Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный университет»

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
ИЗУЧЕНИЯ КЛАСТЕРОВ,
НАНОСТРУКТУР
И НАНОМАТЕРИАЛОВ**

**PHYSICAL AND CHEMICAL ASPECTS
OF THE STUDY OF CLUSTERS,
NANOSTRUCTURES AND
NANOMATERIALS**

**FIZIKO-HIMIČESKIE ASPEKTY
IZUČENIÂ KLASTEROV,
NANOSTRUKTUR I NANOMATERIALOV**

выпуск 12

ТВЕРЬ 2020

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

Ф50

Рецензирование статей осуществляется на основании Положения о рецензировании статей и материалов для опубликования в журнале «Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов».

Официальный сайт издания в сети Интернет:

<https://www.physchemaspects.ru>

Ф50 Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов [Текст]. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2020. – Вып. 12. – 908 с.

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций, свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-47789 от 13.12.2011.

Издание составлено из оригинальных статей, кратких сообщений и обзоров теоретического и экспериментального характера, отражающих результаты исследований в области изучения физико-химических процессов с участием кластеров, наноструктур и наноматериалов физики, включая межфазные явления и нанотермодинамику. Журнал предназначен для научных и инженерно-технических работников, преподавателей ВУЗов, студентов и аспирантов. Издание подготовлено на кафедре общей физики Тверского государственного университета.

Переводное название: Physical and chemical aspects of the study of clusters, nanostructures and nanomaterials

Транслитерация названия: Fiziko-himičeskie aspekty izučeniâ klasterov, nanostruktur i nanomaterialov

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

Print ISSN 2226-4442

Online ISSN 2658-4360

© Коллектив авторов, 2020

© Тверской государственный университет, 2020

УДК 54.084

Оригинальная статья

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ИЗМЕРЕНИЯ РАЗМЕРА КОЛЛОИДНЫХ ЧАСТИЦ МЕТОДАМИ ФОТОННО- КОРРЕЛЯЦИОННОЙ И АКУСТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

М.А. Ясная, А.В. Блинов, А.А. Блинова, И.М. Шевченко, Д.Г. Маглакелидзе,
А.О. Сенкова

*ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»
355017, Россия, Ставрополь, ул. Пушкина, 1
nastya_bogdanova_88@mail.ru*

DOI: 10.26456/pcascnn/2020.12.232

Аннотация: В данной работе представлены результаты измерения размера коллоидных частиц SiO_2 двумя методами – фотонно-корреляционной спектроскопией динамического рассеяния света и акустической спектроскопией. Математическая обработка экспериментальных данных с помощью программного обеспечения спектрометров «Photocor-Complex» и «DT-1202» позволила получить гистограммы распределения по размерам коллоидных частиц диоксида кремния в стандартном образце. Впервые установлено, что оптимальными параметрами для измерения размера коллоидных частиц SiO_2 методом фотонно-корреляционной спектроскопии являются концентрация вещества менее 1%, угол положения фотодетектора 90° и количество измерений в цикле 50–100, а акустической спектроскопии – концентрация 1%.

Ключевые слова: *фотонно-корреляционная спектроскопия динамического рассеяния света, акустическая спектроскопия, коллоидные частицы.*

1. Введение

В условиях стремительного развития науки и техники большой практический интерес представляют физико-химические методы анализа, позволяющие проводить измерение размеров молекул и малых частиц. Анализ размеров малых частиц имеет важное значение для многих отраслей современной промышленности – медицины и фармацевтики, пищевой промышленности и космической индустрии [1-7].

Контроль размеров малых частиц в золях, суспензиях, эмульсиях, сухих порошкообразных материалах осуществляется во многих технологических операциях. Для коллоидных растворов при подготовке и во время проведения измерений часто возникает проблема нежелательной коагуляции коллоидных частиц под действием внешних факторов или за счет особенностей взаимодействия между молекулами дисперсионной среды и дисперсной фазы. Агрегация приводит к укрупнению частиц и возникает необходимость исследования полидисперсности образца. Поэтому одной из важнейших характеристик дисперсных систем является характерный линейный размер микро- и наночастиц [8]. Особенно это актуально для сложных по составу, или поликомпонентных систем.

В мировой практике для измерения линейного размера частиц используют различные методы: центробежное осаждение частиц (от

0,5–1 нм до 5–6 мкм), электронная (от 2 нм до 1 мкм) и атомно-силовая (от 0,1 нм до 1 мкм) микроскопия и другие методы [9-11].

