

Neutrons and X-rays in the development of novel ferrofluids

Ferrofluids — stable colloidal suspensions of ferromagnetic or ferrimagnetic nanoparticles in a liquid — are widely investigated for many technical and biomedical applications, including water treatment, energy harvesting and transfer, vibration control, magnetic electromagnetic wave absorption, energy storage applications, hyperthermia, magnetic drug delivery, biocatalysis, enzyme immobilization, DNA separation and purification, non-invasive magnetic resonance imaging, etc.

In the last decade, extensive research has been going on to develop various approaches to the synthesis of magnetic nanoparticles (MNPs). Various

synthetic methods are used or under development to obtain MNPs of desired size, morphology, stability and biocompatibility, as this determines many of chemical and physical properties associated with nanoparticles. Recently, the production of controlled-shape ferrite nanoparticles has become another requirement for researchers, and it has already been found that the size and shape of MNPs are highly dependent on the type of surfactants and solvents used in different reaction conditions.

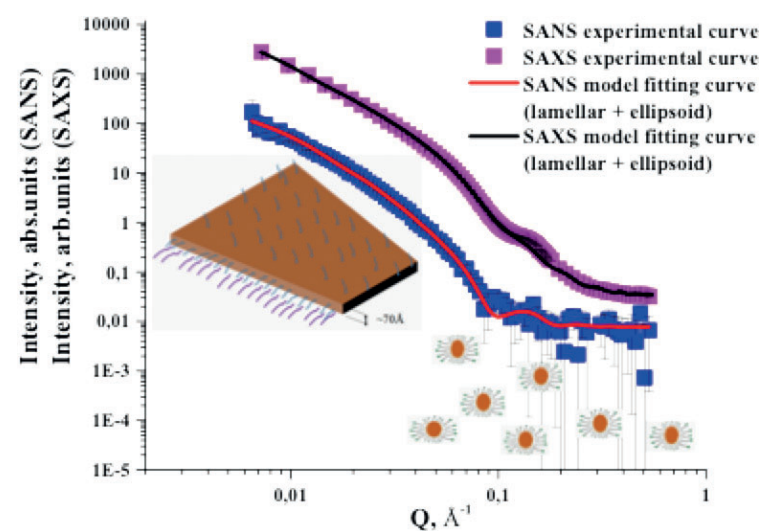
Small-angle scattering comes handy in the studies of the structural properties of ferrofluids. Using small-angle neutron and X-ray scattering in

Fig. 1

SANS and SAXS experimental and fitted curves of water-based ferrofluid with BaFe₁₂O₁₉ nanoparticles. The inserts represent schematically the shape of detected particles.

Рис. 1

Экспериментальные и аппроксимирующие кривые МУРН и МУРР для феррожидкости на водной основе с наночастицами BaFe₁₂O₁₉. Вставки схематически изображают обнаруженные формы частиц.



Методы рассеяния в разработке новых феррожидкостей

Феррожидкости широко исследуются для технических и биомедицинских применений, включая очистку воды, сбор и передачу энергии, контроль вибрации, поглощение магнитных электромагнитных волн, приложения для хранения энергии, гипертермию, магнитную доставку лекарств, биокатализ, иммобилизацию ферментов, разделение и очистку ДНК, а также неинвазивную магнитно-резонансную томографию и др.

В последнее десятилетие продолжают обширные исследования в области разработки различных подходов к синтезу магнитных наночастиц (МНЧ). Различные синтетические методы используются и разрабатываются для получения

МНЧ желаемого размера, морфологии, стабильности и биосовместимости. Многие химические и физические свойства, связанные с наночастицами, сильно зависят от размера наночастиц, морфологии, стабильности и биосовместимости. В последнее время производство наночастиц феррита контролируемой формы стало еще одним требованием для исследователей, и уже было установлено, что размер и форма МНЧ контролируют и сильно зависят от типа поверхностно-активного вещества и растворителей, используемых в различных условиях реакции.

