
О.В. ТОМЧУК^{1, 2}

¹ Київський національний університет ім. Тараса Шевченка
(Просп. Академіка Глушкова, 4, Київ 03680; e-mail: tomchuk@jinr.ru)

² Об'єднаний інститут ядерних досліджень
(Вул. Жоліо-Кюрі 6, Дубна 141980, Росія)

ФРАКТАЛЬНА КОНЦЕПЦІЯ В СТРУКТУРНОМУ АНАЛІЗІ НАНОСИСТЕМ: РЕТРОСПЕКТИВНИЙ ПОГЛЯД І ПЕРСПЕКТИВИ

УДК 538.97

Концепція фракталів широко використовується в різноманітних галузях науки. На прикладі результатів наукової школи Л.А. Булавіна була продемонстрована тенденція до всеактивнішого застосування фрактального аналізу в структурних дослідженнях наносистем. В роботі показано, що особливості розподілів наносистем за фрактальними розмірностями пов'язані з механізмами росту і агрегації дисперсної фази. Важливим аспектом є саме кінетика процесу під дією різних чинників. Підкреслена провідна роль методів малокутового розсіювання (аналіз в оберненому просторі Фур'є) в поєднанні з методами мікроскопії (аналіз в прямому просторі) при дослідженні актуальних наноструктурованих матеріалів у різних агрегатних станах.

Ключові слова: фрактали, фрактальна розмірність, наносистеми, агрегація.

1. Вступ

З моменту введення Б. Мандельбротом терміну *фрактал* пройшло вже сорок п'ять років [1], і фрактальна концепція глибоко проникла в різні галузі, такі як математика і фізика, хімія і біологія, геологія і економіка, живопис і дизайн [2]. Даний підхід дозволяє проводити кількісний опис систем, яким притаманна масштабна інваріантність. Такий тип симетрії природньо пов'язаний зі степеневими розподілами елементів систем. До показників таких розподілів входить розмірність, яка у випадку фракталів відрізняється від розмірності простору, що містить в собі систему, і може набувати дробових значень. Приклади таких об'єктів здавна відомі математикам, як то функція К. Вейерштрасса чи криві Х. Коха і Дж. Пеано [2], однак розробка єдиних підходів для опису як абстрактних, так і реальних природніх об'єктів належить саме Б. Мандельброту.

Особливий успіх фрактальна концепція здобула у фізиці наносистем, де її застосування привнесло ясність в розуміння структурних особливостей на перший погляд неупорядкованих систем. Фрактальні співвідношення знайшли своє відбиття у низці *in situ* методів, що дозволило прецизійне визначення параметрів будови речовини на наномасштабі. До таких методів варто віднести розсіювання різних типів випромінювання (нейтронів, рентгєнівських променів, світла), мікроскопію (скануючу та просвітлювальну електронну, атомно-силову, оптичну поляризаційну), адсорбційні і реологічні техніки і т.п. Вони активно застосовуються до найрізноманітніших нанооб'єктів, включених у різні агрегатні стани, про що свідчить тренд на постійне зростання кількості наукових публікацій, що містять фрактальний аналіз структурних даних. Детально прослідкувати цю тенденцію, досягнувши увесь обсяг наявної літератури бачиться неможливим, тим паче в рамках однієї оглядової статті. Однак концентруючи увагу на декотрій множині

© О.В. ТОМЧУК, 2020

ISSN 0372-400X. Укр. фіз. журн. 2020. Т. 65, № 8

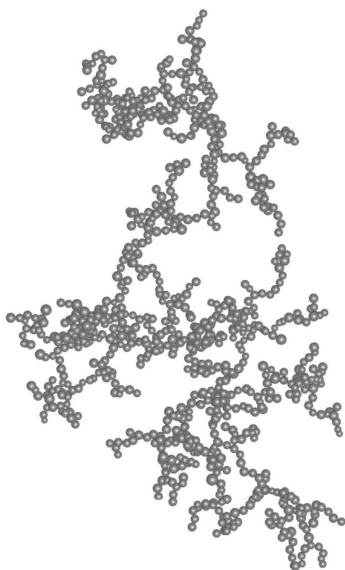


Рис. 1. Приклад об'ємного (масового) фракталу: модельний кластер колоїдних частинок з фрактальною розмірністю 1.5

робіт, що мають спільну основу, все ж можливо виявити певні закономірності щодо використання і поєднання різних методів, статистичного розподілу фрактальних розмірностей та хронології зростання інтересу до цієї тематики. Такою вибіркою може слугувати масив публікацій, наприклад, однієї окремо взятої наукової школи. Чудовим прикладом такої школи є спільнота учнів академіка Національної академії наук України, професора Леоніда Анатолійовича Булавина. Науковці, які починали свою кар'єру на кафедрі молекулярної фізики фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка, нині працюють в багатьох установах України і зарубіжжя. Їх роботи було взято за основу даного огляду. Таким чином, метою даної роботи було проаналізувати роботи наукової школи проф. Л.А. Булавина на предмет застосування фрактальної концепції в структурній діагностиці наносистем та встановити закономірності розподілу досліджуваних об'єктів за типами фрактальних структур.

2. Фрактальні наносистеми та методи їх дослідження

Оскільки природними фракталами називають об'єкти, які є системами, що упорядковані однаковим чином в певному діапазоні масштабів, то в ста-

тистичному сенсі фрактальна система є самоподібною [2] (рис. 1). Математичним параметром, за допомогою якого стало можливим описувати неупорядковані системи, є поняття фрактальної розмірності, що може мати будь-які значення в діапазоні (0–3). Для зв'язних множин, таких як кластери наночастинок, в діапазоні (1–3). До фракталів формально можуть бути віднесені також дуже витягнуті або дуже сплюснуті об'єкти, оскільки їх розмірності теж відрізняються від розмірності евклідового простору, в якому вони знаходяться, та становлять 1 і 2, відповідно.

В загальному випадку об'ємна фрактальна розмірність D_V вводиться за допомогою співвідношення “маса–радіус”: число структурних одиниць N , обмежених сферою радіуса r , визначається як:

$$N \propto r^{D_V}. \quad (1)$$

На тлі глобальної задачі фізичної хімії щодо визначення питомої площі поверхні колоїдних утворень відзначимо, що фрактальним кластерам притаманний такий зв'язок площі та об'єму:

$$S \propto V^{D_V/3}, \quad (2)$$

що вказує на збільшення питомої площі поверхні для систем з більшою фрактальною розмірністю. Звідси видно, що для суттєво розгалужених фракталів ($D_V \rightarrow 3$) поверхня займає значний об'єм.

Зазначимо, що в літературі описано багато моделей кінетичних процесів агрегації, що призводять до утворення стохастичних фрактальних структур. Алгоритми побудови фракталів можна розділити на два типи: агрегація за схемою частинка-кластер та кластер-кластер. Деякі алгоритми агрегації на основі випадкових процесів вводяться у відповідності до їх природних аналогів (обмежена дифузійною агрегація, обмежена реакцією агрегація і т.п.) [2].

Крім того існує ще ціла низка моделей фрактального росту кластерів. Деякі з них прийшли з фізики полімерів (модель статистичного клубка, модель Х. Флорі), деякі — з фізики фазових переходів та критичних явищ (перколяційний кластер). Таким чином, формалізм фрактальної розмірності дозволяє вводити своєрідні класи універсальності у відповідності до моделей фрактальної агрегації.

Як зазначалося вище, фрактальна розмірність характеризує ступінь неупорядкованості системи. З цієї точки зору парна кореляційна функція має монотонно спадну асимптотику при $r \rightarrow \infty$:

$$g(r) \propto r^{D_V-3}. \quad (3)$$

Часто фізичні процеси, за допомогою яких вимірюють деяку систему, зручно розглядати в оберненому просторі. Як відомо, інтенсивність малокутового розсіяння пропорційна перетворенню Фур'є кореляційної функції [3, 4]. Звідси випливає, що для об'ємних фрактальних систем з розмірністю D_V інтенсивність розсіяння (диференційний переріз розсіяння на одиницю об'єму) має вигляд

$$I(q) \propto q^{-D_V}. \quad (4)$$

В роботах, присвячених аналізу фрактальних структур, як правило, для оцінки фрактальної розмірності використовують лише асимптотичний вираз (4), хоча детальніший аналіз доступний у рамках методу форм-факторів.

Окрім об'ємних (масових) фракталів в наносистемах зустрічаються також поверхневі фрактали (рис. 2). Означити їх можна як поверхні поділу, яким також притаманна самоподібність. Їх розмірність D_S відмінна від 2, що притаманно евклідовим поверхням, і варіюється у діапазоні (2–3). Тобто ми маємо деякий розгалужений інтерфейс на однорідній підкладці. У цьому випадку парна кореляційна функція має асимптотику при $r \rightarrow 0$:

$$g(r) \propto 1 - Cr^{3-D_S}. \quad (5)$$

Для поверхневих фракталів інтенсивність малокутового розсіяння має вигляд

$$I(q) \propto q^{D_S-6}. \quad (6)$$

Звідси випливає, що для фрактальної межі поділу діапазон показника степені відмінний від діапазону, притаманного масовим фракталам – метод може розрізнити два типи об'єктів. Граничним випадком фрактальної поверхні є евклідова гладка поверхня ($D_S = 2$). В цьому разі ізотропне розсіяння на двофазній системі з гладкою межею поділу називають розсіянням Г. Порода.

Інший діапазон значень показника спадання (4–6) відповідає так званій дифузній поверхні навколо однорідного ядра [5]. Тут ми маємо справу

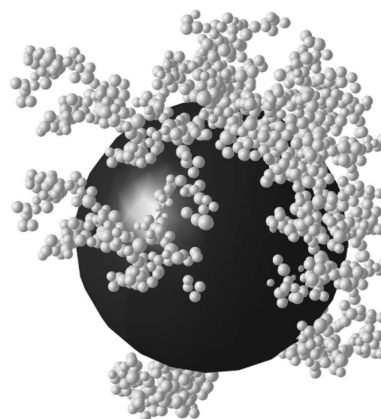


Рис. 2. Приклад поверхневого фракталу: специфічна агрегація наночастинок на поверхні субмікронної частинки. Поверхнева фрактальна розмірність становить 2.5

з незначною неоднорідністю, але без масштабно-інваріантних властивостей.

Отож метод малокутового розсіяння дозволяє виявити різноманітні типи структур завдяки аналізу поведінки показника степеневого спадання інтенсивності розсіяння як функції модуля переданого хвильового вектора q . Тобто експериментатор здатен одразу визначити, є досліджувані об'єкти видовженими чи сплюснутими, володіють вони масштабною інваріантністю чи ні, поверхням наночастинок притаманні дифузні або фрактальні властивості, чи все ж вони є гладкими.

Для аналізу в прямому просторі структури як поверхневих, так і об'ємних фракталів важливим є визначення так званої клітинної розмірності. Метод оснований на заміні складної форми об'єкта сіткою d -вимірних кубів зі стороною ε . Нехай $N(\varepsilon)$ – число кубів, що містять принаймні одну точку об'єкту. Тоді для об'єму V ми можемо наближено записати

$$V \approx N(\varepsilon)\varepsilon^d. \quad (7)$$

Таким чином, число пробних тіл, необхідних для покриття даної множини точок, залежить від сторони куба як

$$N(\varepsilon) \propto \varepsilon^{-D}. \quad (8)$$

Число $N(\varepsilon)$ можна інтерпретувати як кількість пікселів, необхідних для представлення системи з роздільною здатністю ε .

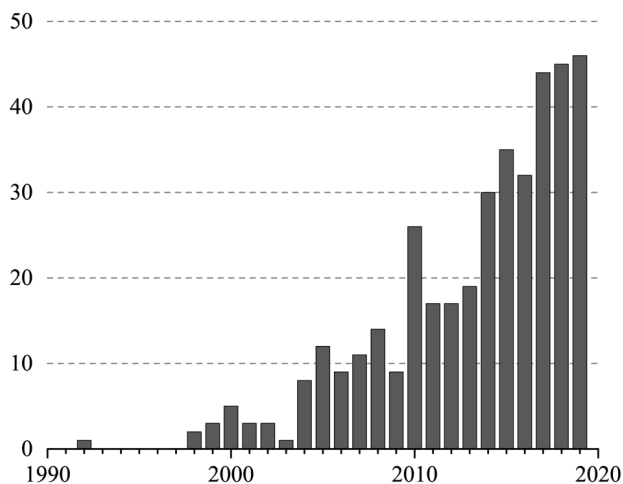


Рис. 3. Зростання кількості публікацій за фрактальною тематикою за останні тридцять років на прикладі робіт Л.А. Булавина та його учнів [3–394]

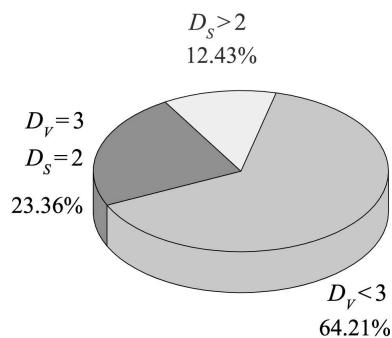


Рис. 4. Порівняння досліджуваних систем за характеристикою фрактальної розмірності: кількісне співвідношення об'ємних та поверхневих фракталів, а також нефрактальних систем

Методом перерізів вивчаються поверхні, що можуть бути описані однозначною функцією $z(x, y)$. При перерізі такої поверхні перпендикулярно осі z лінії рівня, що утворюються, являють собою набір замкнутих кривих. Такі криві з топологічною розмірністю 1 вивчати простіше, аніж саму поверхню. При цьому їх фрактальна розмірність D' пов'язана з розмірністю поверхні D_S як:

$$D' = D_S - 1. \quad (9)$$

Завдяки симетрії осей x і y отримана множина самоподібна. Для знаходження фрактальної розмірності можна використати співвідношення периметр–площа, аналогічне співвідношенню (2):

$$P \propto S^{D_S/2}, \quad (10)$$

де P – довжина межі поділу, що обмежує площу S . В разі складності експериментального визначення площі використовується аналіз контурів методом клітинної розмірності для двовимірного випадку (рівняння (7) та (8)). Даний підхід широко застосовується при аналізі даних про поверхні нанооб'єктів, отриманих, скажімо, методом атомно-силової мікроскопії.

Залежно від конкретного випадку, можлива постановка специфічних експериментів з непрямого визначення фрактальної розмірності, використовуючи серед іншого рівняння (1). Так, наприклад, опис фрактальної морфології аерозольних частинок може бути проведений за результатами седиментаційного аналізу чи оцінюючи їх поведінку в електричному чи гравітаційному полі. Результати застосування наведених методів з точки зору фрактального підходу наведені в наступному розділі.

3. Експериментальні дослідження наносистем з фрактальними властивостями

За останні тридцять років представниками наукової школи Л.А. Булавина серед іншого були досліджені різноманітні наносистеми [3–394], включаючи полімери, композити та рідинні системи. На рис. 2 показано, що починаючи з 90-х років ХХ сторіччя кількість робіт, присвячених цій тематиці, постійно збільшується. До вибірки потрапили роботи, в яких досліджувані системи проявляли фрактальні властивості, або ж навпаки містились свідчення про щільну упаковку, однорідність ($D_V = 3$). В цілому така тенденція відповідає загальносвітовому тренду в науках про наноструктуровані матеріали. Фрактальний опис застосовується все частіше, оскільки може розкрити нові деталі будови, що часто пов'язані з макроскопічними фізико-хімічними властивостями речовини.

