

УДК 535.012.2

В. В. Беляев

**25-я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ЖИДКИМ КРИСТАЛЛАМ,
ДУБЛИН, ИРЛАНДИЯ, 30 июня – 4 июля 2014**

Московский государственный областной университет
ул. Радио, 10-а, 105005 Москва, Россия
E-mail: vic_belyaev@mail.ru

Описаны исследования и разработки по жидким кристаллам, представленные на 25-й Международной конференции по жидким кристаллам с 29 июня по 4 июля 2014 г. в Дублине, Ирландия. Кроме информации по фундаментальным исследованиям, показаны также применения ЖК в области дисплеев, органической электроники, электромеханических систем.

Ключевые слова: жидкие кристаллы, топология, материалы, моделирование, дисплеи, органическая электроника, электромеханические системы

V. V. Belyaev

**25th INTERNATIONAL LIQUID CRYSTAL CONFERENCE,
DUBLIN, IRELAND, 30 June - 4 July, 2014**

Moscow State Regional University
Radio str., 10-a, 105005 Moscow, Russia
E-mail: vic_belyaev@mail.ru

Researches and developments in the area of liquid crystals (LC), that were presented at the 25th International Liquid Crystal Conference in Dublin, Ireland (30 June – 4 July 2014), are described. Apart from information on basic researches, LC applications in the area of displays, organic electronics, electromechanical systems are demonstrated.

Key words: liquid crystals, topology, materials, simulation, displays, organic electronics, electromechanical systems

Наш журнал регулярно публикует краткие обзоры крупнейших мероприятий по жидким кристаллам (см., например, [1]). С 29 июня по 4 июля 2014 г. в столице Ирландии Дублине, на территории Тринити-колледжа, являющегося одним из старейших и передовых европейских университетов, состоялась 25-я Международная конференция по жидким кристаллам (МКЖК). На конференции было представлено множество работ по фундаментальным исследованиям. Что касается приложений, жидкие кристаллы были представлены не только в качестве электрооптического и оптического материала плоскостовых дисплеев, но и как перспективные элементы органической электроники, МЭМС (микроэлектромеханические системы) устройств, фотовольтаических элементов, различных датчиков, в том числе и биологических.

Местом проведения МКЖК Дублин был выбран потому, что в Тринити-колледже в этом направлении работает ряд сильных групп, возглавляемых Дж. Виджем (J. K. Vij, председатель конференции), Ю. Панариным и Т. Перовой, внесших значительный вклад в теорию и практику сегнетоэлектрических ЖК, фотонно-кристаллических устройств на основе ЖК и др. Приятно отметить, что на этой конференции было много участников из России, Белоруссии, Украины. На конференции было представлено много нового, что было фантастикой вчера и кажется фантастикой даже сейчас. В данной статье представлен очень краткий обзор некоторых наиболее интересных докладов. Значительная часть результатов, относящихся к практическим применениям ЖК, будет опубликована в [2].

Жидкокристаллические материалы

В последнее время было открыто и исследовано много новых ЖК-фаз, которые Ноэль Кларк (Университет Колорадо в Боулдере), назвал в своей пленарной лекции экзотическими. Это и спирально-коническая фаза с твист-бенд спиралью (сочетание деформаций продольного изгиба и кручения), и фаза закрученных границ зерен (доменов), и различные ламеллярные фазы, и чечевицеобразные тактоиды, представляющие собой взвесь нанолитков фосфата циркония и др. Приведя множество фотографий, Н. Кларк вновь напомнил о красоте и таинственности ЖК (название его лекции).

Одна из пленарных лекций была сделана

Б. Матиасом, представителем немецкой фирмы E. Merck, ведущей организации по разработке ЖК-веществ и материалов. В лекции было показано, как искать нематические вещества с отрицательным двулучепреломлением. Эти мезогены нужны для оптических компенсаторов, улучшающих углы обзора ЖК-дисплеев, и вообще для управления показателями преломления материалов. Ранее были известны такие вещества – дискотические ЖК, состоящие из молекул с плоской формой. Их недостаток – плохая смешиваемость с обычными, каламитными ЖК с молекулами палочкообразной формы. В фирме E. Merck с использованием методов квантовой химии рассчитаны и синтезированы производные бициклогексана с фрагментами, имеющими одну или две тройные межуглеродные связи (как в ацетилене), у которых величина $\Delta n < 0$.