Международный стандарт ISO/CD 22412 [12] и ГОСТ Р 8.774 [13], в качестве первичного метода измерения линейного размера частиц в жидких средах (в диапазоне размеров частиц от 1 нм до 6 мкм), предписывают использовать метод динамического рассеяния лазерного излучения.

Цель представленной работы – провести оптимизацию методик определения размеров коллоидных частиц стандартного образца диоксида кремния методом фотонно-корреляционной спектроскопии динамического рассеяния света и методом акустической спектроскопии, провести сравнение полученных результатов.

2. Экспериментальная часть и обсуждение результатов

Для проведения эксперимента использовали стандартный образец наноразмерного диоксида кремния «LUDOX®TM-50 colloidal silica» (Aldrich), который представляет собой водную дисперсию частиц кремнезема, содержащую 50% масс. SiO_2 (при $\text{pH} = 9,0$ площадь поверхности $\approx 140 \text{ м}^2/\text{г}$, плотность $1,4 \text{ г}/\text{см}^3$). В стандартном образце LUDOX TM-50, согласно паспортным данным, присутствует только одна фракция частиц SiO_2 со средним гидродинамическим радиусом 15 нм.

Средний гидродинамический радиус частиц диоксида кремния определяли методом ФКС. Метод основан на измерении флуктуаций интенсивности рассеянного света, вызванных броуновским движением исследуемых частиц. С его помощью определяют средний гидродинамический радиус частиц и их ζ -потенциал [14, 15]. Все исследования проводились на спектрометре динамического и статического рассеяния света «Photocor-Complex» (производство ООО «Антек-97», Россия) [16], который предназначен для измерения в широком диапазоне углов рассеяния среднего гидродинамического радиуса коллоидных частиц, максимальный размер которых не превышает несколько микрон.

Данные, полученные методом ФКС, сравнивали с результатами, полученными методом АС. Метод АС основан на измерении степени ослабления ультразвукового сигнала и также используется для определения размеров частиц и их ζ -потенциала [17]. Несомненным преимуществом метода АС, перед методами светорассеяния и дифракционными методами, является возможность исследования непрозрачных и концентрированных (без предварительного разбавления) сред [18]. Образцы SiO_2 исследовали на спектрометре DT-1202 (производитель «Dispersion Technology» Inc., USA).

Метод ФКС позволяет определять размеры частиц, взвешенных в жидкости. Взвешенные в жидкости наночастицы в результате взаимодействия с молекулами дисперсионной среды находятся в постоянном броуновском движении. При высоких концентрациях золя наблюдается многократное рассеяние излучения от поверхности частиц и взаимодействие частиц между собой, что способствует снижению точности проводимых измерений. Одним из способов подавления многократного рассеяния и уменьшения взаимодействия частиц между собой является снижение концентрации исходного золя. Поэтому оптимизацию методики проведения измерений среднего гидродинамического радиуса частиц диоксида кремния начинают с подбора оптимальной концентрации образцов. Для этого методом серийных разбавлений были приготовлены образцы коллоидного SiO_2 , в которых концентрация наноразмерного диоксида кремния изменялась от 25 до 0,1 % масс.

Гистограммы распределения по размерам образцов диоксида кремния с концентрацией SiO_2 от 0,1 до 25 % масс., полученные методом ФКС, имели идентичный характер, на рис. 1 представлена одна из полученных гистограмм.

Рис. 1. Гистограмма распределения гидродинамического радиуса частиц SiO_2 в стандартном образце диоксида кремния.

Установлено, что во всех образцах диоксида кремния с концентрацией SiO_2 от 25 до 1% масс. распределение гидродинамических радиусов частиц носит монодисперсный унимодальный характер.

Зависимость изменения среднего гидродинамического радиуса частиц в коллоидных растворах от концентрации диоксида кремния, представлена на рис. 2.

Анализ зависимости, представленной на рис. 2, показал, что образцы, содержащие 0,1÷1% масс. частиц диоксида кремния, имеют размер наиболее близкий к размеру частиц, заявленному в паспорте стандартного образца LUDOX TM-50. С ростом концентрации частиц диоксида кремния в коллоидном растворе происходит увеличение отклонения измеренного среднего гидродинамического радиуса от истинных размеров. Все дальнейшие исследования проводились на коллоидных растворах с концентрацией 1% масс. диоксида кремния, так как эта концентрация частиц позволяла получать рассеяние достаточной интенсивности.