Як виявилось, аналіз кількісного розподілу наносистем за розмірностями свідчить, що менше чверті досліджуваних зразків були такими, що не проявляли фрактальних властивостей, а в цілому могли бути описані як евклідові геометричні тіла (рис. 4). Враховувалось, що в рамках однієї статті могло досліджуватися декілька різних систем. Понад 64% наносистем були ідентифіковані як об'ємні фрактали тієї чи іншої розмірності. Ще 12.4% досліджуваних зразків містили наноутворення з фрактальною поверхнею, тобто розмірність

поверхневих неоднорідностей перевищувала 2. Цей несподіваний результат свідчить про те, що однорідний розподіл маси чи агрегація зі щільним пакуванням на нанорівні є радше винятком для практично значимих наносистем. Фізико-хімічні умови природного чи промислового синтезу часто сприяють суттєвій неоднорідності, розгалуженості системи. Прихований порядок таких об'єктів визначається саме масштабно-інваріантною симетрією в певному діапазоні розмірів, що не перевищують одиниці мікрометрів.

Крім того, виявилось, що розподіл наносистем за фрактальними розмірностями є дуже неоднорідним (рис. 5). Найбільшу кількість разів зустрічалися об'єкти з розмірністю 2. Це пов'язано з декількома вагомими внесками. По-перше, це всі квазідвовимірні об'єкти, такі як тонкі плівки [262, 263, 349, 359, 369], ліпідні бішари [155, 191, 255], нанорозмірні лапонітові диски [162, 193] і т.п. По-друге, це полімерні системи в стані статистичного клубка за θ -умов [315]. По-третє, це розгалужені фрактальні агрегати наночастинок, які формуються за механізмами, близькими до моделі балістичної кластерної агрегації чи обмеженої реакцією агрегації [71, 171, 288].

На другому місці за статистикою знаходяться об'єкти з фрактальною розмірністю 1. Це суттєво анізотропні видовжені тіла. Стрижнеподібна форма може бути близькою до еліпсоїдів обертання, циліндрів чи призм, але головне, що розмір вздовж однієї з осей значно перевищує розміри у двох інших напрямках. До таких систем належать амілоїдні розчини білків [367], ланцюжки наночастинок [285, 286], нанотрубки [394] і т.п.

Також на рис. 5 виділяються ще два піки в околі значень фрактальної розмірності 2.4 та 1.7. Ці значення можуть бути віднесені до механізмів одночасинкової та кластер-кластерної обмеженої дифузії агрегації, відповідно. Таким чином, кінетика агрегації зумовлена зовнішніми чинниками, такими як температура, тиск, електромагнітне поле, а також фізико-хімічними характеристиками поверхні наночастинок. В свою чергу варіації типу кінетики, наприклад, режими обмеженої дифузії чи обмеженої реакції, призводять до відмінностей в структуруванні з точки зору фрактальних характеристик. Значення $D_V \approx 2.4$ характерне для кластерів детонаційних наноалмазів в полярних розчинниках [5, 130, 147, 196, 230, 351], водних су-

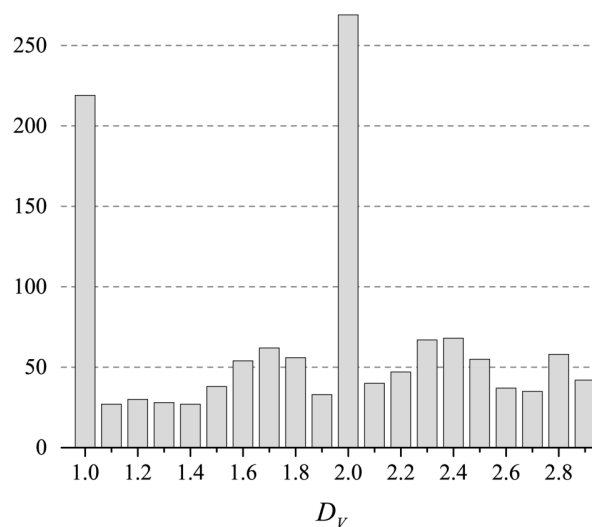


Рис. 5. Розподіл наносистем, що містять об'ємні фрактали, за розмірністю

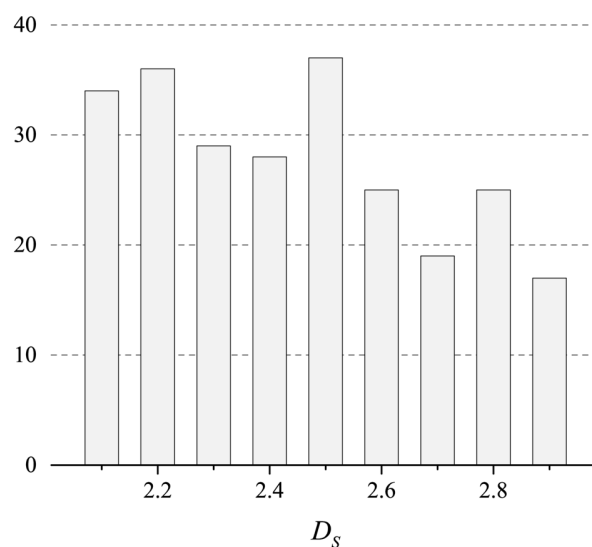


Рис. 6. Розподіл наносистем, що містять поверхневі фрактали, за розмірністю

спензій фулеренових агрегатів [311, 362], сумішей полімерів та поверхнево-активних речовин [315] та ін. Що стосується випадку $D_V \approx 1.7$, то він зустрічається для агрегатів у деяких магнітних колоїдах [91, 308, 367], білків, вміщених у мезопористі силікати [326], аерогелів оксигідроксиду алюмінію [236] та ін.

Навпаки, розподіл наносистем за значеннями поверхневої фрактальної розмірності (рис. 6) є доволі однорідним з невеликим зниженням при від-

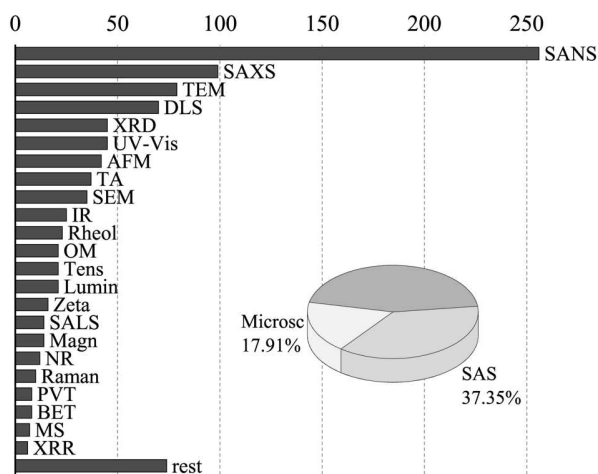


Рис. 7. Частота використання методів дослідження наносистем. Умовні позначення: SANS – малокутове розсіювання нейтронів; SAXS – малокутове розсіювання рентгенівських променів; TEM – просвітлювальна електронна мікроскопія; DLS – динамічне розсіювання світла; XRD – рентгенівська дифракція; UV-Vis – спектроскопія поглинання світла в ультрафіолетовому-видимому діапазоні; AFM – атомно-силова мікроскопія; TA – термічний аналіз, включаючи диференціальну скануючу калориметрію та термогравіметричний аналіз; SEM – скануюча електронна мікроскопія; IR – інфрачервона спектроскопія; Rheol – реологічні дослідження; OM – оптична мікроскопія; Tens – тензіометрія; Lumin – люмінесцентний аналіз; Zeta – вимірювання електрокінетичного потенціалу; SALS – малокутове розсіювання світла; Magn – магнетометрія; NR – нейтронна рефлектометрія; Raman – комбінаційне розсіювання світла; PVT – визначення термічного рівняння стану; BET – визначення питомої поверхні шляхом низькотемпературної адсорбції; MS – мас-спектрометрія; XRR – рентгенівська рефлектометрія; rest – інші методи з малим ваговим внеском до наведеної статистики. На вставці показано сукупні частки методів малокутового розсіювання випромінювання, включаючи нейтрони, рентгенівські промені та видиме світло (SAS), а також методів мікроскопії, включаючи електронну, атомно-силову та оптичну мікроскопію (Microsc)

ході від гладкої поверхні ($D_S = 2$). Хоча на перший погляд справа у мінімізації відповідного термодинамічного потенціалу шляхом зменшення вільної поверхні, це питання потребує подальшого більш глибокого вивчення, оскільки насправді досліджувані процеси є глибоко нерівноважними. Єдиний виняток становить значення $D_S = 2.5$, що вказує на аналогію з об'ємним випадком одночастинкової обмеженої дифузії агрегації.

Для дослідження тих чи інших властивостей наносистем використовувалися різні сучасні стру-

ктурні методи. На рис. 7 наведено статистичний розподіл частоти використання методів структурної діагностики, застосованих у роботах, включених до даного огляду. Враховувалось, що в рамках однієї роботи могли використовуватись декілька методів одночасно. Відповідно до наведеної діаграми, для вивчення фрактальних характеристик краще всього підходять методи малокутового розсіювання нейтронів, рентгенівського (в тому числі синхротронного) випромінювання та видимого світла – понад 37% випадків. Також варто відзначити вагомість методів мікроскопії. Так, оптична, електронна та атомно-силова мікроскопії покрили майже 18% випадків дослідження фрактальних наносистем у прямому просторі.

4. Висновки

Таким чином, фрактальна концепція знайшла своє широке застосування в структурних дослідженнях наносистем. На прикладі результатів наукової школи Л.А. Булавина було продемонстровано тенденцію до значного зростання використання фрактального аналізу речовини в різних агрегатних станах. Показано, що значна частина наноутворень проявляють масштабно-інваріантні структурні властивості в об'ємі чи на поверхні. При цьому розподіл наносистем за розмірностями є суттєво неоднорідним, що вказує на переважання певних механізмів росту на нанорівні. Підкреслено важливу роль методик мікроскопії та малокутового розсіювання випромінювання в рамках комплексних структурних досліджень наносистем з фрактальними властивостями. Наведені результати в значній мірі можна екстраполювати на сучасний стан нанофізики в цілому.

Незважаючи на значний прогрес у досліджуваному питанні, математична концепція фракталів все ще перебуває на стадії свого становлення. Подальший розвиток буде пов'язаний перш за все з прецизійними експериментами по визначенню будови не лише самоподібних, а й самоафінних систем, оцінки їх анізотропії та лакуарності. Активне використання даного інструментарію здатне допомогти в поглибленні наших знань про наносвіт.

Автор вдячний Л.А. Булавіну, О.А. Кизимі, А.В. Нагорному, О.М. Алексєєву, О.С. Свєчніковій, Т.Ю. Ніколаєнку, І.С. Войтешенку (Київський національний університет імені Тараса Шев-

чення), О.І. Іванькову, Д.В. Соловійову (Інститут проблем безпеки АЕС НАНУ), В.В. Клеп-ку (Інститут хімії високомолекулярних сполук НАНУ), М.В. Авдееву (Об'єднаний інститут ядерних досліджень), В.І. Петренку (Баскський центр матеріалів, застосувань та наноструктур), В.М. Гарамусу (Гельмгольц-Центр Гестгагт), В. Пінічу, А.В. Феоктистову, Т.О. Кирей (Центр Майєра-Лейбніца), В.Ф. Короловичу (Гарвардський університет) та М.О. Голубу (Університет Тарту) за продуктивні дискусії стосовно як об'єктів, так і методів дослідження.

1. B.B. Mandelbrot. On the geometry of homogeneous turbulence, with stress on the fractal dimension of the iso-surfaces of scalars. *J. Fluid Mech.* **72**, 401 (1975).
2. B.B. Mandelbrot. *The Fractal Geometry of Nature* (W.H. Freeman and Co., 1982) [ISBN: 0-7167-1186-9].
3. V.I. Petrenko, A.V. Nagornyi, I.V. Gapon *et al.* Magnetic fluids: Structural aspects by scattering techniques. In: *Modern Problems of Molecular Physics. Selected Reviews from the 7th International Conference "Physics of Liquid Matter: Modern Problems"*, Kyiv, Ukraine, May 27–31, 2016, edited by L.A. Bulavin, A.V. Chalyi (Springer, 2018), p. 205.
4. O.V. Tomchuk, L.A. Bulavin, V.L. Aksenov *et al.* Small-angle scattering in structural research of nanodiamond dispersions. In: *Modern Problems of the Physics of Liquid Systems. Selected Reviews from the 8th International Conference "Physics of Liquid Matter: Modern Problems"*, Kyiv, Ukraine, May 18–22, 2018, edited by L.A. Bulavin, Limei Xu (Springer, 2019), p. 201.
5. O.V. Tomchuk, L.A. Bulavin, V.L. Aksenov *et al.* Small-angle scattering from polydisperse particles with a diffusive surface. *J. Appl. Cryst.* **47**, 642 (2014).
6. Y. Melnichenko, M. Agamalyan, V. Alexeev *et al.* Cross-over between tricritical and critical demixing regimes of polymer solution: Small-angle neutron scattering data. *Europhys. Lett.* **19**, 355 (1992).
7. V.M. Garamus, J.S. Pedersen. A small-angle neutron scattering study of the structure of graphitized carbon black aggregates in Triton X-100/water solutions. *Colloids Surf. A* **132**, 203 (1998).
8. Yu. Prilutski, S. Durov, L. Bulavin *et al.* Study of structure of colloidal particles of fullerenes in water solution. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **324**, 65 (1998).
9. V. Garamus, K. Kameyama, R. Kakehashi *et al.* Neutron scattering and electrophoresis of dodecyldimethylamine oxide micelles. *Colloid Polym. Sci.* **277**, 868 (1999).
10. V.M. Nadutov, L.A. Bulavin, V.M. Garamus. Analysis of small-angle neutron scattering from Fe-18Cr-10Mn-16Ni-0.5N and Fe-21Cr-10Mn-17Ni-0.5C austenite. *Mater. Sci. Eng. A* **264**, 286 (1999).
11. Y.I. Prilutski, E.V. Buzaneva, L.A. Bulavin *et al.* Structure, dynamics and optical properties of fullerenes C₆₀, C₇₀. *Carbon* **37**, 835 (1999).
12. H.M. von Minden, K. Brandenburg, U. Seydel *et al.* Thermotropic and lyotropic properties of long chain alkyl glycopyranosides. Part II. Disaccharide headgroups. *Chem. Phys. Lipids* **106**, 157 (2000).
13. V.M. Garamus, J.S. Pedersen, H. Kawasaki *et al.* Scattering from polymerlike micelles of TDAO in salt/water solutions at semidilute concentrations. *Langmuir* **16**, 6431 (2000).
14. J. Merta, V.M. Garamus, A.I. Kuklin *et al.* Determination of the structure of complexes formed by a cationic polymer and mixed anionic surfactants by small-angle neutron scattering. *Langmuir* **16**, 10061 (2000).
15. L. Bulavin, I.I. Adamenko, V.M. Sysoev *et al.* The model calculation of the phase (p-T) diagram for fullerene C₆₀. *Fullerene Sci. Technol.* **8**, 615 (2000).
16. L. Bulavin, I. Adamenko, Y. Prylutsky *et al.* Structure of fullerene C₆₀ in aqueous solution. *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2**, 1627 (2000).
17. Y.I. Prilutski, S.S. Durov, L.A. Bulavin *et al.* Structure, vibrational, and calorical properties of fullerene C₆₀ in toluene solution. *Fullerene Sci. Technol.* **9**, 167 (2001).
18. Y.I. Prilutski, S.S. Durov, L.A. Bulavin *et al.* Structure and thermophysical properties of fullerene C₆₀ aqueous solutions. *Int. J. Thermophys.* **22**, 943 (2001).
19. L.A. Bulavin, I.I. Adamenko, V.M. Yashchuk *et al.* Self-organization C₆₀ nanoparticles in toluene solution. *J. Mol. Liq.* **93**, 187 (2001).
20. V.M. Nadutov, V.M. Garamus, A.K. Islamov. Small-angle neutron scattering and the Moessbauer effect in nitrogen austenite. *Phys. Solid State* **44**, 686 (2002).
21. J. Merta, V.M. Garamus, R. Willumeit *et al.* Structure of complexes formed by PDADMAC and sodium palmitate. *Langmuir* **18**, 7272 (2002).
22. V.V. Shilov, Y.P. Gomza, V.V. Klepko *et al.* Gel electrolyte system based on polyvinyl chloride with addition of LiClO₄/propylene carbonate: Structure, morphology, thermal and conductivity properties. *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.* **9**, 551 (2002).
23. V.M. Garamus, J.S. Pedersen, H. Maeda *et al.* Scattering from short stiff cylindrical micelles formed by fully ionized TDAO in NaCl/water solutions. *Langmuir* **19**, 3656 (2003).
24. C.A. Ericsson, O. Soderman, V.M. Garamus *et al.* Effects of temperature, salt, and deuterium oxide on the self-aggregation of alkylglycosides in dilute solution. 1. *n*-nonyl- β -D-glucoside. *Langmuir* **20**, 1401 (2004).
25. M. Kadi, P. Hansson, M. Almgren *et al.* Mixed micelles of fluorocarbon and hydrocarbon surfactants. A small angle neutron scattering study. *Langmuir* **20**, 3933 (2004).
26. M.V. Avdeev, A.A. Khokhryakov, T.V. Tropin *et al.* Structural features of molecular-colloidal solutions of C₆₀ fullerenes in water by small-angle neutron scattering. *Langmuir* **20**, 4363 (2004).

