

Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-15-0453****Nanočastice v anizotropných systémoch**Zodpovedný riešiteľ **doc. RNDr. Peter Kopčanský, CSc.**Príjemca **Ústav experimentálnej fyziky SAV**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Ústav experimentálnej fyziky, Slovenská akadémia vied

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

nerelevantné

Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

1. Method of electrical conductivity increasing of 6CB liquid crystal with embedded nanoparticles of Ag₇GeS₅I superionic conductor: Patent of Ukraine № 141049, MPK (2006) C09K 19/58 (2006.01), H01M 6/18 (2006.01), B82Y 30/00 / I.P. Studenyak, O.V. Kovalchuk, V.I. Studenyak, A.I. Pogodin, I.V. Oleynikova, P. Kopčanský, M. Timko. – № u201907308; Publ. 25.03.2020, Bull. №6. – 2 p. (in Ukrainian)
2. Method of electrical conductivity increasing in 6CB liquid crystal by introducing of Cu₇PS₆ superionic conductor nanoparticles: patent of Ukraine № 124745, MPK C09K 19/58 (2006.01), H01M 6/18 (2006.01) / I.P. Studenyak, O.V. Kovalchuk, V.Yu. Izai, M.O. Vizenko, P. Kopčanský, M. Timko. – № u201709785; Publ. 25.04.2018, Bull. №8. – 2 p. (in Ukrainian)
3. Method of composite obtaining based on nematic 6CHBT liquid crystal: patent of Ukraine №116679, MPK G02F 1/13 (2006.01) / I.P. Studenyak, O.V. Kovalchuk, A.V. Bendak, V.I. Studenyak, P. Kopčanský, M. Timko. – № a201603329; 25.04.2018, Bull. №8. – 2 p. (in Ukrainian)
4. Method of composite obtaining based on nematic 6CB liquid crystal: patent of Ukraine №115898, МПК G02F 1/13 (2006.01) / I.P. Studenyak, O.V. Kovalchuk, A.V. Bendak, Yu.O. Pal, P. Kopčanský, M. Timko. – № a201509704; Publ. 10.01.2018, Bull. №1. – 2 p. (in Ukrainian)

Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

Nanoparticles in homogeneous micro and nanostructures of liquid crystals: morphology and dielectric properties

P. Kopčanský, M. Timko, I. Studenyak, O. Kovalchuk, Гарнітура Times New Roman.

Ужгород: Вид-во УжНУ «Говерла»,

Košice, 2020. – 200 p, published by publishing house EQUILIBRIA Kosice 2020. ISBN 978-80-8143-275-0

1. V. Gdovinová, M. A. Schroer, N. Tomašovičová, I. Appel, S. Behrens, J. Majorošová, J.

- Kováč, D. I. Svergun, P. Kopčanský, Structuralization of magnetic nanoparticles in 5CB liquid crystals, *Soft Matter*, 13 (2017) 7890, DOI: 10.1039/c7sm01234a.
2. N.Tomašovicová, J. Kováč, V. Gdovinová, N. Éber, T. Toth-Katona, J. Jadzyn, P. Kopčanský, Alternating current magnetic susceptibility of a ferronematic, *Beilstein Journal of Nanotechnology* 8 (2017) 2515-2520 DOI: 10.3762/bjnano.8.251
3. A. Mahmood, V. Kavungal, S.A. Sudad, P. Kopcansky, V. Zavisova, G. Farrell, Y. Semenova: Magnetic field sensing using whispering – gallery modes in a cylindrical microresonator infiltrated with ferronematic liquid crystal, *Optics Express* 25 (11) (2017) 12195-12202
4. Tóth-Katona, T; Gdovinová, V; Tomašovičová, N; Éber, N; Fodor-Csorba, K; Juríková, A; Závišová, V; Timko, M; Chaud, X; Kopčanský, P; Tuning the phase transition temperature of ferronematics with a magnetic field, *Soft Matter* 14 (2018) 1647-1658, DOI: 10.1039/c7sm02383a
5. Kopcansky, P; Gdovinová, V; Burylov, S; Burylova, N; Voroshilov A; Majorošová, J; Agresti, F; Zin, V; Barison, S; Jadzyn, J; Tomašovicová, N; The influence of goethite nanorods on structural transitions in liquid crystal 6CHBT, *J. Magn. Magn. Mater.* 459 (2018) 26-32, DOI: 10.1016/j.jmmm.2017.12.086
6. Tomašovičová, N; Burylov, S; Gdovinová, V; Tarasov, A; Kováč, J; Burylova, N; Voroshilov, A; Kopčanský, P; Jadzyn, J; Magnetic Freedericksz transition in a ferronematic liquid crystal doped with spindle magnetic particles, *J. Molecular Liquids* 267 (2018) 390-397, DOI: 10.1016/j.molliq.2017.10.106
7. V. Gdovinova, N. Tomasovicova, S-C Jeng, K. Zakutanska, P. Kula, P. Kopcansky, Memory effect in nematic phase of liquid crystal doped with magnetic and non-magnetic nanoparticles. *Journal of Molecular Liquids*, 2019, 282, p. 286-291.
8. K. Zakutanska, V. Lackova, N. Tomasovicova, S. Burylov, N. Burylova, V. Skosar, A. Jurikova, M. Vojtko, J. Jadzyn, P. Kopcansky, Nanoparticle's size, surfactant and concentration effects on stability and isotropic-nematic transition in ferronematic liquid crystal. *J. Molecular Liquids*, 2019, 289, art. no. 111125.
9. K. Zakutanska, N. Tomasovicova, N. Eber, T. Toth-Katona, J. Kovac, V. Lackova, J. Jadzyn, P. Kopcansky, Alternating current magnetic susceptibility of ferronematics: The case of high concentration of magnetic nanoparticles, *J. Magn. Magn. Mater.* 500 (2020) 166331
10. Šipošová, K.; Petrenko, V.I.; Ivankov, O.I.; Musatov, A.; Bulavin, L.A.; Avdeev, M.V.; Kyzyma, E.A. Fullerenes as an Effective Amyloid Fibrils Disaggregating Nanomaterial. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 12 (2020) 32410-32419
11. S. Burylov, D. Petrov, V. Lacková, K. Zakutanská, N. Burylova, A. Voroshilova, V. Skosar, F. Agresti, P. Kopčanský, N. Tomašovičová, Ferromagnetic and antiferromagnetic liquid crystal suspensions: Experiment and theory, *J. Molecular Liquids* 321 (2021) 114467