Перспективным направлением создания новых типов ЖК-веществ является поиск новых полупродуктов для синтеза из отходов других отраслей промышленности. Португальская группа из Нового университета Лиссабона и Лиссабонского технического университета предложила синтезировать азопроизводные ЖК из ацетокси-пропилцеллюлозы. Из таких веществ можно делать пленки с управляемой поверхностной смачиваемостью. Подобный эффект с азосоединениями известен как фотоориентация ЖК. Достоинством целлюлозных ЖК является возможность получения термотропных и лиотропных ЖК, растворимых при комнатной температуре в различных растворителях и осаждаемых из воды. В Белоруссии две группы занимаются созданием материалов из простых полупродуктов (В. Безбородов, Белорусский государственный технологический университет) или вообще из отходов нефтехимии (А. Муравский, Институт химии новых материалов НАН Беларуси).

Ацуо Фукуда из факультета электронной и электрической техники университета Дублина исследовал структуру антисегнетоэлектрических ЖК. Они являются перспективными для передачи в дисплеях полутонной шкалы благодаря беспороговой и безгистерезисной вольт-контрастной характеристике, имеющей V-образную форму для напряжения обеих полярностей. Используя данные по отражению в ближней ИК-области, А. Фукуда идентифицировал фазу как разупорядоченную смектическую $SmC^*(1/2)$.

Электрооптические эффекты и устройства

Одним из самых примечательных докладов по прикладным проблемам стало выступление специалиста из лаборатории дисплейных устройств Корейского университета Донг-А по ЖК-дисплеям с широким углом обзора. Он буквально по полочкам разобрал проблему, проиллюстрировав добротным математическим аппаратом с применением сфер Пуанкаре множество конструкций устройств с большим количеством оптических элементов и сложной конфигурацией пикселей с разной ориентацией ЖК. Самыми лучшими характеристиками, по его мнению, обладает четырех-доменный пиксель с вертикальной ориентацией ЖК, обеспечивающий высокий уровень контраста в широком диапазоне углов для всех основных цветов с учетом их полутонов.

Проблемы расширения углов обзора с помощью гибридных ячеек со сложной конфигурацией рассмотрены и группой Московского государственного областного университета (МГОУ) (В. Беляев, А. Соломатин, Д. Чаусов). Рассмотрена задача расчета фазовой задержки необыкновенного и обыкновенного лучей, проходящих через ЖК-ячейку при разных граничных условиях на обеих подложках и углах падения света. Похожая структура гибридной ячейки использована в электрооптическом затворе, представленной Д. Неволным из группы Е. Коншиной (Санкт-Петербургский университет информационных технологий, механики и оптики). С применением двухчастотного управления получена симметричная зависимость пропускания ячейки от времени при переключении в любую сторону. По сравнению с аналогичным затвором на основе антисегнетоэлектрического ЖК с V-образной характеристикой это устройство проще и дешевле.

А тип исследования, выполненного в Корейском институте передовой технологии и науки (KAIST), можно перенести из электрооптического в биологический раздел. В ЖК-дисплеях широко используется эффект планарного переключения (*in-plane-switching*, или IPS). Сотрудники KAIST считают, что вместо обычного натирания ориентирующего слоя для получения нужной ориентации ЖК лучше использовать молекулы ДНК. Авторы научились укладывать молекулы ЖК под определенным углом в бороздки, образуемые спиральной структурой ДНК.

Применения ЖК для фотоники

Если раньше с помощью лазерного излучения изменяли свойства ЖК, то сейчас, используя ЖК-ячейки, не только управляют параметрами пучка света, но и генерируют его. В Институте жидких кристаллов, Кент (Огайо, США) и Национальном университете Чао-Тунга (Тайвань) создают пучки света не только с круглым профилем, обычно формирующимся в гауссовом пучке, но и с квадратным, треугольным, пятиугольным. Используется эффект так называемого обратного течения – течения ЖК, возникающего при его переориентации, которое дополнительно управляется градиентом температуры внутри ЖК-ячейки. Под действием обоих факторов изменяется ориентация ЖК и, соответственно, его показатель преломления, в результате чего формируется нужный профиль пучка.