27. V.M. Garamus, G. Milkereit, S. Gerber *et al.* Micellar structure of a sugar based bolaamphiphile in pure solution and destabilizing effects in mixtures of glycolipids. *Chem. Phys. Lett.* **392**, 105 (2004).
28. L.A.S.A. Prado, H. Wittich, K. Schulte *et al.* Anomalous small-angle X-ray scattering characterization of composites based on sulfonated poly(ether ether ketone), zirconium phosphates, and zirconium oxide. *J. Polym. Sci. B* **42**, 567 (2004).
29. G. Milkereit, V.M. Garamus, K. Veermans *et al.* Synthesis and mesogenic properties of a Y-shaped glyco-glycerolipid. *Chem. Phys. Lipids* **131**, 51 (2004).
30. M. Balasoiu, M.V. Avdeev, A.I. Kuklin *et al.* Structural studies of ferrofluids by small-angle neutron scattering. *Magnetohydrodynamics* **40**, 359 (2004).
31. V. Pogorelov, L. Bulavin, I. Doroshenko *et al.* The structure of liquid alcohols and the temperature dependence of vibrational bandwidth. *J. Mol. Struct.* **708**, 61 (2004).
32. L.A. Bastardo, V.M. Garamus, M. Bergstrom *et al.* The structures of complexes between polyethylene imine and sodium dodecyl sulfate in D₂O: A scattering study. *J. Phys. Chem. B* **109**, 167 (2005).
33. G. Milkereit, V.M. Garamus, J. Yamashita *et al.* Comparison of the supramolecular structures of two glyco lipids with chiral and nonchiral methyl-branched alkyl chains from natural sources. *J. Phys. Chem. B* **109**, 1599 (2005).
34. L.M. Bergstrom, L.A. Bastardo, V.M. Garamus. A small-angle neutron and static light scattering study of micelles formed in aqueous mixtures of a nonionic alkylglucoside and an anionic surfactant. *J. Phys. Chem. B* **109**, 12387 (2005).
35. C.A. Ericsson, O. Soderman, V.M. Garamus *et al.* Effects of temperature, salt, and deuterium oxide on the self-aggregation of alkylglycosides in dilute solution. 2. n-tetradecyl- β -D-maltoside. *Langmuir* **21**, 1507 (2005).
36. G. Milkereit, V.M. Garamus, K. Veermans *et al.* Structures of micelles formed by synthetic alkyl glycosides with unsaturated alkyl chains. *J. Colloid Interf. Sci.* **284**, 704 (2005).
37. L.A.S.A. Prado, M.L. Ponce, S.S. Funari *et al.* SAXS/WAXS characterization of proton-conducting polymer membranes containing phosphomolybdic acid. *J. Non-Cryst. Solids* **351**, 2194 (2005).
38. G.P. Kopitsa, S.V. Grigoriev, V.V. Runov *et al.* Study of the heavy-fermion compound CeRu₂Si₂ by the small-angle neutron scattering method. *JETP Lett.* **81**, 556 (2005).
39. G.P. Kopitsa, S.V. Grigoriev, V.V. Runov *et al.* Determining the structural parameters of fractal and nonfractal objects in multiple small-angle neutron scattering experiments. *J. Exp. Theor. Phys.* **101**, 427 (2005).
40. G. Milkereit, V.M. Garamus. Complex effect of ethyl branching on the supramolecular structure of a long chain neoglycolipid. *Colloids Surf. A* **268**, 155 (2005).
41. V.M. Garamus, G. Milkereit, R. Willumeit *et al.* How thermotropic properties influence the formation of lyotropic aggregates near the critical micelle concentration. *J. Therm. Anal. Calorim.* **82**, 477 (2005).
42. Y.B. Melnichenko, G.D. Wignall, D.R. Cole *et al.* Liquid-gas critical phenomena under confinement: small-angle neutron scattering studies of CO₂ in aerogel. *J. Mol. Liq.* **120**, 7 (2005).
43. V.Y. Starchenko, L.A. Bulavin, Y.P. Boiko *et al.* Conductometric and gravimetric studies of the kinetics of graphite sedimentation in aqueous dispersions. *Colloid J.* **67**, 755 (2005).
44. I.L. Budyak, V. Pipich, O.S. Mironova *et al.* Shape and oligomerization state of the cytoplasmic domain of the phototaxis transducer II from *Natronobacterium pharaonis*. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **103**, 15428 (2006).
45. M. Balasoiu, M.V. Avdeev, V.L. Aksenov *et al.* Structural organization of water-based ferrofluids with sterical stabilization as revealed by SANS. *J. Magn. Magn. Mater.* **300**, E225 (2006).
46. M.V. Avdeev, V.L. Aksenov, M. Balasoiu *et al.* Comparative analysis of the structure of sterically stabilized ferrofluids on polar carriers by small-angle neutron scattering. *J. Colloid Interf. Sci.* **295**, 100 (2006).
47. M.V. Avdeev, T.V. Tropin, V.L. Aksenov *et al.* Pore structures in shungites as revealed by small-angle neutron scattering. *Carbon* **44**, 954 (2006).
48. H. Kawasaki, V.M. Garamus, M. Almgren *et al.* Charge-induced unilamellar vesicle formation and phase separation in solutions of di-n-decylmethylamine oxide. *J. Phys. Chem. B* **110**, 10177 (2006).
49. M. Knaapila, L. Almasy, V.M. Garamus *et al.* Solubilization of polyelectrolytic hairy-rod polyfluorene in aqueous solutions of nonionic surfactant. *J. Phys. Chem. B* **110**, 10248 (2006).
50. P.H. Thiesen, H. Rosenfeld, P. Konidala *et al.* Glycolipids from a colloid chemical point of view. *J. Biotechnol.* **124**, 284 (2006).
51. M. Knaapila, V.M. Garamus, F.B. Dias *et al.* Influence of solvent quality on the self-organization of archetypical hairy rods-branched and linear side chain polyfluorenes: Rodlike chains versus "beta-sheets" in solution. *Macromolecules* **39**, 6505 (2006).
52. A. Heins, V.M. Garamus, B. Steffen *et al.* Impact of phenolic antioxidants on structural properties of micellar solutions. *Food Biophys.* **1**, 189 (2006).
53. A.A. Khokhryakov, O.A. Kyzyma, L.A. Bulavin *et al.* Colloidal structure and stabilization mechanism of aqueous solutions of unmodified fullerene C₆₀. *Crystallogr. Rep.* **52**, 487 (2007).
54. V.L. Aksenov, M.V. Avdeev, E.A. Kyzyma *et al.* Effect of the age of the C₆₀/N-methyl-2-pyrrolidone solution on the structure of clusters in the C₆₀/N-methyl-2-pyrrolidone/water system according to the small-angle neutron scattering data. *Crystallogr. Rep.* **52**, 479 (2007).

55. G.P. Kopitsa, V.K. Ivanov, S.V. Grigoriev *et al.* Meso-structure of xerogels of hydrated zirconium dioxide. *JETP Lett.* **85**, 122 (2007).
56. M. Almgren, V.M. Garamus, T. Asakawa *et al.* Contrast variation SANS investigation of composition distributions in mixed surfactant micelles. *J. Phys. Chem. B* **111**, 7133 (2007).
57. C. Sommer, G.R. Deen, J.S. Pedersen *et al.* Microemulsion droplets decorated by Brij700 block copolymer: Phase behavior and structural investigation by SAXS and SANS. *Langmuir* **23**, 6544 (2007).
58. A. Meister, M. Bastrop, S. Koschoreck *et al.* Structure-property relationship in stimulus-responsive bolaamphiphile hydrogels. *Langmuir* **23**, 7715 (2007).
59. L.A. Bastardo, J. Iruthayaraj, M. Lundin *et al.* Soluble complexes in aqueous mixtures of low charge density comb polyelectrolyte and oppositely charged surfactant probed by scattering and NMR. *J. Colloid Interf. Sci.* **312**, 21 (2007).
60. E.A. Krainova, M.V. Avdeev, K.V. Merkushina *et al.* Structural studies of a carbonizate obtained from solid cellulose-containing waste by sulfuric acid carbonization. *Russ. J. Appl. Chem.* **80**, 1670 (2007).
61. S. Halacheva, S. Rangelov, V.M. Garamus. Structure and interactions in large compound particles formed by polyglycidol-based analogues to pluronic copolymers in aqueous solution. *Macromolecules* **40**, 8015 (2007).
62. M. Knaapila, F.B. Dias, V.M. Garamus *et al.* Influence of side chain length on the self-assembly of hairy-rod poly(9,9-dialkylfluorene)s in the poor solvent methylcyclohexane. *Macromolecules* **40**, 9398 (2007).
63. Yu. Plevachuk, V. Sklyarchuk, O. Alekhin *et al.* Experimental studies of phase equilibria in high-temperature ternary immiscible metallic melts. *J. Non-Cryst. Solids* **353**, 3310 (2007).
64. O.A. Kyzyma, L.A. Bulavin, V.L. Aksenov *et al.* Aggregation in C₆₀/NMP, C₆₀/NMP/water and C₆₀/NMP/toluene mixtures. *Fuller. Nanotub. Car. N.* **16**, 610 (2008).
65. L.J.R. Foster, D. Schwahn, V. Pipich *et al.* Small-angle neutron scattering characterization of polyhydroxyalkanoates and their bioPEGylated hybrids in solution. *Biomacromolecules* **9**, 314 (2008).
66. F. Auriemma, C. De Rosa, R. Ricciardi *et al.* Time-resolving analysis of cryotropic gelation of water/poly(vinyl alcohol) solutions via small-angle neutron scattering. *J. Phys. Chem. B* **112**, 816 (2008).
67. A. Meister, S. Drescher, I. Mey *et al.* Helical nanofibers of self-assembled bipolar phospholipids as template for gold nanoparticles. *J. Phys. Chem. B* **112**, 4506 (2008).
68. M. Knaapila, V.M. Garamus, L. Almasy *et al.* Fractal aggregates of polyfluorene-polyaniline triblock copolymer in solution state. *J. Phys. Chem. B* **112**, 16415 (2008).
69. V. Pipich, L. Willner, D. Schwahn. The A-B diblock copolymer as a nonordering external field in a three-component A/B/A-B polymer blend. *J. Phys. Chem. B* **112**, 16170 (2008).
70. Y.-L. Li, M.-C. Maurel, C. Ebel *et al.* Self-association of adenine-dependent hairpin ribozymes. *Eur. Biophys. J.* **37**, 173 (2008).
71. V. Pipich, M. Balz, S.E. Wolf *et al.* Nucleation and growth of CaCO₃ mediated by the egg-white protein ovalbumin: A time-resolved *in situ* study using small-angle neutron scattering. *J. Am. Chem. Soc.* **130**, 6879 (2008).
72. M. Knaapila, L. Almasy, V.M. Garamus *et al.* An effect of side chain length on the solution structure of poly(9,9-dialkylfluorene)s in toluene. *Polymer* **49**, 2033 (2008).
73. A. Meister, S. Drescher, V.M. Garamus *et al.* Temperature-dependent self-assembly and mixing behavior of symmetrical single-chain bolaamphiphiles. *Langmuir* **24**, 6238 (2008).
74. J. Zbytovska, M.A. Kiselev, S.S. Funari *et al.* Influence of cholesterol on the structure of stratum corneum lipid model membrane. *Colloids Surf. A* **328**, 90 (2008).
75. S. Rangelov, S. Halacheva, V.M. Garamus *et al.* Structural polymorphism exhibited by polyglycidol-based analogues to Pluronic copolymers in aqueous solution. *Macromolecules* **41**, 8885 (2008).
76. Yu. Plevachuk, V. Sklyarchuk, O. Alekhin *et al.* Investigation of the critical region in monotectic systems by viscosity measurements. *J. Phys. Conf. Ser.* **98**, 022007 (2008).
77. Yu. Plevachuk, V. Skliarchuk, O. Alekhin *et al.* Viscosity of liquid In-Se-Tl alloys in the miscibility gap region. *J. Alloys Compd.* **452**, 174 (2008).
78. M.V. Avdeev, N.N. Rozhkova, V.L. Aksenov *et al.* Aggregate structure in concentrated liquid dispersions of ultrananocrystalline diamond by small-angle neutron scattering. *J. Phys. Chem. C* **113**, 9473 (2009).
79. V.I. Petrenko, M.V. Avdeev, L. Almasy *et al.* Interaction of mono-carboxylic acids in benzene studied by small-angle neutron scattering. *Colloids Surf. A* **337**, 91 (2009).
80. A.V. Feoktystov, L.A. Bulavin, M.V. Avdeev *et al.* Small-angle neutron scattering on magnetic fluids stabilized by monocarboxyl acids. *Ukr. J. Phys.* **54**, 266 (2009).
81. A.V. Feoktystov, L.A. Bulavin, M.V. Avdeev *et al.* Small-angle neutron scattering by water-based ferrofluid mixed with polyethylene glycol. *Ukr. J. Phys.* **54**, 348 (2009).
82. M.V. Avdeev, E. Dubois, G. Meriguet *et al.* Small-angle neutron scattering analysis of a water-based magnetic fluid with charge stabilization: contrast variation and scattering of polarized neutrons. *J. Appl. Cryst.* **42**, 1009 (2009).
83. H.D. Burrows, M.J. Tapia, S.M. Fonseca *et al.* Aqueous solution behavior of anionic fluorene-co-thiophene-based conjugated polyelectrolytes. *ACS Appl. Mater. Interfaces* **1**, 864 (2009).
84. S. Mukai, H. Miki, V. Garamus *et al.* Structural transition of non-ionic poly(acrylamide) gel. *Progr. Colloid Polymer Sci.* **136**, 95 (2009).
85. V.K. Ivanov, G.P. Kopitsa, A.Ye. Baranchikov *et al.* Hydrothermal growth of ceria nanoparticles. *Russ. J. Inorg. Chem.* **54**, 1857 (2009).

