

## ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНУЛ ПО РАЗМЕРАМ НА МАГНИТООПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТОВ

А.Н. Юрасов<sup>1</sup>

М.М. Яшин<sup>1,2</sup>

И.В. Гладышев<sup>1</sup>

Е.А. Ганьшина<sup>3</sup>

Е.С. Каназакова<sup>3</sup>

Д.А. Сайфулина<sup>1</sup>

М.А. Симдянова<sup>1,3</sup>

alexey\_yurasov@mail.ru

yashin.m@bmstu.ru

i\_gladyshev@mirea.ru

eagan@mail.ru

kanazakova@mail.ru

sajfulina@mirea.ru

marina.simdyanova3103@mail.ru

<sup>1</sup> РТУ МИРЭА, Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

---

### Аннотация

Рассмотрено влияние размерных эффектов, а именно распределение гранул по размерам, на магнитооптические свойства нанокomпозитов. Полученные расчеты выполнены в рамках метода эффективной среды Бруггемана, который описывает свойства исследуемых наноструктур в области средних концентраций металлического компонента в неметаллической матрице. Исследованы спектральные зависимости магнитооптического экваториального эффекта Керра для нанокomпозитов  $(\text{CoFeZr})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$  при различных значениях объемной концентрации металлического компонента  $x$ . В процессе моделирования учитывалось усреднение тензора диэлектрической проницаемости металлического компонента по логнормальному распределению. Полученные результаты позволяют хорошо описывать экспериментальные данные. Решенная задача значима при исследовании магнитооптических, оптических и транспортных явлений в нанокomпозитах. Результаты могут быть применены в перспективных устройствах электроники, а также в бесконтактных методах исследования наноструктур

### Ключевые слова

*Приближение Бруггемана, ферромагнитный нанокomпозит, экваториальный эффект Керра, спектральная зависимость, эффективная среда, логнормальное распределение*

Поступила 07.12.2022

Принята 20.03.2023

© Автор(ы), 2023

---

**Введение.** В настоящее время значительный интерес представляют композиционные материалы, состоящие из наноразмерных магнитных частиц, которые помещены в диэлектрическую матрицу [1–3]. Эффекты,

позволяющие изучать структуру совершенно разных магнитных материалов, являются основой для поиска материалов с перспективными свойствами. Это открывает широкие возможности для применения таких материалов в электронике и особенно при решении современных задач наноэлектроники [4–7]. Следует отметить, что опубликовано достаточное число работ по размерным эффектам, при этом в них не было учтено влияния распределения гранул в нанокompозитах по размерам на магнитооптические спектры (см., например, [8]). *Цель работы* — решение этой проблемы.

**Расчетная часть.** В работе все результаты приведены для магнитных нанокompозитов  $(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$  на ситалловой подложке, где  $x$  — объемная концентрация металла. Образцы получались методом ионно-лучевого напыления в атмосфере аргона. Подробнее метод описан в [9]. Структурные исследования показали, что композит в плоскости подложки представляет собой металлические гранулы, случайно распределенные в диэлектрической матрице (см., например, [1, 3]). Для таких наноструктур измерялся магнитооптический эффект Керра в экваториальной геометрии (ЭЭК) при различной концентрации магнитной компоненты (см. [3]) в зависимости от энергии падающей электромагнитной волны.

Наиболее интересен случай средних концентраций  $x$  вблизи перколяционного перехода — здесь можно эффективно управлять свойствами нанокompозитов. Оптические и магнитооптические спектры можно описать в приближении эффективной среды Бруггемана [1, 8]. Этот метод заключается в том, что нанокompозит заменяется средой с эффективными свойствами. Следует отметить, что в ближней инфракрасной области спектра необходимо учитывать размерный эффект. Пусть  $r_0$  — размер металлической гранулы, тогда с учетом размерного эффекта в рамках приближения Бруггемана, описанного в [8], рассчитаны диагональные ( $\epsilon_{mod}$ ) и недиагональные ( $\gamma_{mod}$ ) компоненты тензора диэлектрической проницаемости (ТДП).