Юрий Резников из киевского Института физики НАН Украины показал, что коллоиды поглощающих фотостабильных наночастиц в изотропной фазе (ЖК или вообще в органическом растворителе типа додекана) проявляют гигантскую оптическую нелинейность. Такое явление есть следствие светоиндуцированного эффекта Соре с разделением частиц из-за термодиффузии в пространственно неоднородном световом поле.

В группе из Института динамики и самоорганизации Макса Планка (Германия), Института Й. Стефана и Люблянского университета создали очень необычный лазер, в котором использовано по меньшей мере два вида жидкокристаллических фаз. Сначала формируют раствор амфифильных соединений, молекулы которых самоорганизуются в мицеллы – колонки с головками молекул, ориентированных внутрь, и хвостами, направленными вовне мицелл. Сердечник мицеллы представляет собой топологический дефект цилиндрической формы, заполненный смектическим-A ЖК с растворенным в нем флуоресцентным красителем, например, красный Нил. В основание мицеллы подводится лазерный пучок, который распространяется внутри этого своеобразного световода. При интенсивности пучка около 75 мкДж/м^2 в ЖК с красителем генерируется лазерное излучение с другой длины волны. Такое гибкое ЖК-оптоволокно можно использовать для создания мягких фотонных цепей.

Мохаммад Мохаммадимасоуди из группы Кристиана Нейтса, Гентский университет (Бельгия), сделал управляемый оптический фильтр из частично полимеризованного холестерического ЖК со сдвигом фотонной запрещенной зоны на 141 нм (очень много) за время 20–50 мкс (очень быстро).

На рынке дисплеев жидким кристаллам противопоставляют органические светодиоды как самосветящиеся материалы с ламбертовым излучением света и сверхбыстрым переключением, т. е. не имеющие недостатков ЖК (большие потери света в поляризаторах и оптических компенсаторах, сравнительно медленное переключение). Ранее делались попытки синтезировать ЖК, излучающие свет под действием электрического поля. А в Дублине сотрудники университета Ренна, компаний NSA Rennes (Ренн) и Télécom Bretagne (Брест), все Франция, представили исследования так называемых гибридных ЖК, или кластомезогенов. Они являются результатом самоорганизации неорганических фотолюминесцентных красителей в ЖК. В них возникает излучение, которое можно модулировать по интенсивности как в обычных ЖК-ячейках, но без дополнительных оптических элементов. Напряжение для модуляции такое же низкое, как и в обычных ЖК.

Современные проблемы физики ЖК

А) Теория

Профессор Болонского университета из Италии, президент Международного жидкокристаллического общества Клаудио Заннони продолжает свою активную деятельность по использованию методов молекулярной динамики для теоретического описания и предсказания свойств ЖК. В своей лекции этого года он обратился не только к традиционным темам ЖК – фазовые переходы, физические свойства веществ, широко используемых в дисплеях, но и к описанию свойств материалов для недисплейных применений – органические полупроводники для транзисторов и солнечных элементов. Применяемое им и его коллегами математическое моделирование позволяет рационализировать и оптимизировать молекулярную структуру веществ для этих приложений. Моделирование позволяет также предсказывать многие другие свойства ЖК – температуру фазовых переходов, упорядоченность, спектроскопические свойства. Важным выводом является утверждение о возможности предсказания

поверхностной ориентации ЖК, которая объяснялась ранее только эмпирическим путем.

Тим Слукин из Саутгемптонского университета сделал впечатляющую лекцию по теории ориентации ЖК в пористых системах, привлек значительный исторический материал и наметил задачи на будущее. Среди проблем, которые нужно будет решить, спиновые стекла, фазовые переходы, гистерезис свойств ЖК в порах, линия де Альмейды-Тулеса, а заключил Т. Слукин свою лекцию словами «надо понять эти сравнительно простые системы» и «обрисовывает (*caricature*) ли предложенная модель пористую систему?»