86. I. Adamenko, L. Bulavin, V. Korolovych *et al.* Thermophysical properties of carbon nanotubes in toluene under high pressure. *J. Mol. Liq.* **150**, 1 (2009).
87. O.A. Kyzyma, M.V. Korobov, M.V. Avdeev *et al.* Aggregate development in C₆₀/N-methyl-2-pyrrolidone solution and its mixture with water as revealed by extraction and mass spectroscopy. *Chem. Phys. Lett.* **493**, 103 (2010).
88. M.V. Avdeev, T.V. Tropin, I.A. Bodnarchuk *et al.* On structural features of fullerene C₆₀ dissolved in carbon disulfide: Complementary study by small-angle neutron scattering and molecular dynamic simulations. *J. Chem. Phys.* **132**, 164515 (2010).
89. O.A. Kyzyma, M.V. Korobov, M.V. Avdeev *et al.* Solvatochromism and fullerene cluster formation in C₆₀/N-methyl-2-pyrrolidone. *Fuller. Nanotub. Car. N.* **18**, 458 (2010).
90. T.V. Tropin, M.V. Avdeev, O.A. Kyzyma *et al.* Nucleation theory models for describing kinetics of cluster growth in C₆₀/NMP solutions. *Phys. Status Solidi B* **247**, 3022 (2010).
91. V.I. Petrenko, M.V. Avdeev, V.M. Garamus *et al.* Micelle formation in aqueous solutions of dodecylbenzene sulfonic acid studied by small-angle neutron scattering. *Colloids Surf. A* **369**, 160 (2010).
92. G. Lancz, M.V. Avdeev, V.I. Petrenko *et al.* SANS study of poly(ethylene glycol) solutions in D₂O. *Acta Phys. Pol. A* **118**, 980 (2010).
93. V.I. Petrenko, V.L. Aksenov, M.V. Avdeev *et al.* Analysis of the structure of aqueous ferrofluids by the small-angle neutron scattering method. *Phys. Solid State* **52**, 974 (2010).
94. M.V. Avdeev, B. Mucha, K. Lamszus *et al.* Structure and *in vitro* biological testing of water-based ferrofluids stabilized by monocarboxylic acids. *Langmuir* **26**, 8503 (2010).
95. M.V. Avdeev, A.V. Feoktystov, P. Kopcansky *et al.* Structure of water-based ferrofluids with sodium oleate and polyethylene glycol stabilization by small-angle neutron scattering: contrast-variation experiments. *J. Appl. Cryst.* **43**, 959 (2010).
96. S. Halacheva, S. Rangelov, C. Tsvetanov *et al.* Aqueous solution properties of polyglycidol-based analogues of pluronic copolymers. Influence of the poly(propylene oxide) block molar mass. *Macromolecules* **43**, 772 (2010).
97. J. Adelsberger, A. Kulkarni, A. Jain *et al.* Thermoresponsive PS-*b*-PNIPAM-*b*-PS micelles: Aggregation behavior, segmental dynamics and thermal response. *Macromolecules* **43**, 2490 (2010).
98. A. Heiss, V. Pipich, W. Jahnen-Dechent *et al.* Fetuin-A is a mineral carrier protein: Small angle neutron scattering provides new insight on fetuin-A controlled calcification inhibition. *Biophys. J.* **99**, 3986 (2010).
99. A. Zou, J. Liu, V.M. Garamus *et al.* Micellization activity of the natural lipopeptide [Glu₁, Asp₅] surfactin-C15 in aqueous solution. *J. Phys. Chem. B* **114**, 2712 (2010).
100. K. Vogtt, C. Jeworrek, V.M. Garamus *et al.* Microdomains in lipid vesicles: Structure and distribution assessed by small-angle neutron scattering. *J. Phys. Chem. B* **114**, 5643 (2010).
101. A. Zou, J. Liu, V.M. Garamus *et al.* Interaction between the natural lipopeptide [Glu₁, Asp₅] surfactin-C15 and hemoglobin in aqueous solution. *Biomacromolecules* **11**, 593 (2010).
102. M. Knaapila, R.C. Evans, A. Gutacker *et al.* Solvent dependent assembly of a polyfluorene-polythiophene “rod-rod” block copolyelectrolyte: Influence on photophysical properties. *Langmuir* **26**, 5056 (2010).
103. M. Knaapila, R.C. Evans, V.M. Garamus *et al.* Structure and “surfactochromic” properties of conjugated polyelectrolyte (CPE): Surfactant complexes between a cationic polythiophene and SDS in water. *Langmuir* **26**, 15634 (2010).
104. V.K. Ivanov, G.P. Kopitsa, S.V. Grigoriev *et al.* Investigation of the evolution of the hydrated zirconia mesostructure at different stages of heat treatment. *Phys. Solid State* **52**, 957 (2010).
105. L. He, H. Wang, V.M. Garamus *et al.* Analysis of monoPEGylated human galectin-2 by small-angle X-ray and neutron scattering: Concentration dependence of PEG conformation in the conjugate. *Biomacromolecules* **11**, 3504 (2010).
106. B. Kent, C.J. Garvey, T. Lenne *et al.* Measurement of glucose exclusion from the fully hydrated DOPE inverse hexagonal phase. *Soft Matter* **6**, 1197 (2010).
107. A. Meister, S. Drescher, G. Karlsson *et al.* Formation of square lamellae by self-assembly of long-chain bolaphospholipids in water. *Soft Matter* **6**, 1317 (2010).
108. M. Balasoiu, L.A. Ischenko, S.V. Stolyar *et al.* Structural investigation of biogenic ferrihydrite nanoparticles dispersion. *Optoelectron. Adv. Mat.* **4**, 2136 (2010).
109. L.A. Bulavin, V.I. Gordeliy, O.I. Ivankov *et al.* Neutron studies of the NaBr impurity influence on micelle formation in the heavy water-tetradecyltrimethylammonium bromide system. *Ukr. J. Phys.* **55**, 288 (2010).
110. L.A. Bulavin, O.I. Ivankov, A.Kh. Islamov *et al.* Structure transformations in the triple liquid system tetradecyltrimethylammonium bromide-D₂O-NaBr. *Ukr. J. Phys.* **55**, 410 (2010).
111. L.A. Bulavin, O.I. Ivankov, V.M. Sysoev. Neutron research of the structure transition micelle to crystallites in liquid system D₂O-tetradecyltrimethylammonium bromide-NaBr. *Yad. Fiz. Energet.* **11**, 86 (2010) (in Ukrainian).
112. Yu.P. Gomza, V.V. Klepko, S.V. Zhil'tsova *et al.* Structural and morphological features of organic-inorganic hybrid materials based on ethoxysilanes and epoxy resin. *Polym. Sci. Ser. A* **52**, 628 (2010).
113. D.V. Soloviov, A.I. Kuklin, P.K. Utrobin *et al.* X-ray scattering and volumetric P-V-T studies of the dimyristoylphosphatidylcholine-water system. *J. Surf. Invest.* **5**, 7 (2011).
114. O.V. Tomchuk, M.V. Avdeev, L.A. Bulavin *et al.* Small-angle neutron scattering by fractal clusters in aqueous

- dispersions of nanodiamonds. *Phys. Part. Nucl. Lett.* **8**, 1046 (2011).
115. T.V. Tropin, M.V. Avdeev, O.A. Kyzyma *et al.* Towards description of kinetics of dissolution and cluster growth in C₆₀/NMP solutions. *Phys. Status Solidi B* **248**, 2728 (2011).
 116. V. Zavisova, M. Koneracka, M. Muckova *et al.* Magnetic fluid poly(ethylene glycol) with moderate anticancer activity. *J. Magn. Magn. Mater.* **323**, 1408 (2011).
 117. R. Lund, V. Pipich, L. Willner *et al.* Structural and thermodynamic aspects of the cylinder-to-sphere transition in amphiphilic diblock copolymer micelles. *Soft Matter* **7**, 1491 (2011).
 118. M. Knaapila, R.C. Evans, A. Gutacker *et al.* Conjugated polyelectrolyte (CPE) poly[3-[6-(N-methylimidazolium)hexyl]-2,5-thiophene] complexed with aqueous sodium dodecylsulfate amphiphile: Synthesis, solution structure and "surfactochromic" properties. *Soft Matter* **7**, 6863 (2011).
 119. G. Mangiapia, M. Vaccaro, G. D'Errico *et al.* Cubosomes for ruthenium complex delivery: Formulation and characterization. *Soft Matter* **7**, 10577 (2011).
 120. R. Lund, L. Willner, V. Pipich *et al.* Equilibrium chain exchange kinetics of diblock copolymer micelles: Effect of morphology. *Macromolecules* **44**, 6145 (2011).
 121. M. Knaapila, D.W. Bright, B.S. Nehls *et al.* Development of intermolecular structure and beta-phase of random poly[9,9-bis(2-ethylhexyl)fluorene]-co-(9,9-dioctylfluorene) in methylcyclohexane. *Macromolecules* **44**, 6453 (2011).
 122. S. Halacheva, G.J. Price, V.M. Garamus. Effects of temperature and polymer composition upon the aqueous solution properties of comblike linear poly(ethylene imine)/poly(2-ethyl-2-oxazoline)-based polymers. *Macromolecules* **44**, 7394 (2011).
 123. S.E. Wolf, J. Leiterer, V. Pipich *et al.* Strong stabilization of amorphous calcium carbonate emulsion by ovalbumin: Gaining insight into the mechanism of 'polymer-induced liquid precursor' processes. *J. Am. Chem. Soc.* **133**, 12642 (2011).
 124. V.M. Nadutov, S.G. Kosintsev, Ye.O. Svystunov *et al.* Anti-Invar properties and magnetic order in fcc Fe-Ni-C alloy. *J. Magn. Magn. Mater.* **323**, 2786 (2011).
 125. S.A. Samoylenko, S.E. Kichanov, A.V. Belushkin *et al.* The studies of structural aspects of the cluster formation in silicate glasses doped with cerium and titanium oxides by small-angle neutron scattering. *Phys. Solid State* **53**, 2431 (2011).
 126. M.V. Avdeev, N.M. Blagoveshchenskii, V.M. Garamus *et al.* Investigation of the tripoli porous structure by small-angle neutron scattering. *Crystallogr. Rep.* **56**, 1090 (2011).
 127. T. Zheltonozhskaya, V. Nedashkovskaya, V. Khutoryanskiy *et al.* Micelles of PAAm-*b*-PEO-*b*-PAAm triblock copolymers and their binding with prednisolon. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **536**, 148 (2011).
 128. N.I. Lebovka, E.A. Lysenkov, A.I. Goncharuk *et al.* Phase behaviour, microstructure, and percolation of poly(ethylene glycol) filled by multiwalled carbon nanotubes and organophilic montmorillonite. *J. Compos. Mater.* **45**, 2555 (2011).
 129. L.A. Bulavin, N.I. Lebovka, Yu.A. Kyslyi *et al.* Microstructural, rheological, and conductometric studies of multiwalled carbon nanotube suspensions in glycerol. *Ukr. J. Phys.* **56**, 217 (2011).
 130. O.V. Tomchuk, M.V. Avdeev, V.L. Aksenov *et al.* Comparative structural characterization of the water dispersions of detonation nanodiamonds by small-angle neutron scattering. *J. Surf. Invest.* **6**, 821 (2012).
 131. O.B. Karpenko, V.V. Trachevskij, O.V. Filonenko *et al.* NMR study of non-equilibrium state of fullerene C₆₀ in N-methyl-2-pyrrolidone. *Ukr. J. Phys.* **57**, 860 (2012).
 132. T.O. Kyrey, O.A. Kyzyma, M.V. Avdeev *et al.* Absorption characteristics of fullerene C₆₀ in N-methyl-2-pyrrolidone/toluene mixture. *Fuller. Nanotub. Car. N.* **20**, 341 (2012).
 133. T.V. Tropin, N. Jargalan, M.V. Avdeev *et al.* Kinetics of cluster growth in polar solutions of fullerene: Experimental and theoretical study of C₆₀/NMP solution. *J. Mol. Liq.* **175**, 4 (2012).
 134. V.I. Petrenko, M.V. Avdeev, L.A. Bulavin *et al.* Diagnostic and analysis of aggregation stability of magnetic fluids for biomedical applications by small-angle neutron scattering. *J. Phys. Conf. Ser.* **345**, 012028 (2012).
 135. F. Zhang, F. Roosen-Runge, M.W.A. Skoda *et al.* Hydration and interactions in protein solutions containing concentrated electrolytes studied by small-angle scattering. *Phys. Chem. Chem. Phys.* **14**, 2483 (2012).
 136. D. Schwahn, V. Pipich, D. Richter. Composition and long-range density fluctuations in PEO/PMMA polymer blends: A result of asymmetric component mobility. *Macromolecules* **45**, 2035 (2012).
 137. A. Meier-Koll, V. Pipich, P. Busch *et al.* Phase separation in semidilute aqueous poly(N-isopropylacrylamide) solutions. *Langmuir* **28**, 8791 (2012).
 138. D.V. Soloviov, Yu.E. Gorshkova, O.I. Ivankov *et al.* Ripple phase behavior in mixtures of DPPC/POPC lipids: SAXS and SANS studies. *J. Phys. Conf. Ser.* **351**, 012010 (2012).
 139. S.E. Kichanov, D.P. Kozlenko, A.V. Belushkin *et al.* A study of formation of iron nanoparticles in aluminium matrix with helium pores. *J. Phys. Conf. Ser.* **351**, 012013 (2012).
 140. S.A. Samoylenko, S.E. Kichanov, D.P. Kozlenko *et al.* The studies of nanoparticles formed in silicate glasses doped by cerium and titanium oxides by means of small angle neutron scattering. *J. Phys. Conf. Ser.* **351**, 012017 (2012).
 141. M.-L. Craus, E. Anitas, N. Cornei *et al.* Magnetic structure of La_{0.54}Ho_{0.11}Sr_{0.35}Mn_{1-x}Cu_xO₃ manganites. *Solid State Phenom.* **190**, 121 (2012).
 142. M. Stepanek, J. Skvarla, M. Uchman *et al.* Wormlike core-shell nanoparticles formed by co-assembly of double hydrophilic block polyelectrolyte with oppositely charged fluorosurfactant. *Soft Matter* **8**, 9412 (2012).