Интересная и важная задача — учет распределения гранул по размеру. Отметим, что часто (см., например, [9]), в нанокompозитах распределение частиц по размерам — логнормальное:

$$f(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma r} \exp\left(\frac{-(\ln r_0 - \bar{r})^2}{2\sigma^2}\right), \quad (1)$$

где  $\bar{r} = \ln r - (\sigma^2 / 2)$  — математическое ожидание, соответствующее среднему размеру гранул;  $\sigma$  — среднеквадратическое отклонение для воз-

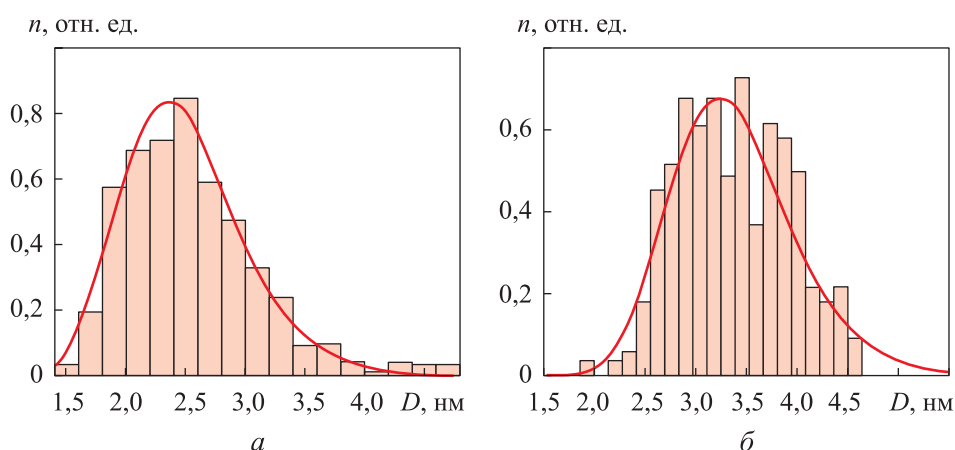
можного разброса значений размера гранул (рис. 1). Отметим, что функция (1) нормирована на 1.

Компоненты ТДП — комплексные числа:  $\varepsilon_{mod} = \varepsilon_1 - i\varepsilon_2$  — диагональные компоненты и  $\gamma_{mod} = \gamma_1 - i\gamma_2$  — недиагональные компоненты, а величина ЭЭК на  $\rho$ -компоненте равна (см., например, [8]):

$$\rho_{\omega} = (A\gamma_1 + B\gamma_2) \frac{2 \sin(2\varphi)}{A^2 + B^2}, \quad (2)$$

где  $\varphi$  — угол падения электромагнитной волны;  $A = \varepsilon_2(2\varepsilon_1 \cos^2 \varphi - 1)$ ;  $B = \cos^2 \varphi(\varepsilon_2^2 - \varepsilon_1^2 + 1) + \varepsilon_1 - 1$ . Суммируя в рамках приближения эффективной среды Бруггемана, находим компоненты ТДП эффективной среды с использованием данных по двум компонентам отдельно, в формулах для диэлектрической проницаемости ферромагнитных гранул учитываем размерные эффекты (см. [8]) и распределение частиц по размерам в рамках логнормального распределения. Полученные компоненты ТДП подставляем в (2) и находим спектры ЭЭК, которые сравниваем с экспериментальными.