Группа МГОУ (проф. А. Дадиванян и др.) на эту тему представила простую модель ориентации ЖК в порах с оценкой типа ориентации ЖК в зависимости от размера поры и энергии взаимодействия ЖК с подложкой. Работа проведена совместно с группой из Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники (проф. А. Смирнов), выполнившей полное описание технологических процессов формирования пор в окиси алюминия.

Б) Топология ЖК

Словенская школа физики жидких кристаллов (Институт Й. Стефана и Люблянский университет) особенно славится работами по топологии ЖК (дефекты, ограниченные среды). Как правило, почти на каждой конференции по ЖК молодой ученый из этой школы награждается премией Гленна Брауна, основателя первого института ЖК в г. Кент и организатора первых МКЖК, за одну из лучших PhD диссертаций.

Миха Равник теоретически и экспериментально показал, как управлять микроскопическими потоками в пассивных и активных нематических жидкостях, находящихся среди микропотоков, и манипулировать коллоидными частицами в таких средах. Потоки могут управляться как градиентом температуры, так и дефектами структуры, действующими как направленные насосы. В качестве примера наночастицы, сформированной и управляемой такими микропотоками, был показан узел – объект, представляющий собой линию, накрученную на тор. Вид сверху напоминает эмблему фестиваля молодежи и студентов (кто-то помнит эти фестивали в Москве в 1957 и 1985 гг.) с пятью лепестками. Все это предлагается использовать в новых оптических и фотонных структурах.

Представителем той же школы Д. Сечем были продемонстрированы свободно подвешенные узлы в каплях холестерических ЖК. В зависимости от структуры и условий получения они назывались трилистник, кольцо Соломона, белая голова и т. д.

Что касается тора, то возможность формирования тороидальных капель продемонстрировал бразилец Альберто Фернандес-Невес, работающий в Институте технологии штата Джорджия. Объект интересен с точки зрения топологии и механики жидкости. Тороидальная капля получается при впрыскивании ЖК в несмешивающуюся жидкость при ее вращении. Кроме единичного тора, получали капли из трех и пяти колец. Авторы сумели исследовать капли с вертикальной и планарной граничной ориентацией ЖК и показать, что в объеме капли ориентация ЖК имеет сложную закрученную структуру.

Недисплейные применения ЖК

А) Органическая электроника

Одним из перспективных недисплейных применений ЖК является органическая электроника. ЖК используются как органические полупроводники для управления токами в тонкопленочных транзисторах или их генерации в фотовольтаических элементах. Типичные преимущества материалов органической электроники по сравнению с обычной твердотельной электроникой – возможность нанесения пленок из раствора, что упрощает и удешевляет производство при том же или более высоком уровне подвижности носителей заряда, а также возможность получения элементов транзистора существенно меньшего размера. Часто молекулы для таких применений имеют дискообразную форму. Благодаря эффектам самоорганизации молекулы упорядочиваются в колонки и слои, у которых электрофизические свойства в разных направлениях различаются.

По этому направлению в Дублине был представлен ряд докладов. В частности, группа из Института промышленной химии Болонского университета, университета Бордо и Лаборатории химии новых материалов университета Монс (Бельгия), приступила к разработке рациональной стратегии молекулярного конструирования для повышения эффективности солнечных ЖК-батареи. В докладах авторы из Японии и Германии (университет Кагава с Национальным институтом передовой промышленной науки и технологии,

Такамацу, и Токийский институт технологии с немецким Институтом полимерных исследований общества им. Макса Планка) исследовали процессы самоорганизации ЖК с указанной молекулярной структурой и их влияние на подвижность носителей заряда.

Кван Ли Ли из Института ЖК в Кенте (Огайо, США) занимается недисплейными приложениями ЖК. С использованием бездефектной монокристаллической пленки ЖК, в которой молекулы упорядочены в ряд колонок, получены элементы, преобразующие свет в напряжение. А с помощью двух световых пучков двумя разными длинами волн из видимого и УФ-спектра создают структуру с изменяемым шагом спирали для задач динамической фотоники.

Джи Хюн Пак из Сеульского национального университета с коллегами из Пизы (Италия) рассказали о формировании молекулярных проволок длиной до нескольких сотен микрометров из молекул дискотических ЖК, чтобы потом переносить заряд по π - π связям молекулярных сердечников.

