J. Kovac, M. Vaclavikova, S. Odenbach // J. of Physics: Condensed Matter. - 2008. - Vol. 20(20). - P. 200301.
4. Johannsen M., Thiesen B., Wust P., Jordan A. // Int. J. Hyperthermia. - 2010. - Vol. 26(8). - P. 790 - 795.
5. Jordan A., Scholz R., Maier-Hauff K. et al. // J. Mag. Mag. Mater. - 2001. - Vol. 225. - P. 118 - 126.
6. Avdeev M.V., Aksenov V.L. // UFN. - 2010. - Vol. 180. - P. 1009 - 1034. (Rus)
7. Petrenko V.I., Avdeev M.V., Aksenov V.L. et al. // J. of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. - 2009. - Vol. 3(1). - P. 161 - 164.
8. Fertman V.E. Magnetic fluids. - Minsk: Vyshejschaya shkola, 1988. - 184 p. (Rus)
9. Avdeev M.V., Aksenov V.L., Balasoiu M. et al. // J. Coll. Interf. Sc. - 2006. - Vol. 295. - P. 100 - 107.
10. Ostanevich Y.M. // Macromol. Chem., Macromol. Symp. - 1988. - Vol. 15. - P. 91 - 103.
11. Kuklin A.I., Islamov A.Kh., Kovalev Yu.S. et al. // Poverkhnost. - 2006. - Iss. 6. - P. 73 - 84. (Rus)
12. Kuklin A., Rogov A., Gorshkova Y. et al. // Physics of Particles and Nuclei Letters. - 2011. - Vol. 8. - P. 119 - 128.
13. Pedersen J.S. // J. Coll. Interf. Sc. - 1997. - Vol. 70. - P. 171 - 210.
14. Svergun D.I., Fejgin L.A. X-ray and neutron small-angle scattering. - Moskva: Nauka, 1986. - 280 p.
15. Avdeev M.V., Balasoiu M., Aksenov V.L. et al. // J. Magn. Magn. Mater. - 2004. - Vol. 270. - P. 371 - 379.
16. Nagornyj A.V., Bulavin L.A., Petrenko V.I. et al. // Ukr. J. Phys. - 2013. - Vol. 58(8). - P. 735 - 741. (Ukr)
17. Gazeau F., Boue F., Dubois E., Perzynski R. // J. Phys. Condens. Matter. - 2003. - Vol. 15. - S1305.
18. Petrenko V.I., Aksenov V.L., Avdeev M.V. et al. // Physics of the Solid State. - 2010. - Vol. 52(5). - P. 974 - 978.
19. Petrenko V.I., Avdeev M.V., Garamus V.M. et al. // Colloids Surf. A. - 2010. - Vol. 369. - P. 160 - 164.
20. Frenkel D., Vos R.J., de Kruif C.G., Vrij A. // J. Chem. Phys. - 1986. - Vol. 84(8). - P. 4625 - 4630.

Надійшла 25.12.2013  
Received 25.12.2013