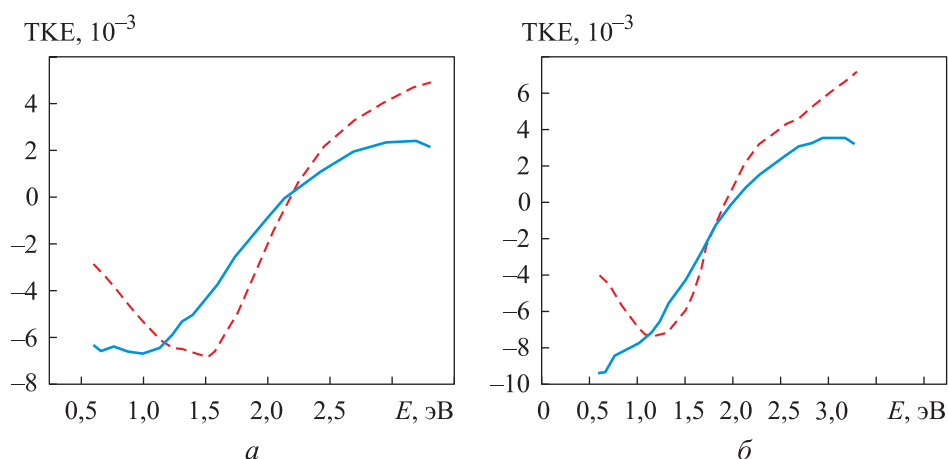
Зависимость функции распределения от размеров гранул приведена на рис. 1. Данные в столбчатой диаграмме получены в лаборатории кафедры магнетизма физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. В процессе компьютерного моделирования по (1) с учетом нормировки этой функции на 1 получены следующие оптимальные значения параметров  $\bar{r}$  и  $\sigma$  с учетом логнормального распределения частиц по разме-



**Рис. 1.** Расчет (—) и экспериментальное (■) распределение [8] гранул по размерам для отожженных образцов нанокomпозитов  $(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$  при  $\bar{r} = 2,49$  нм,  $\sigma = 0,2$ ,  $x = 0,1024$  (а) и  $\bar{r} = 3,4$  нм,  $\sigma = 0,18$ ,  $x = 0,1591$  (б)

рам для отожженных образцов:  $\bar{r} = 2,49$  нм,  $\sigma = 0,2$  при  $x = 0,1024$  (рис. 1, а) и  $\bar{r} = 3,4$  нм,  $\sigma = 0,18$  при  $x = 0,1591$  (рис. 1, б).

**Результаты и обсуждение.** С использованием изложенного выше подхода и оптимальных параметров  $\bar{r}$  и  $\sigma$  в рамках приближения Бруггемана [8] получены расчетные спектральные зависимости ЭЭК по (2). При исследовании ЭЭК исторически сложилось получать спектры в зависимости не от длины волны, а от энергии электромагнитного излучения. Все спектры ЭЭК рассчитывались для отожженных нанокompозитов на основе  $(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$  при различных значениях  $x$ . Полученные модельные спектральные зависимости параметра ЭЭК (ТКЕ) от энергии электромагнитной волны по сравнению с экспериментальными данными для композитов  $(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$  приведены на рис. 2. Экспериментальные данные по ЭЭК определены в лаборатории кафедры магнетизма физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Описание эксперимента дано, например, в [3, 8].



**Рис. 2.** Экспериментальные (---) [8] и теоретические (—) спектры ЭЭК отожженных образцов нанокompозитов  $(\text{Co}_{45}\text{Fe}_{45}\text{Zr}_{10})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$  при  $\bar{r} = 2,49$  нм,  $\sigma = 0,2$ ,  $x = 0,1024$  (а) и  $\bar{r} = 3,4$  нм,  $\sigma = 0,18$ ,  $x = 0,1591$  (б)

Показано, что в процессе нахождения спектральных зависимостей ЭЭК с использованием приближения Бруггемана и усреднения ТДП в рамках логнормального распределения частиц по размерам можно достаточно хорошо объяснять экспериментальные данные по нанокompозитам.

Различия полученных спектральных зависимостей ЭЭК обусловлено тем, что используемый метод эффективной среды Бруггемана не учитывает вероятность появления областей с большой и малой концентрациями

металлического (ферромагнитной) компонента в нанокompозите. Это безусловно изменит компоненты ТДП. Вероятностный подход и возможность описания порога перколяции можно учесть в рамках метода эффективной среды — симметризованного приближения Максвелла — Гарнетта, что планируется сделать в последующих работах.

Отметим, что рассмотренный подход общий и применим для любого распределения частиц в наноструктурах.