Рис. 2. Зависимость среднего гидродинамического радиуса частиц диоксида кремния от концентрации золя диоксида кремния.

На точность результатов измерения среднего гидродинамического радиуса частиц методом ФКС оказывают влияние следующие факторы – положение детектора и количество измерений в цикле. Зависимости среднего гидродинамического радиуса частиц от угла положения фотодетектора и количества проведенных измерений в цикле проведены на основе обработки гистограмм распределения частиц диоксида кремния и представлены на рис. 3 и 4.

Как видно из рис. 3, угол положения фотодетектора влияет на точность измерения среднего гидродинамического радиуса частиц диоксида кремния. Характер зависимости не линейный, на графике можно выделить два участка: первый участок ($r = f(\theta)$ – угол положения фотодетектора от 30° до 70°), в данном диапазоне происходит резкое изменение результатов измерения среднего гидродинамического радиуса в зависимости от положения детектора; второй участок ($r = \text{const}$ – угол положения фотодетектора от 70° до 150°), в этом диапазоне результат

измерения среднего гидродинамического радиуса постоянен и не зависит от угла положения фотодетектора.

Рис. 3. Зависимость среднего гидродинамического радиуса частиц диоксида кремния от угла положения фотодетектора спектрометра «Photocor-Complex».

Согласно теории рассеяния Релея, на частицах, размеры которых намного меньше длины волны падающего света ($d \ll \lambda$), индикатриса рассеяния имеет форму, отличную от сферы – максимум интенсивности приходится на угол 0° (вперед) и на 180° (назад), минимум на угол 90° относительно первоначального направления распространения волны [19, 20]. При размерах частиц от $0,1\lambda - 1,0\lambda$ (теория рассеяния МИ) преобладает рассеяние вперед по направлению распространения первичного излучения, и чем больше отношение диаметра частицы к λ , тем больше энергии рассеивается вперед по направлению распространению волны. То есть при больших углах рассеяния (от 90° до 180°) способность прибора различать частицы по размерам выше, чем при малых углах. Для повышения точности получаемых результатов необходимо выбирать угол положения фотодетектора от 90° до 150° , в зависимости от размера частиц в коллоидном растворе.

Точность измерения среднего гидродинамического радиуса частиц зависит от количества проведенных измерений. Как видно из рис. 4, зависимость имеет не линейный характер. В диапазоне от 10 до 100 измерений в цикле разница между измеренными значениями среднего гидродинамического радиуса частиц одного и того же образца составляет 50%. При количестве измерений в цикле от 100 и выше разница между измеренными значениями незначительна. Поэтому оптимальным количеством измерений в цикле будет 100–150 измерений.

На основе проведенных исследований среднего гидродинамического радиуса частиц диоксида кремния методом фотонно-корреляционной

спектроскопии были выбраны следующие оптимальные условия: концентрация коллоидного раствора диоксида кремния – 1% масс.; угол положения фотодетектора – от 90° до 150° , по мере увеличения размера частиц; количество измерений в цикле – $100 \div 150$.

Рис. 4. Зависимость среднего гидродинамического радиуса частиц диоксида кремния от количества измерений в цикле.

Образцы диоксида кремния с концентрацией SiO_2 от 25 до 0,1% масс. были исследованы методом акустической спектроскопии. В результате получены спектры затухания, представленные на рис. 5, а рассчитанные из них гистограммы распределения по размерам частиц SiO_2 представлены на рис. 6. Все спектры и гистограммы, полученные в программном обеспечении спектрометра DT 1202, приводятся в оригинальной форме с сохранением подписей и размерностей.

Анализ гистограмм показал, что распределение частиц дисперсной фазы SiO_2 по размерам во всех образцах носит нормальный характер, в зависимости от концентрации SiO_2 изменяется положение, интенсивность и полуширина пика. При высоких концентрациях дисперсной фазы (5–25%) в образце на гистограммах отображается более широкое распределение частиц по размерам, при уменьшении концентрации дисперсной фазы (0,1–1%) наблюдается более узкое распределение по размерам и увеличение доли основной фракции. Размер частиц в образце, содержащем 1 % масс. SiO_2 , совпадает с размером, заявленным в паспорте стандартного образца LUDOX TM-50. При увеличении концентрации дисперсной фазы в образцах отклонение измеренного диаметра частиц SiO_2 методом АС от заявленного в паспорте увеличивается до 30%. То есть наиболее оптимальной концентрацией для измерения образцов диоксида кремния методом АС является концентрация 1% масс.