Хорошо известна важная роль нейтронов в изучении структурных свойств феррожидкостей. С использованием малоуглового рассеяния ней-

trons performed on the YuMO instrument at the IBR-2 reactor, RIGAKU (MPHTI) and XEUSS 3.0 stations (FLNP), respectively, XRD on the Empyrean X-ray diffractometer (PANalytical), studies of ferrofluids with anisometric nanoparticles BaFe₁₂O₁₉ and CuFe₃O₄, which are important for the development of magneto-optical applications, were carried out. Joint investigations using SANS and SAXS, as well as the application of various solvents (H₂O and D₂O), made it possible to obtain new information about the analyzed systems both in terms of the shape and size of nanoparticles, and from the point of view of the distribution of surfactants on their surfaces [1, 2]. This is all very important for chemists to develop various preparation techniques.

Figure 1 shows the experimental and fitted SANS and SAXS curves for a water-based ferrofluid with BaFe₁₂O₁₉ nanoparticles. The graphic inserts show schematically how the particles of the system look like. Figure 2 presents the resulting distribution of surfactant molecules on the particle surface. It has been established that the system consists of large lamellar and small ellipsoidal nanoparticles, and the surfactant molecules of sodium dodecyl sulfate form a second shell around the ellipsoidal particles, mainly from the flat sides, while the molecules of lauric acid are distributed on the elongated sides of the particles. This is likely the main cause of the good stability of the explored system.

Fig. 2. Schematic representation of the coating of a nanoparticle with surfactant molecules: (a) description of surfactant molecules; (b) uniform distribution as assumed; (c) distribution derived from SANS experiments.

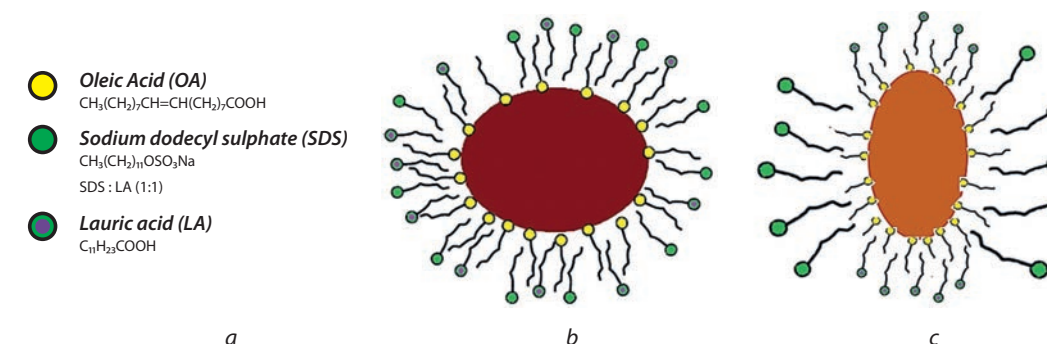


Рис. 2. Схематическое представление покрытия наночастицы с молекулами поверхностно-активного вещества: (a) Описание молекул поверхностно-активного вещества; (b) предполагаемое единое распределение; (c) распределение, полученное из экспериментов МУРН.

тронов и рентгеновских лучей, выполненных на приборе ЮМО реактора ИБР-2, станций РИГАКУ (МФТИ) и XEUSS 3.0 (ЛНФ) соответственно, рентгенофазового анализа (РФА) на рентгеновском дифрактометре Empyrean (PANalytical), исследуются феррожидкости с анизометрическими наночастицами BaFe₁₂O₁₉ и CuFe₃O₄, важные для развития магнитооптических приложений. Совместные исследования МУРН и МУРР, а также использование различных растворителей (H₂O и D₂O) позволили получить новую информацию об анализируемых системах как с точки зрения формы и размера наночастиц, так и распределения поверхностно-активных веществ на их поверхности [1, 2], что очень важно для понимания процессов и разработки методов приготовления химиками.

На рис. 1 приведены экспериментальные и аппроксимирующие кривые МУРН и МУРР для феррожидкости на водной основе с наночастицами BaFe₁₂O₁₉. На графических вставках схематично показано, как в итоге выглядят частицы системы. На рис. 2 показано полученное распределение молекул ПАВ на поверхности частицы. Установлено, что система состоит из крупных пластинчатых и мелких эллипсоидальных наночастиц, причем молекулы ПАВ додецилсульфата натрия образуют вторую оболочку вокруг эллипсоидальных частиц преимущественно с плоских сторон, а молекулы лауриновой кислоты распределены по вытянутым сторонам частиц, что придает системе хорошую стабильность.