143. I.G. Chuvashova, A.S. Vanetsev, O.M. Gaitko *et al.* Effect of synthesis conditions of the micro- and mesostructure of monodisperse $Y(OH)CO_3$ powders. *Doklady Chemistry* **446**, 207 (2012).
144. D.V. Soloviov, L.A. Bulavin, V.I. Gordeliy *et al.* Neutron scattering investigations of the lipid bilayer structure pressure dependence. *Yad. Fiz. Energet.* **13**, 83 (2012) (in Ukrainian).
145. L.A. Bulavin, D.V. Solov'ev, Yu.E. Gorshkova *et al.* Structural transition in a lipid–water liquid system. *Ukr. J. Phys.* **57**, 623 (2012).
146. E.A. Lysenkov, N.I. Lebovka, Y.V. Yakovlev *et al.* Percolation behaviour of polypropylene glycol filled with multiwalled carbon nanotubes and Laponite. *Compos. Sci. Technol.* **72**, 1191 (2012).
147. M.V. Avdeev, V.L. Aksenov, O.V. Tomchuk *et al.* The spatial diamond–graphite transition in detonation nanodiamond as revealed by small-angle neutron scattering. *J. Phys.: Cond. Matt.* **25**, 445001 (2013).
148. A.A. Kaznacheevskaya, O.A. Kizima, L.A. Bulavin *et al.* Reorganization of the cluster state in a C_{60} /N-methylpyrrolidone/water solution: Comparative characteristics of dynamic light scattering and small-angle neutron scattering data. *J. Surf. Invest.* **7**, 1133 (2013).
149. A.V. Nagorny, V.I. Petrenko, M.V. Avdeev *et al.* On determination of the structural parameters of polydisperse magnetic fluids by small-angle neutron scattering. *J. Surf. Invest.* **7**, 99 (2013).
150. O.A. Kyzyma, T.O. Kyrey, M.V. Avdeev *et al.* Non-reversible solvatochromism in N-methyl-2-pyrrolidone/toluene mixed solutions of fullerene C_{60} . *Chem. Phys. Lett.* **556**, 178 (2013).
151. T.V. Tropin, T.O. Kyrey, O.A. Kyzyma *et al.* Experimental investigation of C_{60} /NMP/toluene solutions by UV-Vis spectroscopy and small-angle neutron scattering. *J. Surf. Invest.* **7**, 1 (2013).
152. M.V. Avdeev, V.L. Aksenov, Z. Gazova *et al.* On the determination of the helical structure parameters of amyloid protofilaments by small-angle neutron scattering and atomic force microscopy. *J. Appl. Cryst.* **46**, 224 (2013).
153. V.I. Petrenko, M.V. Avdeev, R. Turcu *et al.* Powder structure of magnetic nanoparticles with a substituted pyrrole copolymer shells according to small-angle neutron scattering. *J. Surf. Invest.* **7**, 5 (2013).
154. R.A. Eremin, K. Kholmurodov, V.I. Petrenko *et al.* Effect of the solute-solvent interface on small-angle neutron scattering from organic solutions of short alkyl chain molecules as revealed by molecular dynamics simulation. *J. Appl. Cryst.* **46**, 372 (2013).
155. M. Golub, D. Lott, E.B. Watkins *et al.* X-ray and neutron investigation of self-assembled lipid layers on a titanium surface. *Biointerphases* **8**, 21 (2013).
156. G. Graf, S. Drescher, A. Meister *et al.* Bolalipid fiber aggregation can be modulated by the introduction of sulfur atoms into the spacer chains. *J. Colloid Interf. Sci.* **393**, 143 (2013).
157. S.E. Dem'yanov, N.A. Kalanda, L.V. Kovalev *et al.* Dielectric barrier formation and tunneling magnetoresistance effect in strontium iron molybdate. *Tech. Phys. Lett.* **39**, 552 (2013).
158. X. Yang, L. Zhao, L. Almasy *et al.* Preparation and characterization of 4-dedimethylamino sancycline (CMT-3) loaded nanostructured lipid carrier (CMT-3/NLC) formulations. *Int. J. Pharm.* **450**, 225 (2013).
159. J. Liu, M. Harms, V.M. Garamus *et al.* Reentrant structural phase transition in amphiphilic self-assembly. *Soft Matter* **9**, 6371 (2013).
160. G. Graf, S. Drescher, A. Meister *et al.* Tuning the aggregation behaviour of single-chain bolaamphiphiles in aqueous suspension by changes in headgroup asymmetry. *Soft Matter* **9**, 9562 (2013).
161. V.F. Korolovych, S.P. Nedyak, K.O. Moroz *et al.* Compressibility of water containing single-walled carbon nanotubes. *Fuller. Nanotub. Car. N.* **21**, 24 (2013).
162. V. Savenko, L. Bulavin, M. Rawiso *et al.* Sedimentation stability and aging of aqueous dispersions of Laponite in the presence of cetyltrimethylammonium bromide. *Phys. Rev. E* **88**, 052301 (2013).
163. M.E. Kornienko, N.L. Sheiko, O.M. Kornienko *et al.* Discrete properties of quasiliquidwater film in the ice premelting range. 1. Temperature dependences of water nanofilm thickness and viscoelasticproperties of polycrystalline ice. *Ukr. J. Phys.* **58**, 151 (2013).
164. E.A. Lysenkov, Yu.V. Yakovlev, V.V. Klepko *et al.* Percolation properties of systems based on polypropyleneglycol and carbon nanotubes. *Ukr. J. Phys.* **58**, 378 (2013).
165. A.V. Chalyi, L.A. Bulavin, V.F. Chekhun *et al.* Universality classes and critical phenomena in confined liquid systems. *Condens. Matter Phys.* **16**, 23008 (2013).
166. A.V. Nagorny, L.A. Bulavin, V.I. Petrenko *et al.* Determination of the structure factor of interparticle interactions in the ferrofluid by small-angle neutron scattering. *Nucl. Phys. At. Energy* **15**, 59 (2014).
167. L.A. Bulavin, V.S. Savenko, N.I. Lebovka *et al.* Small-angle neutron scattering of multiwalled carbon nanotubes in aqueous suspensions in presence of Laponite platelets or cetyltrimethylammonium bromide. *Yad. Fiz. Energet.* **14**, 372 (2013) (in Ukrainian).
168. T.V. Tropin, N. Jargalan, M.V. Avdeev *et al.* Calculation of the cluster size distribution functions and small-angle neutron scattering data for C_{60} /N-methylpyrrolidone. *Phys. Solid State* **56**, 148 (2014).
169. Y.I. Prylutsky, V.I. Petrenko, O.I. Ivankov *et al.* On the origin of C_{60} fullerene solubility in aqueous solution. *Langmuir* **30**, 3967 (2014).
170. L. Melnikova, Z. Mitroova, M. Timko *et al.* Structural characterization of magnetoferritin. *Mendeleev Commun.* **24**, 80 (2014).
171. V. Petrenko, L. Bulavin, M. Avdeev *et al.* Structure and interaction of poly(ethylene glycol) in aqueous solutions. Small-angle neutron scattering data. *Macromol. Symp.* **335**, 20 (2014).

172. V.I. Petrenko, M.V. Avdeev, V.M. Garamus *et al.* Structure of amyloid aggregates of lysozyme from small-angle X-ray scattering data. *Phys. Solid State* **56**, 129 (2014).
173. L. Melnikova, V.I. Petrenko, M.V. Avdeev *et al.* Effect of iron oxide loading on magnetoferritin structure in solution as revealed by SAXS and SANS. *Colloids Surf. B* **123**, 82 (2014).
174. S.E. Kichanov, A.Kh. Islamov, S.A. Samoilenko *et al.* Studying the structural features of oxide nanoclusters of cerium and titanium in a silicate glass by means of the small-angle neutron scattering. *J. Surf. Invest.* **8**, 98 (2014).
175. N.N. Gubanova, G.P. Kopitsa, K.V. Ezdakova *et al.* Structure of zirconium dioxide based porous glasses. *J. Surf. Invest.* **8**, 967 (2014).
176. S. Goossen, A.R. Bras, M. Krutyeva *et al.* Molecular scale dynamics of large ring polymers. *Phys. Rev. Lett.* **113**, 168302 (2014).
177. Y.N. Dahdal, V. Pipich, H. Rapaport *et al.* Small-angle neutron scattering studies of mineralization on BSA coated citrate capped gold nanoparticles used as a model surface for membrane scaling in RO wastewater desalination. *Langmuir* **30**, 15072 (2014).
178. F. Schneider, A. Balaceanu, A. Feoktystov *et al.* Monitoring the internal structure of poly(N-vinylcaprolactam) microgels with variable cross-link concentration. *Langmuir* **30**, 15317 (2014).
179. A. Accardo, P. Ringhieri, N. Szekely *et al.* Structural insights on nanoparticles containing gadolinium complexes as potential theranostic. *Colloid Polym. Sci.* **292**, 1121 (2014).
180. S. Jaksch, A. Schulz, K. Kyriakos *et al.* The collapse and aggregation of thermoresponsive poly(2-oxazoline) gradient copolymers: a time-resolved SANS study. *Colloid Polym. Sci.* **292**, 2413 (2014).
181. M. Helminger, B. Wu, T. Kollmann *et al.* Synthesis and characterization of gelatin-based magnetic hydrogels. *Adv. Funct. Mater.* **24**, 3187 (2014).
182. T. Zinn, L. Willner, R. Lund *et al.* Surfactant or block copolymer micelles? Structural properties of a series of well-defined *n*-alkyl-PEO micelles in water studied by SANS. *Soft Matter* **10**, 5212 (2014).
183. S. Drescher, A. Meister, V.M. Garamus *et al.* Phenylene bolaamphiphiles: Influence of the substitution pattern on the aggregation behavior and the miscibility with classical phospholipids. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* **116**, 1205 (2014).
184. T. Gorniak, T. Haraszti, V.M. Garamus *et al.* Nano-scale morphology of melanosomes revealed by small-angle X-ray scattering. *PLoS One* **9**, e90884 (2014).
185. J. Xiao, F. Liu, V.M. Garamus *et al.* Insights into the interactions among surfactin, betaines, and PAM: Surface tension, small-angle neutron scattering, and small-angle X-ray scattering study. *Langmuir* **30**, 3363 (2014).
186. S. Zhao, X. Yang, V.M. Garamus *et al.* Mixture of nonionic/ionic surfactants for the formulation of nanostructured lipid carriers: Effects on physical properties. *Langmuir* **30**, 6920 (2014).
187. S. Drescher, B.-D. Lechner, V.M. Garamus *et al.* The headgroup (A)symmetry strongly determines the aggregation behavior of single-chain phenylene-modified bola-lipids and their miscibility with classical phospholipids. *Langmuir* **30**, 9273 (2014).
188. M. Knaapila, T. Costa, V.M. Garamus *et al.* Conjugated polyelectrolyte (CPE) poly3-[6-(N-methylimidazolium)hexyl]-2,5-thiophene complexed with DNA: Relation between colloidal level solution structure and chromic effects. *Macromolecules* **47**, 4017 (2014).
189. Y. Chen, X. Yang, L. Zhao *et al.* Preparation and characterization of a nanostructured lipid carrier for a poorly soluble drug. *Colloids Surf. A* **455**, 36 (2014).
190. J. Hajduova, K. Prochazka, V. Raus *et al.* Structure of polymeric nanoparticles in surfactant-stabilized aqueous dispersions of high-molar-mass hydrophobic graft copolymers. *Colloids Surf. A* **456**, 10 (2014).
191. D. Soloviov, Yu. Zabashta, L. Bulavin *et al.* Changes in the area per lipid molecule by P-V-T and SANS investigations. *Macromol. Symp.* **335**, 58 (2014).
192. V.F. Korolovych, L.A. Bulavin, Yu.I. Prylutsky *et al.* Influence of single-walled carbon nanotubes on thermal expansion of water. *Int. J. Thermophys.* **35**, 19 (2014).
193. V. Savenko, L. Bulavin, M. Rawiso *et al.* Aging of aqueous Laponite dispersions in the presence of sodium polystyrene sulfonate. *Ukr. J. Phys.* **59**, 589 (2014).
194. O. Deriabina, N. Lebovka, L. Bulavin *et al.* Regulation of dispersion of carbon nanotubes in binary water + 1-cyclohexyl-2-pyrrolidone mixtures. *Physica E* **59**, 150 (2014).
195. L.A. Bulavin, D.V. Soloviov, V.I. Gordeliy *et al.* Lyotropic model membrane structures of hydrated DPPC: DSC and small-angle X-ray scattering studies of phase transitions in the presence of membranotropic agents. *Phase Transit.* **88**, 582 (2015).
196. O.V. Tomchuk, D.S. Volkov, L.A. Bulavin *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* **119**, 794 (2015).
197. L.A. Bulavin, S.O. Samoilenko, S.E. Kichanov *et al.* Nanoformation in doped silicate glass and its fractal dimensions. *Yad. Fiz. Energet.* **16**, 152 (2015) (in Ukrainian).
198. L.A. Bulavin, O.V. Tomchuk, M.V. Avdeev. Investigation of the cluster structure in aqueous suspensions of nanodiamonds by small-angle neutron scattering. *Yad. Fiz. Energet.* **16**, 198 (2015).
199. L.A. Bulavin, Yu.F. Zabashta. Anomalous asymptotic of small-angle neutron scattering intensity. *Ukr. J. Phys.* **60**, 314 (2015).
200. M.V. Avdeev, V.I. Petrenko, A.V. Feoktystov *et al.* Neutron investigations of ferrofluids. *Ukr. J. Phys.* **60**, 728 (2015).
201. O.A. Kyzyma, A.V. Tomchuk, M.V. Avdeev *et al.* Structural researches of carbonic fluid nanosystems. *Ukr. J. Phys.* **60**, 835 (2015).