Рис. 5. Спектры затухания УЗ-излучения в растворах стандартного образца диоксида кремния.

Рис. 6. Гистограммы распределения частиц в растворах стандартного образца диоксида кремния.

Метод ФКС для серии образцов с концентрациями от 0,1 до 25 % масс. SiO_2 дает отклонение измеренного от заявленного размера частиц от 40% и более. Метод акустической спектроскопии позволяет проводить определение размера частиц более точно, как в разбавленных, так и в концентрированных коллоидных растворах.

3. Заключение

В результате проведенной работы были оптимизированы методики определения размеров частиц SiO_2 в коллоидных растворах методами ФКС и АС. Установлено, что для измерения размера частиц в коллоидных растворах диоксида кремния методом ФКС оптимальными условиями

являются: угол положения фотодетектора – от 90° до 150°, по мере увеличения размера частиц; количество измерений в цикле – 100÷150, а также концентрация коллоидного раствора диоксида кремния – 1% масс. На измерение размера частиц диоксида кремния методом АС наибольшее влияние оказывает концентрация коллоидного раствора диоксида кремния, оптимальное значение которой составляет 1% масс. Метод АС позволяет определять размеры частиц более точно по сравнению с методом ФКС, как в разбавленных, так и в концентрированных коллоидных растворах.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации (проект СП-1191.2019.4).

Библиографический список:

1. **Марахова, А.И.** Фармация будущего: нанолекарства и методы их анализа (обзорная статья) / А.И. Марахова, В.Ю. Жилкина, О.А. Сацкевич, Я.М. Станишевский // Разработка и регистрация лекарственных средств. – 2015. – № 1 (10). – С. 72-78.
2. **Емшанова, С.В.** О контроле размера и формы частиц лекарственных веществ / С.В. Емшанова, Н.П. Садчикова, А.П. Зуев // Химико-фармацевтический журнал. – 2007. – Т. 41. – № 1. – С. 41-49.
3. **Храмцов, А.Г.** Изучение дисперсности растворов сухой молочной сыворотки, восстановленной методом кавитационной дезинтеграции / А.Г. Храмцов, А.А. Брачихин, К.В. Костенко, Е.Г. Лещенко // Индустрия питания. – 2018. – Т. 3. – № 3. – С. 4-8. DOI: 10.29141/2500-1922-2018-3-3-1.
4. **Храмцов, А.Г.** Технологический прорыв аграрно-пищевых инноваций молочного дела на примере универсального сельхозсырья. Мембранные технологии / А.Г. Храмцов // Аграрно-пищевые инновации. – 2020. – № 1 (9). – С. 7-17. DOI: 10.31208/2618-7353-2020-9-7-17.
5. **Barybina, L.I.** Multicomponent meat products for sports nutrition / L.I. Barybina, E.V. Beloysova, T.V. Voblikova, et al. // Journal of Hygienic Engineering and Design. – 2019. – V. 28. – P. 81-84.
6. **Nagdalian, A.A.** Ways to reduce the oxidative activity of raw meat after a treatment by pulsed discharge technology / A.A. Nagdalian, M.A. Selimov, M.V. Topchii, et al. // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2016. – V. 7. – I 3. – С. 1927-1932.
7. **Sharma, R.** Nanotechnology in space exploration: needs and applications / R. Sharma // Journal of Pure Applied and Industrial Physics. – 2012. – V. 2 – I. 3A. – P. 328-335.
8. **Shchukin, E.D.** Colloid and surface chemistry / E.D. Shchukin, A.V. Pertsov, E.A. Amelina, A.S. Zelenev // In: Studies in Interface Science. – V. 12. – Amsterdam – London – New York – Oxford – Paris – Shannon -Tokyo: Elsevier Science, 2001. – 774 p.
9. **Михалковский, И.С.** Определение размеров частиц дисперсной фазы наноструктурированных фосфолипидов в нативных маслах растительного происхождения / И.С. Михаловский, Н.П. Матвейко, Г.Б. Мельникова и др. // Проблемы физики, математики и техники. – 2019. – № 4(41). – С. 23-27.
10. **Ларичев, Т.А.** Атомно-силовая микроскопия в исследовании наноразмерных частиц / Т.А. Ларичев, Ф.В. Титов, К.А. Бодак и др. // Ползуновский Вестник. – 2010. – № 3. – С. 77-80.