**Заключение.** Основной результат работы — формулирование общего подхода к описанию влияния распределения частиц по размерам на примере логнормального распределения на магнитооптические свойства ферромагнитных нанокompозитов. Полученные результаты позволили улучшить описание экспериментальных спектров. В процессе моделирования можно определить такую важную характеристику исследуемых структур, как средний размер гранул  $\bar{r}$ .

Решенная задача важна и актуальна при исследовании различных перспективных магнитооптических, оптических и транспортных явлений в наноструктурах с возможностью их применения в нанoeлектронике. Учет размерных эффектов помогает в поиске перспективных функциональных материалов с уникальными свойствами и возможностью их использования в различных сферах человеческой деятельности [10–16].

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Rathore A.K., Pati S.P., Ghosh M., et al. Effect of ZnO coating on two different sized  $\alpha$ -Fe nanoparticles: synthesis and detailed investigation of their structural, optical, hyperfine and magnetic characteristics. *J. Mater. Sci.: Mater. Electron.*, 2017, vol. 28, no. 9, pp. 6950–6958. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10854-017-6395-7>
- [2] Chigirev D.A., Sokolova I.M., Bol'shakov M.N., et al. Heat resistance and electro-physical characteristics of polyheteroarylenes and ferroelectric–polymer film composites based on them. *Russ. J. Appl. Chem.*, 2020, vol. 93, no. 2, pp. 188–196. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1070427220020056>
- [3] Ганьшина Е.А., Вашук М.В., Виноградов А.Н. и др. Эволюция оптических и магнитооптических свойств нанокompозитов аморфный метал-диэлектрик. *ЖЭТФ*, 2004, т. 125, № 5, с. 1172–1182.
- [4] Medyantseva E.P., Brusnitsyn D.V., Gazizullina E.R., et al. Hybrid nanocomposites as electrode modifiers in amperometric immunosensors for the determination of amitriptyline. *J. Anal. Chem.*, 2020, vol. 75, no. 4, pp. 536–543. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1061934820040103>
- [5] Xu G.-R., Shi J.-J., Dong W.-H., et al. One-pot synthesis of a Ni–Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanocomposite for supercapacitors. *J. Alloys Compd.*, 2015, vol. 630, pp. 266–271. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2015.01.067>

- [6] Tao R., Zhang F., Nguyen H.G., et al. Temperature-insensitive silicone composites as ballistic witness materials: the impact of water content on the thermophysical properties. *J. Mater. Sci.*, 2021, vol. 56, no. 29, pp. 16362–16375.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10853-021-06334-x>
- [7] Li C., Wang Z.-Y., He Z.-J., et al. An advance review of solid-state battery: challenges, progress and prospects. *SM&T*, 2021, vol. 29, art. e00297.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2021.e00297>
- [8] Юрасов А.Н., Яшин М.М., Гладышев И.В. и др. Влияние размерных эффектов и распределения гранул по размерам на оптические и магнитооптические свойства нанокompозитов. *Российский технологический журнал*, 2021, т. 9, № 3, с. 49–57. DOI: <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2021-9-3-49-57>
- [9] Domashevskaya E.P., Ivkov S.A., Sitnikov A.V., et al. Influence of the relative content of the metal component in the dielectric matrix on the formation and size of cobalt nanocrystals in  $\text{Co}_x(\text{MgF}_2)_{100-x}$  film composites. *Phys. Solid State*, 2019, vol. 61, no. 2, pp. 71–79. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1063783419020112>
- [10] Kakhramanov N.T., Allahverdiyeva Kh.V., Mustafayeva F.A., et al. Theoretical aspects of the injection molding process of multicomponent nanocomposites based on polyolefins. *Известия высших учебных заведений. Сер. «Химия и химическая технология»*, 2022, т. 65, № 1, с. 83–91.  
DOI: <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20226501.6451>
- [11] Lima E., Tanaka T., Toyoda I. A novel low phase noise push-push oscillator employing dual-feedback sub-oscillators. *PIERM*, 2018, vol. 75, pp. 141–148.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.2528/PIERM18080701>
- [12] Zhigalov V.S., Bykova L.E., Myagkov V.G., et al. CoPt– $\text{Al}_2\text{O}_3$  nanocomposite films: synthesis, structure, and magnetic properties. *J. Surf. Investig.*, 2020, vol. 14, no. 1, pp. 47–53. DOI: <https://doi.org/10.1134/S102745102001022X>
- [13] Медведева Н.В., Ипатова О.М., Иванов Ю.Д. и др. Нанобиотехнология и наномедицина. *Биомедицинская химия*, 2006, т. 52, № 6, с. 529–546.
- [14] Davydov S.Yu., Kryukov A.Yu., Izvol'skii I.M., et al. Preparation of carbon nanomaterials through  $\text{CH}_4$  pyrolysis on (Co + Mo)/MgO catalysts with different metal contents. *Inorg. Mater.*, 2013, vol. 49, no. 3, pp. 252–256.  
DOI: <https://doi.org/10.1134/S0020168513020064>
- [15] Козлов Г.В., Долбин И.В. Сравнение эффективности углеродных нанотрубок и графена как армирующей компоненты нанокompозитов. *Вестник машиностроения*, 2020, № 1, с. 73–75.
- [16] Yashin M.M., Yurasov A.N., Ganshina E.A., et al. Simulation of the spectra of the transverse Kerr effect of magnetic nanocomposites  $\text{CoFeZr-Al}_2\text{O}_3$ . *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences*, 2019, no. 5 (86), pp. 63–72. DOI: <http://dx.doi.org/10.18698/1812-3368-2019-5-63-72>