202. L.A. Bulavin, D.V. Soloviov, A.I. Kuklin *et al.* Small-angle X-ray scattering and differential scanning calorimetry studies of DPPC multilamellar structures containing membranotropic agents of different chemical nature. *Ukr. J. Phys.* **60**, 905 (2015).
203. N.I. Lebovka, L.A. Bulavin, I.A. Melnyk *et al.* Impact of aggregation on the percolation anisotropy on a square lattice in an elongated geometry. *Ukr. J. Phys.* **60**, 910 (2015).
204. V.V. Strelchuk, A.S. Nikolenko, Yu.Yu. Stubrov *et al.* Phonon energy spectra and stationary elastic waves in single-walled carbon nanotubes and graphite bulk crystals. *Ukr. J. Phys.* **60**, 925 (2015).
205. V.V. Klepko, E.A. Lysenkov. Features of percolation transition in systems on the basis of oligoglycols and carbon nanotubes. *Ukr. J. Phys.* **60**, 944 (2015).
206. E.A. Kyzyma, A.A. Tomchuk, L.A. Bulavin *et al.* Structure and toxicity of aqueous fullerene C₆₀ solutions. *J. Surf. Invest.* **9**, 1 (2015).
207. Y.I. Prylutsky, M.P. Evstigneev, V.V. Cherepanov *et al.* Structural organization of C₆₀ fullerene, doxorubicin, and their complex in physiological solution as promising anti-tumor agents. *J. Nanopart. Res.* **17**, 45 (2015).
208. Yu.I. Prylutsky, V.V. Cherepanov, M.P. Evstigneev *et al.* Structural self-organization of C₆₀ and cisplatin in physiological solution. *Phys. Chem. Chem. Phys.* **17**, 26084 (2015).
209. L. Melnikova, V.I. Petrenko, M.V. Avdeev *et al.* SANS contrast variation study of magnetoferritin structure at various iron loading. *J. Magn. Magn. Mater.* **377**, 77 (2015).
210. P. Kopcansky, K. Siposova, L. Melnikova *et al.* Destroying activity of magnetoferritin on lysozyme amyloid fibrils. *J. Magn. Magn. Mater.* **377**, 267 (2015).
211. R. Turcu, I. Craciunescu, V.M. Garamus *et al.* Magnetic microgels for drug targeting applications: Physical-chemical properties and cytotoxicity evaluation. *J. Magn. Magn. Mater.* **380**, 307 (2015).
212. M. Rajnak, V.I. Petrenko, M.V. Avdeev *et al.* Direct observation of electric field induced pattern formation and particle aggregation in ferrofluids. *Appl. Phys. Lett.* **107**, 073108 (2015).
213. V.I. Petrenko, M.V. Avdeev, V.M. Garamus *et al.* Impact of polyethylene glycol on aqueous micellar solutions of sodium oleate studied by small-angle neutron scattering. *Colloids Surf. A* **480**, 191 (2015).
214. A. Sauter, F. Roosen-Runge, F. Zhang *et al.* On the question of two-step nucleation in protein crystallization. *Faraday Discuss.* **179**, 41 (2015).
215. M. Sigleitmeier, B. Wu, T. Kollmann *et al.* Multifunctional layered magnetic composites. *Beilstein J. Nanotechnol.* **6**, 134 (2015).
216. M. Knaapila, T. Costa, V.M. Garamus *et al.* Polyelectrolyte complexes of a cationic all conjugated fluorene-thiophene diblock copolymer with aqueous DNA. *J. Phys. Chem. B* **119**, 3231 (2015).
217. M. Wang, T. Zander, X. Liu *et al.* The effect of temperature on supported dipalmitoylphosphatidylcholine (DPPC) bilayers: Structure and lubrication performance. *J. Colloid Interf. Sci.* **445**, 84 (2015).
218. A. Jaeger, E. Jaeger, F. Surman *et al.* Nanoparticles of the poly([N-(2-hydroxypropyl)]methacrylamide)-b-poly[2-(diisopropylamino)ethyl methacrylate] diblock copolymer for pH-triggered release of paclitaxel. *Polym. Chem.* **6**, 4946 (2015).
219. Y. Chen, A. Angelova, B. Angelov *et al.* Sterically stabilized spongosomes for multidrug delivery of anticancer nanomedicines. *J. Mater. Chem. B* **3**, 7734 (2015).
220. S.K. Filippov, O.Yu. Sergeeva, P.S. Vlasov *et al.* Modified hydroxyethyl starch protects cells from oxidative damage. *Carbohydr. Polym.* **134**, 314 (2015).
221. M. Balasoiu, O.I. Ivankov, D.V. Soloviov *et al.* Microstructure investigation of a CoFe₂O₄/lauric acid/DDS-Na/H₂O ferrofluid. *J. Optoelectron. Adv. M.* **17**, 1114 (2015).
222. T.N. Murugova, A.V. Vlasov, O.I. Ivankov *et al.* Low resolution structural studies of apoferritin via SANS and SAXS: the effect of concentration. *J. Optoelectron. Adv. M.* **17**, 1397 (2015).
223. H. Gihbardt, C.R. Haramagatti, A.Kh. Islamov *et al.* Ordering phenomena in surfactant systems: From micellar solutions to gel and crystalline phases. *Z. Phys. Chem.* **229**, 1869 (2015).
224. T.B. Feldman, O.I. Ivankov, T.N. Murugova *et al.* Study of visual pigment rhodopsin supramolecular organization in photoreceptor membrane by small-angle neutron scattering method with contrast variation. *Dokl. Biochem. Biophys.* **465**, 420 (2015).
225. D.M. Nozdrenko, K.I. Bogutska, Yu.I. Prylutsky *et al.* Impact of C₆₀ fullerene on the dynamics of force-speed changes in soleus muscle of rat at ischemia-reperfusion injury. *Fiziol. Zh.* **61**, 48 (2015).
226. E.A. Lysenkov, Z.O. Gagolkina, E.V. Lobko *et al.* Structure-property relationships in polymer nanocomposites based on cross-linked polyurethanes and carbon nanotubes. *Funct. Mater.* **22**, 342 (2015).
227. E. Lysenkov, I. Melnyk, L. Bulavin *et al.* Structure of polyglycols doped by nanoparticles with anisotropic shape. In: *Proceedings of the Conference "Physics of Liquid Matter: Modern Problems"*, Kyiv, Ukraine, 23–27 May 2014, edited by L. Bulavin, N. Lebovka (Springer, 2015), p. 165.
228. K.M. Sukhyy, Yu.P. Gomza, E.A. Belyanovskaya *et al.* Resistive humidity sensors based on proton-conducting organic-inorganic silicophosphates doped by polyionenes. *J. Sol-Gel Sci. Technol.* **74**, 472 (2015).
229. L.A. Bulavin, L.Yu. Vergun, Yu.F. Zabashta *et al.* Large-scaled clusters in aqueous glucose solutions. *Colloid J.* **77**, 261 (2015).
230. M.V. Avdeev, O.V. Tomchuk, O.I. Ivankov *et al.* On the structure of concentrated detonation nanodiamond hydrosols with a positive ζ potential: Analysis of small-

- angle neutron scattering. *Chem. Phys. Lett.* **658**, 58 (2016).
231. A.V. Nagorny, V.I. Petrenko, M.V. Avdeev *et al.* Structure of water-based magnetic liquids by small-angle X-ray scattering. *Roman. J. Phys.* **61**, 483 (2016).
 232. V. Dordovic, M. Uchman, M. Reza *et al.* Cation-sensitive compartmentalization in metallacarborane containing polymer nanoparticles. *RSC Adv.* **6**, 9884 (2016).
 233. Y.I. Prylutsky, V.V. Cherepanov, V.V. Kostjukov *et al.* Study of the complexation between Landomycin A and C₆₀ fullerene in aqueous solution. *RSC Adv.* **6**, 81231 (2016).
 234. Yu.V. Kulvelis, S.S. Ivanchev, O.N. Primachenko *et al.* Structure and property optimization of perfluorinated short side chain membranes for hydrogen fuel cells using orientational stretching. *RSC Adv.* **6**, 108864 (2016).
 235. Y. Prylutsky, A. Borowik, G. Golunski *et al.* Biophysical characterization of the complexation of C₆₀ fullerene with doxorubicin in a prokaryotic model. *Materialwiss. Werkst.* **47**, 92 (2016).
 236. A.D. Yapryntsev, N.N. Gubanova, G.P. Kopitsa *et al.* Mesostucture of yttrium and aluminum basic salts coprecipitated from aqueous solutions under ultrasonic treatment. *J. Surf. Invest.* **10**, 177 (2016).
 237. S.O. Samoilenko, S.E. Kichanov, D.P. Kozlenko *et al.* Study of silicate glasses with PbS nanoparticles using small-angle neutron scattering. *J. Surf. Invest.* **10**, 187 (2016).
 238. E.A. Kyzyma, M.O. Kuzmenko, L.A. Bulavin *et al.* Impact of a physiological medium on the aggregation state of C₆₀ and C₇₀ fullerenes. *J. Surf. Invest.* **10**, 1125 (2016).
 239. J. Majorosova, V.I. Petrenko, K. Siposova *et al.* On the adsorption of magnetite nanoparticles on lysozyme amyloid fibrils. *Colloids Surf. B* **146**, 794 (2016).
 240. Z. Fu, Y. Xiao, A. Feoktystov *et al.* Field-induced self-assembly of iron oxide nanoparticles investigated using small-angle neutron scattering. *Nanoscale* **8**, 18541 (2016).
 241. Y.N. Dahdal, V. Pipich, H. Rapaport *et al.* Small-angle neutron scattering studies of alginate as biomineralizing agent and scale initiator. *Polymer* **85**, 77 (2016).
 242. A. Sauter, F. Zhang, N.K. Szekely *et al.* Structural evolution of metastable protein aggregates in the presence of trivalent salt studied by (V)SANS and SAXS. *J. Phys. Chem. B* **120**, 5564 (2016).
 243. N. Kampman, A. Busch, P. Bertier *et al.* Observational evidence confirms modelling of the long-term integrity of CO₂-reservoir caprocks. *Nat. Commun.* **7**, 12268 (2016).
 244. Y.V. Kuznetsova, A.A. Rempel, M. Meyer *et al.* Small angle X-ray and neutron scattering on cadmium sulfide nanoparticles in silicate glass. *J. Cryst. Growth* **447**, 13 (2016).
 245. D. Schwahn, V. Pipich, R. Kasher *et al.* Accumulation of GdCl₃ in the feed of a reverse osmosis system during desalination as determined by neutron absorption. *J. Phys. Conf. Ser.* **746**, 012039 (2016).
 246. E.P. Simonenko, N.P. Simonenko, G.P. Kopitsa *et al.* How xerogel carbonization conditions affect the reactivity of highly disperse SiO₂-C composites in the sol-gel synthesis of nanocrystalline silicon carbide. *Russ. J. Inorg. Chem.* **61**, 1347 (2016).
 247. D. Schwahn, V. Pipich. Aqueous solutions of poly(ethylene oxide): Crossover from ordinary to tricritical behavior. *Macromolecules* **49**, 8228 (2016).
 248. A. Radulescu, N.K. Szekely, M.-S. Appavou *et al.* Studying soft-matter and biological systems over a wide length-scale from nanometer and micrometer sizes at the small-angle neutron diffractometer KWS-2. *J. Vis. Exp.* **2016**, e54639 (2016).
 249. M. Golub, D. Lott, V.M. Garamus *et al.* Neutron study of phospholipids 1-palmitoyl-2-oleoyl-sn-glycero-3-phosphoethanolamine spray coating on titanium implants. *Biointerphases* **11**, 011002 (2016).
 250. A. Riabtsseva, N. Mitina, I. Grytsyna *et al.* Functional micelles formed by branched polymeric surfactants: Synthesis, characteristics, and application as nanoreactors and carriers. *Eur. Polym. J.* **75**, 406 (2016).
 251. T. Zander, D.C.F. Wieland, A. Raj *et al.* The influence of hyaluronan on the structure of a DPPC-bilayer under high pressures. *Colloids Surf. B* **142**, 230 (2016).
 252. A.R. von Gundlach, V.M. Garamus, T. Gorniak *et al.* Small angle X-ray scattering as a high-throughput method to classify antimicrobial modes of action. *Biochim. Biophys. Acta* **1858**, 918 (2016).
 253. W. Lv, S. Zhao, H. Yu *et al.* *Brucea javanica* oil-loaded nanostructure lipid carriers (BJO NLCs): Preparation, characterization and *in vitro* evaluation. *Colloids Surf. A* **504**, 312 (2016).
 254. L. Jin, V.M. Garamus, F. Liu *et al.* Interaction of a biosurfactant, Surfactin with a cationic Gemini surfactant in aqueous solution. *J. Colloid Interf. Sci.* **481**, 201 (2016).
 255. M. Zhernenkov, D. Bolmatov, D. Soloviov *et al.* Revealing the mechanism of passive transport in lipid bilayers via phonon-mediated nanometre-scale density fluctuations. *Nat. Commun.* **7**, 11575 (2016).
 256. L. Bulavin, N. Kutsevol, V. Chumachenko *et al.* SAXS combined with UV-vis spectroscopy and QELS: Accurate characterization of silver sols synthesized in polymer matrices. *Nanoscale Res. Lett.* **11**, 35 (2016).
 257. C. Stan, M. Balasoiu, A.I. Ivankov *et al.* Multifractal analysis of CoFe₂O₄/2DBS/H₂O ferrofluid from TEM and SANS measurements. *Roman. Rep. Phys.* **68**, 270 (2016).
 258. V.F. Korolovych, O.A. Grishina, O.A. Inozemtseva *et al.* Impact of high-frequency ultrasound on nanocomposite microcapsules: *in silico* and *in situ* visualization. *Phys. Chem. Chem. Phys.* **18**, 2389 (2016).
 259. W. Xu, A.A. Steinschulte, F.A. Plamper *et al.* Hierarchical assembly of star polymer polymersomes into responsive multicompartmental microcapsules. *Chem. Mater.* **28**, 975 (2016).