Uplatnenie výsledkov projektu

Výsledky projektu sú hlavne z oblasti základného výskumu a majú v širšom zmysle významný príspevok k aplikáciám ako sú senzory malých magnetických polí s možnosťou využitia napr. v magnetovíznej kamere pre mapovanie magnetických polí v priestore podobne ako je to u termovíznych kamier na baze kvapalných kryštálov, ďalej široká ladiťelnosť vodivých vlastností kvapalných kryštálov pri dodaní vhodných nanočastíc (patenty v spolupráci s Ukrajinou) a pri vyvolaní pamäťových javov pomocou nanočastíc pri konštrukcii LC displejov.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)

Kvapalné kryštály patria k materiálom, bez ktorých je ťažké predstaviť si súčasný život. Cieľom projektu bolo vylepšenie ich vlastností resp. hľadanie nových javov spojených s týmito materiálmi. Ukázali sme, že dodanie magnetických častíc dramaticky mení odozvu kvapalných kryštálov na vonkajšie magnetické pole tak v oblasti slabých ako aj silných magnetických polí. Ukázali sme, že nové typy častíc s exotickými magnetickými vlastnosťami ako sú vretena alebo goethitové doštičky výrazne ovplyvnili správanie sa takýchto kompozitov v magnetickom poli. Boli po prvýkrát pozorované a teoreticky popísané takzvané kompenzované a nekompenzované feronematiká. Magnetické častice ovplyvňujú aj prechod z izotropnej do nematickej fázy a to ladiacim spôsobom. Ukázalo sa,

že zmenou koncentrácie magnetických častíc je možné meniť odozvu aj pre veľmi malé magnetické polia (menšie ako 1 mT) v oblasti prechodu. Dopovanie magnetickými časticami umožňuje ovplyvňovať tzv. rezonančné módy vo WGM rezonátoroch (rezonátoroch šeptajúcich módov). Tieto novo pozorované efekty ukazujú na možnosť využitia týchto kompozitov pri vývoji nových typov senzorov magnetického poľa ako aj umožniť ich využitie v informačných technológiách. Superiónové častice zasa dramaticky ovplyvňujú elektrickú vodivosť kvapalných kryštálov o niekoľko rádov a to tiež laditeľným spôsobom (viď. patenty). Umožňujú napríklad prepínanie z nevodivého do vodivého stavu. Po prvýkrát bolo pozorované, že kombinácia magnetických a nemagnetických častíc vedie k novým funkcionalitám v oblasti tzv. pamäťového efektu široko využívaného v LCD. Dodanie magnetických častíc do biologických systémov viedlo k vytvoreniu nového typu biologických feronematík. Výsledky projektu predstavujú významný príspevok na ceste k magnetickým poľom ovládaných kvapalno-kryštalických systémov, či už v prípade tradičných termotropných ako aj lyotropných.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)

Liquid crystals (LC) belong to substations without which we cannot imagine our life these days. The aim of the project was to improve their properties and searching for novel properties. We have shown that adding of magnetic particles to these materials can change their properties dramatically. We have shown that new kinds of particles with exotic properties as spindle particles or plate-like goethite particles changed dramatically the behavior of these composites in magnetic field. It was first time observed and described theoretically existence compensated and non-compensated ferronematics. Presence of magnetic particles can also influence the transition from isotropic to nematic phase. The change of concentration can influence their sensitivity to low magnetic fields (less then 1 mT). Another interesting phenomenon is their influence on Whispering gallery microsensors. These results showed a way for application of these materials as sensors of low magnetic field or their application in informatics technologies. The superionic particles influence the conductivity of such composites (see patents), they allow to switching from nonconductive to conductive state. It was first time observed that doping with magnetic and non-magnetic particles leads to a memory effect. Combination of magnetic particles with biological systems allows to produce a new kind of ferronematics. In general, the results of project showed a new pathway for magnetic field controlled application of these systems based on thermotropic or lyotropic liquid crystals.