**Юрасов Алексей Николаевич** — д-р физ.-мат. наук, доцент, профессор кафедры нанoeлектроники РТУ МИРЭА (Российская Федерация, 119454, Москва, пр-т Вернадского, д. 78).

**Яшин Максим Михайлович** — канд. физ.-мат. наук, старший преподаватель кафедры наноэлектроники РТУ МИРЭА (Российская Федерация, 119454, Москва, пр-т Вернадского, д. 78); ассистент кафедры «Физика» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

**Гладышев Игорь Васильевич** — канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры наноэлектроники РТУ МИРЭА (Российская Федерация, 119454, Москва, пр-т Вернадского, д. 78).

**Ганьшина Елена Александровна** — д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры магнетизма физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (Российская Федерация, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 2).

**Каназакова Екатерина Сергеевна** — студентка магистратуры кафедры магнетизма физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (Российская Федерация, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 2).

**Сайфулина Диана Алексеевна** — студентка магистратуры кафедры наноэлектроники РТУ МИРЭА (Российская Федерация, 119454, Москва, пр-т Вернадского, д. 78).

**Симдянова Марина Александровна** — инженер кафедры наноэлектроники РТУ МИРЭА (Российская Федерация, 119454, Москва, пр-т Вернадского, д. 78); студентка магистратуры кафедры магнетизма физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (Российская Федерация, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 2).

**Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:**

Юрасов А.Н., Яшин М.М., Гладышев И.В. и др. Влияние распределения гранул по размерам на магнитооптические свойства нанокompозитов. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2023, № 5 (110), с. 63–72.

DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2023-5-63-72>

**GRANULE SIZE DISTRIBUTION INFLUENCE  
ON THE NANOCOMPOSITE MAGNETO-OPTICAL PROPERTIES**

A.N. Yurasov<sup>1</sup>

M.M. Yashin<sup>1,2</sup>

I.V. Gladyshev<sup>1</sup>

E.A. Ganshina<sup>3</sup>

E.S. Kanazakova<sup>3</sup>

D.A. Saifulina<sup>1</sup>

M.A. Simdyanova<sup>1,3</sup>

[alexey\\_yurasov@mail.ru](mailto:alexey_yurasov@mail.ru)

[yashin.m@bmstu.ru](mailto:yashin.m@bmstu.ru)

[i\\_gladyshev@mirea.ru](mailto:i_gladyshev@mirea.ru)

[eagan@mail.ru](mailto:eagan@mail.ru)

[kanazakova@mail.ru](mailto:kanazakova@mail.ru)

[sajfulina@mirea.ru](mailto:sajfulina@mirea.ru)