260. M. Tolkachov, V. Sokolova, K. Loza *et al.* Study of biocompatibility effect of nanocarbon particles on various cell types *in vitro*. *Materialwiss. Werkst.* **47**, 216 (2016).
261. V.F. Korolovych, P.A. Ledin, A. Strytsky *et al.* Assembly of amphiphilic hyperbranched polymeric ionic liquids in aqueous media at different pH and ionic strength. *Macromolecules* **49**, 8697 (2016).
262. M.V. Avdeev, V.I. Bodnarchuk, V.I. Petrenko *et al.* Neutron time-of-flight reflectometer GRAINS with horizontal sample plane at the IBR-2 reactor: Possibilities and prospects. *Crystallogr. Rep.* **62**, 1002 (2017).
263. M.V. Avdeev, A.A. Rulev, V.I. Bodnarchuk *et al.* Monitoring of lithium plating by neutron reflectometry. *Appl. Surf. Sci.* **424**, 378 (2017).
264. A.V. Nagornyi, V.I. Petrenko, M.V. Avdeev *et al.* Structural aspects of magnetic fluid stabilization in aqueous agarose solutions. *J. Magn. Magn. Mater.* **431**, 16 (2017).
265. T.V. Nagorna, O.A. Kyzyma, D. Chudoba *et al.* Temporal solvatochromic effect in ternary C₇₀/toluene/N-methylpyrrolidine-2-one solution. *J. Mol. Liq.* **235**, 111 (2017).
266. Y.I. Prylutsky, I.V. Vereshchaka, A.V. Maznychenko *et al.* C₆₀ fullerene as promising therapeutic agent for correcting and preventing skeletal muscle fatigue. *J. Nanobiotechnol.* **15**, 8 (2017).
267. S. Prylutska, R. Panchuk, G. Golunski *et al.* C₆₀ fullerene enhances cisplatin anticancer activity and overcomes tumor cell drug resistance. *Nano Research* **10**, 652 (2017).
268. O.V. Lynchak, Y.I. Prylutsky, V.K. Rybalchenko *et al.* Comparative analysis of the antineoplastic activity of C₆₀ fullerene with 5-fluorouracil and pyrrole derivative *in vivo*. *Nanoscale Res. Lett.* **12**, 8 (2017).
269. M. Kubovcikova, I.V. Gapon, V. Zavisova *et al.* On the adsorption properties of magnetic fluids: Impact of bulk structure. *J. Magn. Magn. Mater.* **427**, 67 (2017).
270. M. Rajnak, M. Timko, P. Kopcansky *et al.* Structure and viscosity of a transformer oil-based ferrofluid under an external electric field. *J. Magn. Magn. Mater.* **431**, 99 (2017).
271. M. Molcan, V.I. Petrenko, M.V. Avdeev *et al.* Structure characterization of the magnetosome solutions for hyperthermia study. *J. Mol. Liq.* **235**, 11 (2017).
272. N.A. Atamas, V. Bardik, A. Bannikova *et al.* The effect of water dynamics on conformation changes of albumin in pre-denaturation state: Photon correlation spectroscopy and simulation. *J. Mol. Liq.* **235**, 17 (2017).
273. V. Chumachenko, N. Kutsevol, Yu. Harahuts *et al.* Star-like dextran-graft-pnipam copolymers. Effect of internal molecular structure on the phase transition. *J. Mol. Liq.* **235**, 77 (2017).
274. V. Gdovinova, N. Tomasovicova, I. Batko *et al.* Interaction of magnetic nanoparticles with lysozyme amyloid fibrils. *J. Magn. Magn. Mater.* **431**, 8 (2017).
275. D. Uhrkova, J. Teixeira, L. Hubcik *et al.* Lipid based drug delivery systems: Kinetics by SANS. *J. Phys. Conf. Ser.* **848**, 012007 (2017).
276. L. Balejcikova, V.I. Petrenko, M.V. Avdeev *et al.* Small-angle scattering on magnetoferritin nanoparticles. *J. Phys. Conf. Ser.* **848**, 012011 (2017).
277. Yu.E. Gorshkova, O.I. Ivankov. Structure and phase transitions of the multilamellar DMPC membranes in presence of the DMSO and DESO. *J. Phys. Conf. Ser.* **848**, 012014 (2017).
278. R.Yu. Smyslov, K.V. Ezdakova, G.P. Kopitsa *et al.* Morphological structure of Gluconacetobacter xylinus cellulose and cellulose-based organic-inorganic composite materials. *J. Phys. Conf. Ser.* **848**, 012017 (2017).
279. A.C. Dragolici, M. Balasoiu, O.L. Orelovich *et al.* CEM V based special cementitious materials investigated by means of SANS method. Preliminary results. *J. Phys. Conf. Ser.* **848**, 012024 (2017).
280. A.-M. Balasoiu-Gaina, M. Balasoiu, O.I. Ivankov *et al.* Structural analysis of aqueous ferrofluids with cobalt ferrite particles stabilized with lauric acid and sodium n-dodecyl sulphate. *J. Phys. Conf. Ser.* **848**, 012026 (2017).
281. E. Wozniak, M. Spirkova, M. Slouf *et al.* Stabilization of aqueous dispersions of poly(methacrylic acid)-coated iron oxide nanoparticles by double hydrophilic block polyelectrolyte poly(ethylene oxide)-block-poly(N-methyl-2-vinylpyridinium iodide). *Colloids Surf. A* **514**, 32 (2017).
282. A. Zou, Y. Li, Y. Chen *et al.* Self-assembled stable sponge-type nanocarriers for *Brucea javanica* oil delivery. *Colloids Surf. B* **153**, 310 (2017).
283. L. Balejcikova, V.M. Garamus, M.V. Avdeev *et al.* The effect of solution pH on the structural stability of magnetoferritin. *Colloids Surf. B* **156**, 375 (2017).
284. O. Holderer, M. Khanef, Y. Lin *et al.* Nanostructure of HT-PEFC electrodes investigated with scattering methods. *ECS Trans.* **80**, 19 (2017).
285. J. Blass, J. Brunke, F. Emmerich *et al.* Interactions between shape-persistent macromolecules as probed by AFM. *Beilstein J. Org. Chem.* **13**, 938 (2017).
286. S. Drescher, V.M. Garamus, C. Garvey *et al.* Aggregation behaviour of a single-chain, phenylene-modified bolalipid and its miscibility with classical phospholipids. *Beilstein J. Org. Chem.* **13**, 995 (2017).
287. S. Prylutska, S. Politenkova, K. Afanasieva *et al.* A nanocomplex of C₆₀ fullerene with cisplatin: design, characterization and toxicity. *Beilstein J. Nanotechnol.* **8**, 1494 (2017).
288. C. Mark, O. Holderer, J. Allgaier *et al.* Polymer chain conformation and dynamical confinement in a model one-component nanocomposite. *Phys. Rev. Lett.* **119**, 047801 (2017).
289. N. Kampman, P. Bertier, A. Busch *et al.* Validating reactive transport models of CO₂-brine-rock reactions in caprocks using observations from a natural CO₂ reservoir. *Energy Procedia* **114**, 4902 (2017).
290. D. Schwahn, V. Pipich, R. Kasher. Phase behavior of methacrylic acid, poly(ethylene glycol) methyl ether, and poly(ethylene glycol) methacrylate in aqueous solutions. *Polymer* **121**, 111 (2017).

291. B.-J. Niebuur, K.-L. Claude, S. Pinzek *et al.* Pressure-dependence of poly(N-isopropylacrylamide) mesoglobule formation in aqueous solution. *ACS Macro Lett.* **6**, 1180 (2017).
292. S.A. Lermontov, A.N. Malkova, N.A. Sipyagina *et al.* Comparative analysis of the physicochemical characteristics of SiO₂ aerogels prepared by drying under subcritical and supercritical conditions. *Inorg. Mater.* **53**, 1270 (2017).
293. A. Raj, M. Wang, T. Zander *et al.* Lubrication synergy: Mixture of hyaluronan and dipalmitoylphosphatidylcholine (DPPC) vesicles. *J. Colloid Interf. Sci.* **488**, 225 (2017).
294. J. Skvarla, R.K. Raya, M. Uchman *et al.* Thermoresponsive behavior of poly(N-isopropylacrylamide)s with dodecyl and carboxyl terminal groups in aqueous solution: pH-dependent cloud point temperature. *Colloid Polym. Sci.* **295**, 1343 (2017).
295. A. Angelova, V.M. Garamus, B. Angelov *et al.* Advances in structural design of lipid-based nanoparticle carriers for delivery of macromolecular drugs, phytochemicals and anti-tumor agents. *Adv. Colloid Interf. Sci.* **249**, 331 (2017).
296. S.R. Al-Ayoubi, P.H. Schummel, M. Golub *et al.* Influence of cosolvents, self-crowding, temperature and pressure on the sub-nanosecond dynamics and folding stability of lysozyme. *Phys. Chem. Chem. Phys.* **19**, 14230 (2017).
297. M. Golub, S. Combet, D.C.F. Wieland *et al.* Solution structure and excitation energy transfer in phycobiliproteins of *Acaryochloris marina* investigated by small angle scattering. *Biochim. Biophys. Acta* **1858**, 318 (2017).
298. M. Golub, B. Lehofer, N. Martinez *et al.* High hydrostatic pressure specifically affects molecular dynamics and shape of low-density lipoprotein particles. *Sci. Rep.* **7**, 46034 (2017).
299. M. Golub, M. Hejazi, A. Koelsch *et al.* Solution structure of monomeric and trimeric photosystem I of *Thermosynechococcus elongatus* investigated by small-angle X-ray scattering. *Photosynth. Res.* **133**, 163 (2017).
300. T. Kondela, J. Gallova, T. Hauss *et al.* Effect of alkan-1-ols on the structure of dopc model membrane. *Eur. Pharm. J.* **64**, 4 (2017).
301. R. Xiong, H.S. Kim, S. Zhang *et al.* Template-guided assembly of silk fibroin on cellulose nanofibers for robust nanostructures with ultrafast water transport. *ACS Nano* **11**, 12008 (2017).
302. E.A. Lysenkov, V.V. Klepko, I.P. Lysenkova. Features of microstructure and percolation behavior of polypropylene glycol, filled by multiwalled carbon nanotubes. *J. Nano Electron. Phys.* **9**, 05021 (2017).
303. E.A. Lysenkov, V.V. Klepko, I.P. Lysenkova. Influence of modification of carbon nanotubes on the microstructure and percolation behavior of the systems based on polyethylene glycol. *J. Phys. Stud.* **21**, 4701 (2017).
304. E.A. Lysenkov, Z.O. Haholkina, E.V. Lobko *et al.* Influence of carbon nanotubes on the mechanical properties of cross-linked polyurethanes. *Mater. Sci.* **53**, 14 (2017).
305. N. Lebovka, L. Bulavin, V. Kovalchuk *et al.* Two-step percolation in aggregating systems. *Condens. Matter Phys.* **20**, 13602 (2017).
306. O.V. Tomchuk, M.V. Avdeev, L.A. Bulavin *et al.* Study of tetraethoxysilane clusters in basic ethanol/water solutions by SANS contrast variation. *Roman. J. Phys.* **63**, 906 (2018).
307. L.A. Bulavin, T.V. Nagorna, O.A. Kyzyma *et al.* Fullerene clustering in C₇₀/N-methyl-2-pyrrolidone/toluene liquid system. *Ukr. J. Phys.* **63**, 116 (2018).
308. A.V. Nagornyi, M.V. Avdeev, O.V. Yelenich *et al.* Structural aspects of Fe₃O₄/CoFe₂O₄ magnetic nanoparticles according to X-ray and neutron scattering. *J. Surf. Invest.* **12**, 737 (2018).
309. T.V. Nagorna, M.O. Kuzmenko, O.A. Kyzyma *et al.* Structural reorganization of fullerene C₇₀ in N-methyl-2-pyrrolidone/toluene mixtures. *J. Mol. Liq.* **272**, 948 (2018).
310. T.V. Nagorna, O.A. Kyzyma, L.A. Bulavin *et al.* Specifics of C₆₀ fullerene cluster formation in a solvent mixture of toluene and N-methyl-2-pyrrolidone. *J. Surf. Invest.* **18**, 872 (2018).
311. L.A. Bulavin, Y. Prylutsky, O. Kyzyma *et al.* Self-organization of pristine C₆₀ fullerene and its complexes with chemotherapy drugs in aqueous solution as promising anticancer agents. In: *Modern Problems of Molecular Physics. Selected Reviews from the 7th International Conference "Physics of Liquid Matter: Modern Problems"*, Kyiv, Ukraine, May 27–31, 2016, edited by L.A. Bulavin, A.V. Chalyi (Springer, 2018), p. 3.
312. A. Borowik, Y. Prylutsky, L. Kawelski *et al.* Does C₆₀ fullerene act as a transporter of small aromatic molecules? *Colloids Surf. B* **164**, 134 (2018).
313. I.V. Byelinska, H.M. Kuznietsova, N.V. Dziubenko *et al.* Effect of C₆₀ fullerenes on the intensity of colon damage and hematological signs of ulcerative colitis in rats. *Mater. Sci. Eng. C* **93**, 505 (2018).
314. T. Halenova, N. Raksha, T. Vovk *et al.* Effect of C₆₀ fullerene nanoparticles on the diet-induced obesity in rats. *Int. J. Obes.* **42**, 1987 (2018).
315. V.I. Petrenko, O.P. Artykulnyi, L.A. Bulavin *et al.* On the impact of surfactant type on the structure of aqueous ferrofluids. *Colloids Surf. A* **541**, 222 (2018).
316. X. Li, V.M. Garamus, N. Li *et al.* Preparation and characterization of a pH-responsive mesoporous silica nanoparticle dual-modified with biopolymers. *Colloids Surf. A* **548**, 61 (2018).
317. I.V. Gapon, V.I. Petrenko, O. Soltwedel *et al.* Crystallisation of aqueous ferrofluids at the free liquid interface investigated by specular and off-specular X-ray reflectometry. *J. Phys. Conf. Ser.* **994**, 012008 (2018).
318. D. Creanga, M. Balasoiu, D. Soloviov *et al.* Small-angle neutron scattering investigations of Co-doped iron ox-

- de nanoparticles. Preliminary results. *J. Phys. Conf. Ser.* **994**, 012009 (2018).
319. D.V. Zabelskii, A.V. Vlasov, Yu.V. Ryzhykau *et al.* Ambiguities and completeness of SAS data analysis: investigations of apoferritin by SAXS/SANS EID and SEC-SAXS methods. *J. Phys. Conf. Ser.* **994**, 012017 (2018).
320. A.N. Khodan, G.P. Kopitsa, K.E. Yarov *et al.* Structural analysis of aluminum oxyhydroxide aerogel by small angle X-ray scattering. *J. Surf. Invest.* **12**, 296 (2018).
321. V.I. Petrenko, Y.N. Kosiachkin, L.A. Bulavin *et al.* On enhancement of the adsorption-layer effect at the metallic electrode-liquid electrolyte interface in specular neutron reflectometry experiments. *J. Surf. Invest.* **12**, 651 (2018).
322. O.P. Artykulnyi, V.I. Petrenko, L.A. Bulavin *et al.* On the impact of polyethylene glycol on the structure of aqueous micellar solutions of sodium oleate according to small-angle neutron scattering. *J. Surf. Invest.* **12**, 1142 (2018).
323. S.V. Snegir, O.P. Artykulnyi, V.I. Petrenko *et al.* On the in-depth density distribution of layered assemblies of Au nanoparticles on planar interfaces. *Chem. Phys. Lett.* **706**, 601 (2018).
324. H. Yalcinkaya, A. Feoktystov, M. Gradzielski. Formation of well-defined vesicles by styrene addition to a non-ionic surfactant and their polymerization leading to viscous hybrid systems. *Langmuir* **34**, 9184 (2018).
325. A. Busch, N. Kampman, P. Bertier *et al.* Predicting effective diffusion coefficients in mudrocks using a fractal model and small-angle neutron scattering measurements. *Water Resour. Res.* **54**, 7076 (2018).
326. J. Siefker, R. Biehl, M. Kruteva *et al.* Confinement facilitated protein stabilization as investigated by small-angle neutron scattering. *J. Am. Chem. Soc.* **140**, 12720 (2018).
327. V. Ryukhtin, S. Bakai, T.-G. Shin *et al.* Microstructural investigations of bulk metallic glass using small-angle neutron scattering techniques. *Physica B* **551**, 29 (2018).
328. J. Bahadur, L.F. Ruppert, V. Pipich *et al.* Porosity of the Marcellus Shale: A contrast matching small-angle neutron scattering study. *Int. J. Coal Geol.* **188**, 156 (2018).
329. L.M. Anovitz, J.T. Freiburg, M. Wasbrough *et al.* The effects of burial diagenesis on multiscale porosity in the St. Peter Sandstone: An imaging, small-angle, and ultra-small-angle neutron scattering analysis. *Mar. Pet. Geol.* **92**, 352 (2018).
330. B. Wu, M. Sigleitmeier, C. Debus *et al.* Ionic dependence of gelatin hydrogel architecture explored using small and very small angle neutron scattering technique. *Macromol. Biosci.* **18**, 1800018 (2018).
331. A.N. Bugrov, A.Yu. Zavialova, R.Yu. Smyslov *et al.* Luminescence of Eu^{3+} ions in hybrid polymer-inorganic composites based on poly(methyl methacrylate) and zirconia nanoparticles. *Luminescence* **33**, 837 (2018).
332. C. Vasilescu, M. Latikka, K.D. Knudsen *et al.* High concentration aqueous magnetic fluids: structure, colloidal stability, magnetic and flow properties. *Soft Matter* **14**, 6648 (2018).
333. O.L. Paiuk, N.Ye. Mitina, A.O. Riabtseva *et al.* Structure and colloidal-chemical characteristics of polymeric surface active substances based on polyethylene glycol-containing macromeres. *Vopr. Khim. Khim. Tekhnol.* **6**, 63 (2018) (in Ukrainian).
334. Y. Yang, J. Cheng, V.M. Garamus *et al.* Preparation of an environmentally friendly formulation of the insecticide nicotine hydrochloride through encapsulation in chitosan/tripolyphosphate nanoparticles. *J. Agric. Food Chem.* **66**, 1067 (2018).
335. A. Zou, Y. Yang, J. Cheng *et al.* Construction and characterization of a novel sustained-release delivery system for hydrophobic pesticides using biodegradable polydopamine-based microcapsules. *J. Agric. Food Chem.* **66**, 6262 (2018).
336. S. Drescher, C. Otto, S. Mueller *et al.* Impact of head-group asymmetry and protonation state on the aggregation behavior of a new type of glycerol diether bolalipid. *Langmuir* **34**, 4360 (2018).
337. M. Nediello, O. Alekseev, V. Chornii *et al.* Structure and properties of microcrystalline cellulose “ceramics-like” composites incorporated with $\text{LaVO}_4\text{:Sm}$ oxide compound. *Acta Phys. Pol. A* **133**, 838 (2018).
338. K. Recko, U. Klekotka, B. Kalska-Szostko *et al.* Properties of Ga-doped magnetite nanoparticles. *Acta Phys. Pol. A* **134**, 998 (2018).
339. K. Recko, J. Waliszewski, U. Klekotka *et al.* Phase composition and magnetism of sol-gel synthesized Ga-Fe-O nanograins. *Phase Transit.* **91**, 128 (2018).
340. V.A. Vizgalov, T. Nestler, L.A. Trusov *et al.* Enhancing lithium-ion conductivity in NASICON glass-ceramics by adding yttria. *Cryst. Eng. Comm.* **20**, 1375 (2018).
341. E.V. Zemlyanaya, M.A. Kiselev, E.I. Zhabitskaya *et al.* The small-angle neutron scattering data analysis of the phospholipid transport nanosystem structure. *J. Phys. Conf. Ser.* **1023**, 012017 (2018).
342. V.F. Korolovych, V. Cherpak, D. Nepal *et al.* Cellulose nanocrystals with different morphologies and chiral properties. *Polymer* **145**, 334 (2018).
343. R. Xiong, H.S. Kim, L. Zhang *et al.* Wrapping nanocellulose nets around graphene oxide sheets. *Angew. Chem.* **57**, 8508 (2018).
344. A.J. Erwin, V.F. Korolovych, Z. Iatridi *et al.* Tunable compartmentalized morphologies of multilayered dual responsive star block polyampholytes. *Macromolecules* **51**, 4800 (2018).
345. V.F. Korolovych, A.J. Erwin, A. Stryutsky *et al.* Thermally responsive hyperbranched poly(ionic liquid)s: Assembly and phase transformations. *Macromolecules* **51**, 4923 (2018).
346. V. Cherpak, V.F. Korolovych, R. Geryak *et al.* Robust chiral organization of cellulose nanocrystals in capillary confinement. *Nano Lett.* **18**, 6770 (2018).
347. A.J. Erwin, H. Lee, S. Ge *et al.* Viscoelastic properties and ion dynamics in star-shaped polymerized ionic liquids. *Eur. Polym. J.* **109**, 326 (2018).
348. N.A. Ogurtsov, Yu.V. Noskov, O.S. Kruglyak *et al.* Effect of the Dopant Anion and Oxidant on the Structure and