11. **Pushkin, S.V.** AFM and CT study of zophoba smorio morphology and microstructure / S.V. Pushkin, A.A. Nagdalyan, I.V. Rzhepakovsky, et al. // *Entomology and Applied Science Letters*. – 2018. – Т. 5. – № 3. – Р. 35-40.
12. Гранулометрический анализ. Динамическое рассеяние света: ИСО 22412:2017. – Взамен ISO 22412:2008; опубликован 28.02.2017. – 46 с.
13. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Дисперсный состав жидких сред. Определение размеров частиц по динамическому рассеянию света: ГОСТ Р 8.774-2011; введен 01.01.2012. – М.: Стандартинформ, 2019. – 12 с.
14. **Марахова, А.** Определение размеров наночастиц в коллоидных растворах методом динамического рассеяния света / А. Марахова, В. Жилкина, Е. Блынская, К. Алексеев, Я. Станишевский // *Наноиндустрия*. – 2016. – № 1 (63). – С. 88-93. DOI: 10.22184/1993-8578.2016.63.1.88.93.
15. **Шадрин, Г.А.** Фотонная корреляционная спектроскопия с помощью цифрового видео / Г.А. Шадрин // *Вестник кибернетики*. – 2015. – № 4 (20). – С. 68-71.
16. Анализаторы размеров наночастиц, дзета-потенциала и молекулярной массы. – Режим доступа: [www.url: https://www.photocor.ru](http://www.url:https://www.photocor.ru). – 12.09.2020.
17. **Dukhin, A.S.** Characterization of liquids, nano- and microparticulates, and porous bodies using ultrasound / A.S. Dukhin, P.J. Goetz; – 2nd ed. In: *Studies in Interface Science*. – V. 24. Oxford, UK: Elsevier, 2010. – 518 p.
18. Акустические и электроакустические анализаторы DT-1202, DT-100, DT-300, DT-310, DT-330, DT-600, DT-700. – Режим доступа: <http://промкаталог.рф/PublicDocuments/1401113.pdf>. – 12.09.2020.
19. **Хвостиков, М.А.** Теория рассеяния света и ее применение к вопросам прозрачности атмосферы и туманов / М. А. Хвостиков // *Успехи физических наук*. – 1940. – Т. 24. Вып. 6. – С. 165-227. DOI: 10.3367/UFNr.0024.194006a.0165.
20. **MacFadyen, A.J.** Fibre-optic systems for dynamic light scattering – a review / A.J. MacFadyen, B.R. Jennings // *Optics & Laser Technology*. – 1990. – V. 22. – I. 3. – P. 175-187. DOI: 10.1016/0030-3992(90)90105-d.

References

1. **Marakhova, A.I.** Farmatsiya budushchego: nanolekarstva i metody ikh analiza (obzornaya stat'ya) [Pharmacy of future: nanodrugs and there analisis (review)] / A.I. Marakhova, V.Yu. Zilkina, O.A. Satskevich, Ya.M. Stanishevskiy // *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv*. – 2015. – № 1 (10). – P. 72-78. (In Russian).
2. **Emshanova, S.V.** Drug particle shape and size control: A necessary factor for high-quality drug production / S.V. Emshanova, N.P. Sadchikova, A.P. Zuev // *Pharmaceutical Chemistry Journal*. – 2007. – V. 41. – I. 1. – P. 40-49. DOI: 10.1007/s11094-007-0010-9.
3. **Khramtsov, A.G.** Izuchenie dispersnosti rastvorov sukhoi molochnoi syvorotki, vosstanovlennoi metodom kavitatsionnoi dezintegratsii [Research of Dry Milk Whey Dispersity Reconstructed by the Cavitation Disintegration Method] / A.G. Khramtsov, A.A. Bratsikhin, K.V. Kostenko, E.G. Leshchenko // *Food Industry*. – 2018. – V. 3. – № 3. – P. 4-8. DOI: 10.29141/2500-1922-2018-3-3-1. (In Russian).
4. **Khramtsov, A.G.** Tekhnologicheskii proryv agrarno-pishchevykh innovatsii molochnogo dela na primere universal'nogo sel'khozsyrya. Membrannye tekhnologii [Technological breakthrough of the agrarian-and-food innovations in dairy case for example of universal agricultural raw materials. Membrane technology] / A.G. Khramtsov // *Agrarno-pishchevykh innovatsii*. – 2020. – 9(1). – P. 7-17. DOI: 10.31208/2618-7353-2020-9-7-17. (In Russian).