[marina.simdyanova3103@mail.ru](mailto:marina.simdyanova3103@mail.ru)

<sup>1</sup> RTU MIREA, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

**Abstract**

The paper considers the size effects influence, i.e., the granule size distribution, on the nanocomposite magneto-optical properties. Calculations were obtained within the framework of the Bruggeman effective medium approximation, which described the studied nanostructures properties within average concentrations of the metal component in the non-metal matrix. Spectral dependences of the Kerr magneto-optical equatorial effect for the nanocomposites  $(\text{CoFeZr})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$  were studied at different values of the  $x$  metal component volumetric concentration. During simulation, tensor averaging in the metal component dielectric permeability with the lognormal distribution was taken into account. The results obtained ensure perfect description of the experimental data. The solved problem is significant in studying magneto-optical, optical and transport phenomena in the nanocomposites. Results could be introduced in the promising electronic devices, as well as in the non-contact methods for studying nanostructures

**Keywords**

*Bruggeman approximation, ferromagnetic nanocomposite, equatorial Kerr effect, spectral dependence, effective medium, lognormal distribution*

Received 07.12.2022

Accepted 20.03.2023

© Author(s), 2023

**REFERENCES**

- [1] Rathore A.K., Pati S.P., Ghosh M., et al. Effect of ZnO coating on two different sized  $\alpha$ -Fe nanoparticles: synthesis and detailed investigation of their structural, optical, hyperfine and magnetic characteristics. *J. Mater. Sci.: Mater. Electron.*, 2017, vol. 28, no. 9, pp. 6950–6958. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10854-017-6395-7>
- [2] Chigirev D.A., Sokolova I.M., Bol'shakov M.N., et al. Heat resistance and electro-physical characteristics of polyheteroarylenes and ferroelectric-polymer film composites based on them. *Russ. J. Appl. Chem.*, 2020, vol. 93, no. 2, pp. 188–196. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1070427220020056>
- [3] Gan'shina E.A., Vashuk M.V., Vinogradov A.N., et al. Evolution of the optical and magneto-optical properties of amorphous metal-insulator nanocomposites. *J. Exp. Theor. Phys.*, 2004, vol. 98, no. 5, pp. 1027–1036. DOI: <https://doi.org/10.1134/1.1767571>
- [4] Medyantseva E.P., Brusnitsyn D.V., Gazizullina E.R., et al. Hybrid nanocomposites as electrode modifiers in amperometric immunosensors for the determination of amitriptyline. *J. Anal. Chem.*, 2020, vol. 75, no. 4, pp. 536–543. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1061934820040103>
- [5] Xu G.-R., Shi J.-J., Dong W.-H., et al. One-pot synthesis of a Ni-Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanocomposite for supercapacitors. *J. Alloys Compd.*, 2015, vol. 630, pp. 266–271. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2015.01.067>