- Properties of Nanocomposites of Polypyrrole and Carbon Nanotubes. *Theor. Exp. Chem.* **54**, 114 (2018).
349. M.L. Karpets, T.V. Tropin, L.A. Bulavin *et al.* Neutron reflectometry for structural studies in thin films of polymer nanocomposites. Modeling. *Yad. Fiz. Energet.* **19**, 376 (2018) (in Ukrainian).
 350. G. Graf, S. Drescher, A. Meister *et al.* Nanofiber formation and polymerization of bolalipids with diacetylene-modified single alkyl chains. *J. Phys. Chem. B* **123**, 1566 (2019).
 351. O.V. Tomchuk, M.V. Avdeev, A.E. Aleksenskii *et al.* Sol-gel transition in nanodiamond aqueous dispersions by small-angle scattering. *J. Phys. Chem. C* **123**, 18028 (2019).
 352. A.N. Alekseev, S.A. Alekseev, Y.F. Zabashta *et al.* Two-dimensional ordered crystal structure formed by chain molecules in the pores of solid matrix. In: *Nanocomposites, Nanostructures, and Their Applications. Selected Proceedings of the 6th International Conference Nanotechnology and Nanomaterials (NANO2018), August 27–30, 2018, Kyiv*, edited by O. Fesenko, L. Yatsenko (Springer, 2019), p. 387.
 353. A.V. Stryutsky, V.F. Korolovych, H. Lee *et al.* Oligomeric and polymeric ionic liquids: Engineering architecture and morphology. In: *Modern Problems of the Physics of Liquid Systems. Selected Reviews from the 8th International Conference "Physics of Liquid Matter: Modern Problems", Kyiv, Ukraine, May 18–22, 2018*, edited by L.A. Bulavin, Limei Xu (Springer, 2019), p. 93.
 354. N. Lebovka, L. Lisetski, L.A. Bulavin. Organization of nano-disks of Laponite in soft colloidal systems. In: *Modern Problems of the Physics of Liquid Systems. Selected Reviews from the 8th International Conference "Physics of Liquid Matter: Modern Problems", Kyiv, Ukraine, May 18–22, 2018*, edited by L.A. Bulavin, Limei Xu (Springer, 2019), p. 137.
 355. O.V. Tomchuk. Some aspects of small-angle scattering by fractal chains. *AIP Conf. Proc.* **2163**, 020006 (2019).
 356. M.V. Avdeev, M.S. Yerdauletov, O.I. Ivankov *et al.* On the effect of carbon additives on the porosity of positive electrodes based on LiFePO_4 for lithium-ion batteries. *J. Surf. Invest.* **13**, 614 (2019).
 357. L.A. Azarova, G.P. Kopitsa, E.G. Iashina *et al.* Model of fractal particles of hydrated zirconium dioxide, based on small-angle neutron scattering data. *J. Surf. Invest.* **13**, 908 (2019).
 358. O.V. Tomchuk, M.V. Avdeev, O.I. Ivankov *et al.* Features of colloidal aggregation in tetraethoxysilane-water-ethanol ternary mixtures by small-angle neutron scattering. *J. Surf. Invest.* **13**, 1122 (2019).
 359. A. Nagorny, V.I. Petrenko, M. Rajnak *et al.* Particle assembling induced by non-homogeneous magnetic field at transformer oil-based ferrofluid/silicon crystal interface by neutron reflectometry. *Appl. Surf. Sci.* **473**, 912 (2019).
 360. O. Kyzyma, N. Bashmakova, Y. Gorshkova *et al.* Interaction between the plant alkaloid berberine and fullerene C_{70} : Experimental and quantum-chemical study. *J. Mol. Liq.* **278**, 452 (2019).
 361. S.V. Snegir, T.V. Tropin, O.A. Kyzyma *et al.* On a specific state of C_{60} fullerene in N-methyl-2-pyrrolidone solution: Mass spectrometric study. *Appl. Surf. Sci.* **481**, 1566 (2019).
 362. O.A. Kyzyma, M.V. Avdeev, O.I. Bolshakova *et al.* State of aggregation and toxicity of aqueous fullerene solutions. *Appl. Surf. Sci.* **483**, 69 (2019).
 363. V.A. Vizgalov, T. Nestler, A. Vyalikh *et al.* The role of glass crystallization processes in preparation of high Li-conductive NASICON-type ceramics. *Crys. Eng. Comm.* **21**, 3106 (2019).
 364. P.P. Gorbyk, I.V. Pylypchuk, V.I. Petrenko *et al.* Synthesis and characterization of hybrid chitosan/magnetite nanocomposite fluid. *J. Nano Electron. Phys.* **11**, 04017 (2019).
 365. O.P. Artykulnyi, V.I. Petrenko, L.A. Bulavin *et al.* Impact of poly (ethylene glycol) on the structure and interaction parameters of aqueous micellar solutions of anionic surfactants. *J. Mol. Liq.* **276**, 806 (2019).
 366. L.A. Bulavin, N.A. Goncharenko, O.P. Dmytrenko *et al.* Heteroassociation of antitumor agent doxorubicin with bovine serum albumin in the presence of gold nanoparticles. *J. Mol. Liq.* **284**, 633 (2019).
 367. L. Balejckova, V.I. Petrenko, M. Batkova *et al.* Disruption of amyloid aggregates by artificial ferritins. *J. Magn. Magn. Mater.* **473**, 215 (2019).
 368. L. Balejckova, J. Kovac, V.M. Garamus *et al.* Influence of synthesis temperature on structural and magnetic properties of magnetoferritin. *Mendelev Commun.* **29**, 279 (2019).
 369. V.Y. Kutsenko, O.P. Artykulnyi, V.I. Petrenko *et al.* Isotope effect in heavy/light water suspensions of optically active gold nanoparticles. *Appl. Nanosci.* **9**, 957 (2019).
 370. J. Witte, T. Kyrey, J. Lutzki *et al.* A comparison of the network structure and inner dynamics of homogeneously and heterogeneously crosslinked PNIPAM microgels with high crosslinker content. *Soft Matter* **15**, 1053 (2019).
 371. T. Kyrey, J. Witte, A. Feoktystov *et al.* Inner structure and dynamics of microgels with low and medium crosslinker content prepared via surfactant-free precipitation polymerization and continuous monomer feeding approach. *Soft Matter* **15**, 6536 (2019).
 372. T. Zander, D.C.F. Wieland, A. Raj *et al.* Influence of high hydrostatic pressure on solid supported DPPC bilayers with hyaluronan in the presence of Ca^{2+} ions. *Soft Matter* **15**, 7295 (2019).
 373. T. Kyrey, J. Witte, M. Pipich *et al.* Influence of the crosslinker content on adsorbed functionalised microgel coatings. *Polymer* **169**, 29 (2019).
 374. M. Gvaramia, G. Mangiapia, V. Pipich *et al.* Tunable viscosity modification with diluted particles: when particles decrease the viscosity of complex fluids. *Colloid Polym. Sci.* **297**, 1507 (2019).

375. E.P. Simonenko, N.P. Simonenko, G.P. Kopitsa *et al.* A sol-gel synthesis and gas-sensing properties of finely dispersed ZrTiO_4 . *Mater. Chem. Phys.* **225**, 347 (2019).
376. V. Pipich, K. Schlenstedt, M. Dickmann *et al.* Morphology and porous structure of standalone aromatic polyamide films as used in RO membranes – An exploration with SANS, PALS, and SEM. *J. Membr. Sci.* **573**, 167, (2019).
377. S.P. Schwaminger, S.A. Blank-Shim, I. Scheifele *et al.* Design of interactions between nanomaterials and proteins: A highly affine peptide tag to bare iron oxide nanoparticles for magnetic protein separation. *Biotechnol. J.* **14**, 1800055 (2019).
378. I. Titov, M. Barbieri, P. Bender *et al.* Effect of grain-boundary diffusion process on the geometry of the grain microstructure of Nd-Fe-B nanocrystalline magnets. *Phys. Rev. Mater.* **3**, 084410 (2019).
379. Kh.E. Yorov, S.Yu. Kottsov, A.E. Baranchikov *et al.* Photoluminescent porous aerogel monoliths containing ZnEu-complex: the first example of aerogel modified with a heteronuclear metal complex. *J. Sol-Gel Sci. Technol.* **92**, 304 (2019).
380. D.V. Lebedev, Ya.A. Zabrodskaya, V. Pipich *et al.* Effect of alpha-lactalbumin and lactoferrin oleic acid complexes on chromatin structural organization. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* **520**, 136 (2019).
381. C. Gonzalez-Chomon, V.M. Garamus, S. Rangelov *et al.* Trimethoxysilyl end-capped hyperbranched polyglycidol/polycaprolactone copolymers for cell delivery and tissue repair: synthesis, characterisation and aqueous solution properties. *Eur. Polym. J.* **112**, 648 (2019).
382. T.R. Heyn, V.M. Garamus, H.R. Neumann *et al.* Influence of the polydispersity of pH 2 and pH 3.5 beta-lactoglobulin amyloid fibril solutions on analytical methods. *Eur. Polym. J.* **120**, 109211 (2019).
383. N. Kalanda, V.M. Garamus, M.V. Avdeev *et al.* Small-angle neutron scattering and magnetically heterogeneous state in $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$. *Phys. Status Solidi B* **256**, 1800428 (2019).
384. A. Angelova, M. Drechsler, V.M. Garamus *et al.* Pep-lipid cubosomes and vesicles compartmentalized by micelles from self-assembly of multiple neuroprotective building blocks including a large peptide hormone PACAP-DHA. *ChemNanoMat* **5**, 1381 (2019).
385. M. Knaapila, B. Stewart, V.M. Garamus *et al.* Poly(9-undecyl-9-methyl-fluorene) and poly(9-pentadecyl-9-methyl-fluorene): Synthesis, solution structure, and effect of side chain asymmetry on aggregation behavior. *J. Polym. Sci. B* **57**, 826 (2019).
386. C. Debus, B. Wu, T. Kollmann *et al.* Bioinspired multifunctional layered magnetic hybrid materials. *Bioinspir. Biomim. Nan.* **8**, 28 (2019).
387. V. Chumachenko, N. Kutsevol, Iu. Harahuts *et al.* Temperature driven transformation in dextran-graft-PNIPAM/embedded silver nanoparticle hybrid system. *Int. J. Polym. Sci.* **2019**, 3765614 (2019).
388. A. Zelenakova, P. Hrubovcak, O. Kapusta *et al.* Size and distribution of the iron oxide nanoparticles in SBA-15 nanoporous silica via SANS study. *Sci. Rep.* **9**, 15852 (2019).
389. T.B. Feldman, O.I. Ivankov, A.I. Kuklin *et al.* Small-angle neutron and X-ray scattering analysis of the supramolecular organization of rhodopsin in photoreceptor membrane. *Biochim. Biophys. Acta* **1861**, 183000 (2019).
390. S. Kim, V.F. Korolovych, M.J. Weissburg *et al.* Morphology and surface properties of roach water transport arrays. *ACS Appl. Bio. Mater.* **2**, 2650 (2019).
391. H. Lee, A.V. Stryutsky, V.F. Korolovych *et al.* Transformations of thermosensitive hyperbranched poly(ionic liquid)s monolayers. *Langmuir* **35**, 11809 (2019).
392. L.A. Bulavin, Yu.F. Zabashta, L.Yu. Vergun *et al.* Interfacial layers and the shear elasticity of the collagen–water system. *Ukr. J. Phys.* **64**, 34 (2019).
393. O.M. Alekseev, S.O. Alekseev, Yu.F. Zabashta *et al.* Influence of open-porous system on the solid-state phase transition in 1-octadecene. *Ukr. J. Phys.* **64**, 340 (2019).
394. N. Lebovka, Yu.Yu. Tarasevich, L.A. Bulavin *et al.* Sedimentation of a suspension of rods: Monte Carlo simulation of a continuous two-dimensional problem. *Phys. Rev. E* **99**, 052135 (2019).

Одержано 13.03.20

O.V. Tomchuk

THE CONCEPT OF FRACTALS IN THE STRUCTURAL ANALYSIS OF NANOSYSTEMS: A RETROSPECTIVE LOOK AND PROSPECTS

S u m m a r y

The concept of fractals is widely used in various fields of science. By an example of the results obtained by L.A. Bulavin's scientific school, a tendency toward a more intensive application of fractal analysis to structural studies of nanosystems has been demonstrated. It was shown that the peculiarities in the distribution of nanosystems over their fractal dimensions are related to the mechanisms of growth and aggregation of the dispersed phase. An important aspect of the considered issue is the kinetics of the process under the influence of various factors. The leading role of small-angle scattering methods (the analysis in the reciprocal Fourier space) together with microscopy ones (the analysis in the direct space) used to study advanced nanostructured materials in various states of matter was emphasized.