Группа из Университета им. Отто фон Герике, Магдебург, и Института жидких кристаллов, Кент (Огайо, США) исследовала формирование и свойства квазиодномерных образований – нитей (филаментов) с отношением длины к диаметру от 100 до 7000. Они образуются под действием растягивающих и сжимающих напряжений в поляризационно модулированной колонкообразной (*columnar*) ЖК-фазе В7. В отличие от других одномерных жидких объектов, легко распадающихся на отдельные капли, этот объект стабилен.

Б) Микроэлектромеханические системы (МЭМС) на основе ЖК

Известно, что ЖК-фаза существует в ограниченном температурном диапазоне. При нагреве выше температуры просветления ЖК переходит в изотропную фазу, в которой, как видно из ее названия, анизотропия свойств, в том числе показателей преломления, отсутствует. Но группа лаборатории Леона Бриллюэна из французского города Жиф-сюр-Иветт обнаружила новый анизотропный эффект именно в изотропной фазе: под действием механического осциллирующего сдвигового напряжения появляется значительный обратимый и синфазный оптический отклик, связанный с двулучепреломлением.

Для практики это означает возможность новых механооптических датчиков и затворов, работающих и при комнатной температуре. Авторы настаивают, что в связи с этим эффектом надо пересмотреть точку зрения на жидкость как на упругий материал.

Примером успешного объединения химиков и электронщиков стал термомикроактюатор на основе жидкокристаллического эластомера двух немецких университетов – Майнцкого Университета им. Иоганна Гуттенберга (Майнц), Институт органической химии и Университета г. Фрайбург, Институт микросистемной техники (актюатор – основная, движущаяся часть любого МЭМС). В пленку эластомера, представляющего собой разновидность полимерного ЖК, встроена проволока с высоким сопротивлением. Если через нее потечет ток, то она разогреется сама и нагреет ЖК. Он перейдет из нематической фазы в изотропную и сожмется в направлении, параллельном преимущественному направлению ориентации ЖК в нематической фазе. Пленка с размерами 3,5 мм x 8,5 мм, может передвигать нагрузку массой 2 г на расстояния больше миллиметра, что для МЭМС является неплохим показателем.

А каталонцы из Института микроэлектроники и автономного Барселонского университета в сотрудничестве с Отделом науки и технологии здравоохранения компании ETH Zurich (Швейцария) сделали актюатор из отдельных колонок с использованием расширения ЖК-эластомера при его нагреве. В приборе можно расширять разные колонки на разные значения длины, что можно использовать для захвата мелких предметов.

По части двумерности еще дальше пошли специалисты исследовательской лаборатории ВВС США и корпорации «Азимут», США. Они сделали двумерный эластомер, разные фрагменты которого синтезированы в реакциях разного типа. Разработку назвали «ЖК-эластомерный актюатор, вдохновленный оригами»

В) Датчики

На кафедре электрооптической техники Национального объединенного университета Тайваня сделали волоконно-оптический датчик, реагирующий на различные физические и механические воздействия: температура, давление, механическое напряжение, смещение, показатель

преломления и т. п. На стыке двух одномодовых волокон ставится ЖК-ячейка, играющая роль интерферометра Маха-Цендера и не дающая расходиться пучку света, выходящего из сердечника волокна. Такие датчики отличаются высокой чувствительностью (например, изменение температуры на 1 градус приводит к изменению оптической разности хода на 1,5 нм, что легко зарегистрировать); на них не влияют электромагнитные поля.

В совместной ирландско-британской разработке Дублинского технологического института и Лондонского университетского колледжа предлагают микроструктурированные волокна с ЖК-оболочкой, которые планируют использовать как сверхчувствительные датчики для мониторинга окружающей среды, управления промышленными процессами, медицинской диагностики. Такие компактные переключаемые фотонно-кристаллические устройства можно применять и в оптической связи.

В университете Фордэм (США) при участии П. Шибаяева работают над созданием датчиков состояния окружающей среды, в частности, обнаружения биологических объектов с использованием полимерных ЖК с боковыми группами ОН и СООН. Увеличение концентрации полимерного ЖК в воде повышает чувствительность датчика по многим оптическим параметрам.