5. **Barybina, L.I.** Multicomponent meat products for sports nutrition / L.I. Barybina, E.V. Belaysova, T.V. Voblikova, et al. // Journal of Hygienic Engineering and Design. – 2019. – V. 28. – P. 81-84.
6. **Nagdalian, A.A.** Ways to reduce the oxidative activity of raw meat after a treatment by pulsed discharge technology / A.A. Nagdalian, M.A. Selimov, M.V. Topchii, et al. // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2016. – V. 7. – I 3. – C. 1927-1932.
7. **Sharma, R.** Nanotechnology in space exploration: needs and applications / R. Sharma // Journal of Pure Applied and Industrial Physics. – 2012. – V. 2 – I. 3A. – P. 328-335.
8. **Shchukin, E.D.** Colloid and surface chemistry / E.D. Shchukin, A.V. Pertsov, E.A. Amelina, A.S. Zelenev // In: Studies in Interface Science. – V. 12. – Amsterdam – London – New York – Oxford – Paris – Shannon -Tokyo: Elsevier Science, 2001. – 774 p.
9. **Mikhailovsky, J.S.** Opredelenie razmerov chastits dispersnoi fazy nanostrukturirovannykh fosfolipidov v nativnykh maslakh rastitel'nogo proiskhozhdeniya [Particles sizes determination of the nanostructured phospholipides dispersed phase in plant origin native oils] / J.S. Mikhailovsky, N.P. Matveiko, G.B. Mel'nikova i dr. // Problemy fiziki, matematiki i tekhniki. – 2019. – №. 4(41). – P. 23-27. (In Russian).
10. **Larichev, T.A.** Atomno-silovaya mikroskopiya v issledovanii nanorazmernykh chastits [Atomic force microscopy in the study of nanosized particles] / T.A. Larichev, F.V. Titov, K.A. Bodak i dr. // Polzunovskii Vestnik. – 2010. – № 3. – P. 77-80. (In Russian).
11. **Pushkin, S.V.** AFM and CT study of zophoba smorio morphology and microstructure / S.V. Pushkin, A.A. Nagdalyan, I.V. Rzhepakovsky, et al. // Entomology and Applied Science Letters. – 2018. – T. 5. – № 3. – P. 35-40.
12. Particle size analysis – dynamic light scattering (DLS): ISO 22412:2017. – Vzamen ISO 22412:2008; opublikovan 28.02.2017. – 46 p. (In Russian).
13. State system for ensuring the uniformity of measurements. Disperse composition of liquid media. Determination of particle size by dynamic light scattering: GOST P 8.774-2011; vveden 01.01.2012. – M.: Standartinform, 2019. – 12 p. (In Russian).
14. **Marakhova, A.** Opredelenie razmerov nanochastits v kolloidnykh rastvorakh metodom dinamicheskogo rasseyaniya sveta [Determination of nanoparticle size in colloidal solutions by dynamic light scattering] / A. Marakhova, V. Zhilkina, E. Blynskaya, K. Alekseev, Ya. Stanishevskiy // Nanoindustriya. – 2016. – № 1 (63). – P. 88-93. DOI: 10.22184/1993-8578.2016.63.1.88.93. (In Russian).
15. **Shadrin, G.A.** Fotonnaya korrelyatsionnaya spektroskopiya s pomoshch'yu tsifrovogo video [Photon correlation spectroscopy using a digital video] / G.A. Shadrin // Vestnik kibernetiki. – 2015. – № 4 (20). – P. 68-71. (In Russian).
16. Analizatory razmerov nanochastits, dzeta-potentsiala i molekulyarnoi massy [Analyzers for nanoparticle size, zeta potential and molecular weight]. – Access mode: [www.url: http://www.photocor.ru](http://www.photocor.ru). – 12.09.2020. (In Russian).
17. **Dukhin, A.S.** Characterization of liquids, nano- and microparticulates, and porous bodies using ultrasound / A.S. Dukhin, P.J. Goetz; – 2nd ed. In: Studies in Interface Science. – V. 24. Oxford, UK: Elsevier, 2010. – 518 p.
18. Akusticheskie i ehlektroakusticheskie analizatory DT-1202, DT-100, DT-300, DT-310, DT-330, DT-600, DT-700 [Acoustic and electroacoustic analyzers DT-1202, DT-100, DT-300, DT-310, DT-330, DT-600, DT-700] – Access mode: <http://промкаталог.рф/PublicDocuments/1401113.pdf>. – 12.09.2020. (In Russian).
19. **Khvostikov, M.A.** Teoriya rasseyaniya sveta i ee primeneniye k voprosam prozrachnosti