- [6] Tao R., Zhang F., Nguyen H.G., et al. Temperature-insensitive silicone composites as ballistic witness materials: the impact of water content on the thermophysical properties. *J. Mater. Sci.*, 2021, vol. 56, no. 29, pp. 16362–16375.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10853-021-06334-x>
- [7] Li C., Wang Z.-Y., He Z.-J., et al. An advance review of solid-state battery: challenges, progress and prospects. *SM&T*, 2021, vol. 29, art. e00297.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2021.e00297>
- [8] Yurasov A.N., Yashin M.M., Gladyshev I.V., et al. Influence of size effects and granule distribution by size on optical and magneto-optical properties of nanocomposites. *Russian Technological Journal*, 2021, vol. 9, no. 3, pp. 49–57 (in Russ.).  
DOI: <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2021-9-3-49-57>
- [9] Domashevskaya E.P., Ivkov S.A., Sitnikov AV. Influence of the relative content of the metal component in the dielectric matrix on the formation and size of cobalt nanocrystals in  $\text{Co}_x(\text{MgF}_2)_{100-x}$  film composites. *Phys. Solid State*, 2019, vol. 61, no. 2, pp. 71–79. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1063783419020112>
- [10] Kakhramanov N.T., Allahverdiyeva Kh.V., Mustafayeva F.A., et al. Theoretical aspects of the injection molding process of multicomponent nanocomposites based on polyolefins. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Ser. "Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya"* [CHEMTECH], 2022, vol. 65, no. 1, pp. 83–91 (in Russ.).  
DOI: <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20226501.6451>
- [11] Lima E., Tanaka T., Toyoda I. A novel low phase noise push-push oscillator employing dual-feedback sub-oscillators. *PIERM*, 2018, vol. 75, pp. 141–148.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.2528/PIERM18080701>
- [12] Zhigalov V.S., Bykova L.E., Myagkov V.G., et al. CoPt–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocomposite films: synthesis, structure, and magnetic properties. *J. Surf. Investig.*, 2020, vol. 14, no. 1, pp. 47–53. DOI: <https://doi.org/10.1134/S102745102001022X>
- [13] Medvedeva N.V., Ipatova O.M., Ivanov Yu.D., et al. Nanobiotechnology and nanomedicine. *Biochem. M. Suppl. Ser. B*, 2007, vol. 1, no. 2, pp. 114–124.  
DOI: <https://doi.org/10.1134/S1990750807020023>
- [14] Davydov S.Yu., Kryukov A.Yu., Izvol'skii I.M., et al. Preparation of carbon nanomaterials through CH<sub>4</sub> pyrolysis on (Co + Mo)/MgO catalysts with different metal contents. *Inorg. Mater.*, 2013, vol. 49, no. 3, pp. 252–256.  
DOI: <https://doi.org/10.1134/S0020168513020064>
- [15] Kozlov G.V., Dolbin I.V. Comparing efficiency of carbon nanotubes and graphene as an arming component for nanocomposites. *Vestnik mashinostroeniya*, 2020, no. 1, pp. 73–75 (in Russ.).
- [16] Yashin M.M., Yurasov A.N., Ganshina E.A., et al. Simulation of the spectra of the transverse Kerr effect of magnetic nanocomposites CoFeZr–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences*, no. 5 (86), pp. 63–72.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.18698/1812-3368-2019-5-63-72>

**Yurasov A.N.** — Dr. Sc. (Phys.-Math.), Assist. Professor, Professor, Department of Nanoelectronics, RTU MIREA (Vernadskogo prospekt 78, Moscow, 119454 Russian Federation).

**Yashin M.M.** — Cand. Sc. (Phys.-Math.), Senior Lecturer, Department of Nanoelectronics, RTU MIREA (Vernadskogo prospekt 78, Moscow, 119454 Russian Federation); Assistant Lecturer, Department of Physics, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

**Gladyshev I.V.** — Cand. Sc. (Phys.-Math.), Assoc. Professor, Department of Nanoelectronics, RTU MIREA (Vernadskogo prospekt 78, Moscow, 119454 Russian Federation).

**Ganshina E.A.** — Dr. Sc. (Phys.-Math.), Professor, Department of Magnetism, Physical Faculty, Lomonosov Moscow State University (Leninskiye gory 1, str. 2, Moscow, 119991 Russian Federation).

**Kanazakova E.S.** — Master's Degree Student, Department of Magnetism, Physical Faculty, Lomonosov Moscow State University (Leninskiye gory 1, str. 2, Moscow, 119991 Russian Federation).

**Saifulina D.A.** — Master's Degree Student, Department of Nanoelectronics, RTU MIREA (Vernadskogo prospekt 78, Moscow, 119454 Russian Federation).

**Simdyanova M.A.** — Engineer, Department of Nanoelectronics, RTU MIREA (Vernadskogo prospekt 78, Moscow, 119454 Russian Federation); Master's Degree Student, Department of Magnetism, Lomonosov Moscow State University (Leninskiye gory 1, str. 2, Moscow, 119991 Russian Federation).

**Please cite this article in English as:**

Yurasov A.N., Yashin M.M., Gladyshev I.V., et al. Granule size distribution influence on the nanocomposite magneto-optical properties. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences*, 2023, no. 5 (110), pp. 63–72 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2023-5-63-72>