atmosfery i tumanov [Light scattering theory and its application to the issues of transparency of the atmosphere and fog] / M.A. Khvostikov // Physics-Uspekhi. – 1940. – V. 24. – I. 6. – P. 165-227. (In Russian).

20. **MacFadyen, A.J.** Fibre-optic systems for dynamic light scattering – a review / A.J. MacFadyen, B.R. Jennings // Optics & Laser Technology. – 1990. – V. 22. – I. 3. – P. 175-187. DOI: 10.1016/0030-3992(90)90105-d.

Original paper

DETERMINATION OF OPTIMAL MODES FOR MEASURING THE SIZE OF COLLOIDAL PARTICLES BY PHOTON-CORRELATION SPECTROSCOPY AND ACOUSTIC SPECTROSCOPY

M.A. Yasnaya, A.V. Blinov, A.A. Blinova, I.M. Shevchenko, D.G. Maglakelidze, A.O. Senkova
North-Caucasian Federal University, Stavropol, Russia

DOI: 10.26456/pcascnn/2020.12.232

Abstract: This paper presents the results of measuring the size of colloidal SiO_2 particles by two methods – photon-correlation spectroscopy of dynamic light scattering and acoustic spectroscopy. Mathematical processing of experimental data using the software of the Photocor-Complex and DT-1202 spectrometers made it possible to obtain of the size distribution histograms for silicon dioxide colloidal particles in a standard sample. For the first time it has been established that the optimal parameters for measuring the size of colloidal SiO_2 particles by the photon-correlation spectroscopy are the substance concentration less than 1 %, the photodetector position angle of 90 degrees and the number of measurements in a cycle of 100–150, and for the acoustic spectroscopy – 1 % substance concentration.

Keywords: *photon correlation spectroscopy of dynamic light scattering, acoustic spectroscopy, colloidal particles.*

Ясная Мария Анатольевна – к.х.н., доцент кафедры электроники и нанотехнологий Инженерного института ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»

Блинов Андрей Владимирович – старший преподаватель кафедры электроники и нанотехнологий Инженерного института ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»

Блинова Анастасия Александровна – к.т.н., доцент кафедры электроники и нанотехнологий Инженерного института ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»

Шевченко Ирина Михайловна – к.т.н., доцент кафедры электроники и нанотехнологий Инженерного института ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»

Маглакелидзе Давид Гурамиевич – студент I курса кафедры электроники и нанотехнологий Инженерного института, ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»

Сенкова Анна Олеговна – студентка I курса кафедры электроники и нанотехнологий Инженерного института, ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»

Mariya A. Yasnaya – Ph. D., Assistant professor of the Department of Electronics and Nanotechnology of the Engineering Institute, North Caucasus Federal University

Andrey V. Blinov – Senior Lecturer of the Department of Electronics and Nanotechnology of the Engineering Institute, North Caucasus Federal University

Anastasiya A. Blinova – Ph. D., Assistant professor of the Department of Electronics and Nanotechnology of the Engineering Institute, North Caucasus Federal University

Irina M. Shevchenko – Ph. D., Assistant professor of the Department of Electronics and Nanotechnology of the Engineering Institute, North Caucasus Federal University

David G. Maglakelidze – student of the Department of Electronics and Nanotechnology of the Engineering Institute, North Caucasus Federal University

Anna O. Senkova – student of the Department of Electronics and Nanotechnology of the Engineering Institute, North Caucasus Federal University

Поступила в редакцию/received: 5.09.2020; после рецензирования/revised: 5.10.2020; принята/accepted 10.10.2020.