Наши коллеги из физического факультета Национального университета им. Тараса Шевченко (Киев) И. Пинкевич, В. Решетняк и В. Задорожний совместно с исследовательской лабораторией ВВС США, находящейся на базе ВВС Райт-Паттерсон в штате Огайо, предложили ЖК-датчик поверхностного плазмонного резонанса, возникающего на границе металл – диэлектрик при падении света. Если под слоем металла поместить слой ориентированных наностержней, чувствительность датчика значительно увеличивается. Такой датчик можно использовать для анализа химических и биологических структур.

ЖК и биологические объекты

Известный среди специалистов по ЖК профессор Йоркского университета (Великобритания), лауреат медалей Дж. Грея и В. К. Фредерикса Джон Гудби представил обзорный доклад по биомедицинским и биологическим приложениям ЖК. Среди актуальных современных

направлений он выделил фармацевтику, получение изображений клетки, биологические системы в материалах.

Особое внимание он обратил на использование биосовместимых полимеров и на процесс их биодegradации.

В Институте ЖК г. Кента, на нескольких факультетах Кентского университета (Огайо, США) и на факультетах химии и фармакологии и терапевтики университета Манитобы (Канада) как раз и занимаются новыми композитными материалами для замены человеческих тканей (кости, суставы, связки) для функционирования и роста клеток при определенных физиологических условиях. В частности, синтезирован биосовместимый и биодegradируемый смектический-А ЖК-эластомер с биомеханическими функциями. Эластомер испытан в качестве кандидата для восстановления (регенерации) тканей, с помощью которого клетки можно прикреплять, различать и воспроизводить.

В японском Институте технологии г. Фукуока используют ДНК для формирования двумерных наночастиц (нанолистков) из минерала флуорогекторит, образующих ЖК-фазу. А в группе из Боулдера и Милана с участием Дэвида Уалба и Ноэля Кларка получили ряд хиральных фаз, в том числе и голубую из наноолигомеров ДНК с четырьмя парами оснований. Теорию самоорганизации таких коротких дуплексов развили в университетах Милана и Рима.

Международная группа из Люблянского университета (Словения), Института полимерных исследований общества им. Макса Планка и университета Байройта (оба – Германия), разработали новую модель нематико-изотропного перехода, в которой предпочтительное направление ориентации (директор) является не статичной, а динамической характеристикой, т. е. некоторая область ЖК имеет коллективную скорость и взаимодействует с другими областями. Этот подход можно приложить к другим системам, спонтанно переключающимся от индивидуального (неупорядоченного) поведения к коллективному (упорядоченному), например, стаи птиц или рыб. В теории появляется связь ориентационного упорядочения и переноса. Понятие динамического предпочтительного направления ориентации оказывается полезным и для описания коллективного упорядочения в системах, в которых в статическом состоянии нет направления преимущественной ориентации,

например, управляемое движение статических объектов. Авторы развили эту модель для описания роста ряда активных бактерий.

Программа исследований ЖК в космосе

30 июня состоялось совещание с представителями космического агентства США (НАСА) по исследованию ЖК в космических условиях, прежде всего в условиях невесомости. Разворачивается новая программа для лучшего понимания поведения ЖК в условиях пониженной гравитации и для поиска новых ЖК-систем с улучшенными свойствами. Она выполняется при открытом доступе участников из разных стран. Предполагается изучение статических и динамических характеристик различных самоорганизующихся одно-, двух- и трехмерных структур – капель, пузырьков, свободно подвешенных пленок, наночастиц. Объекты будут управляться различными способами: электрическое поле, оптический пинцет, струйки воздуха.

Заключение

В кратком обзоре невозможно отразить все интересные доклады. Поэтому еще раз отметим активность российских участников как из России (Т. Шабатиной по хиральным металло-мезогенам, А. Воробьева по использованию ЭПР для получения информации по тончайшим деталям упорядоченности ЖК, С. Торговой по ориентации сегнетоэлектрических ЖК, устойчивой к механическим воздействиям, и др.), так и из зарубежных университетов. Так, В. Чигринов (Гонконг) представил ряд работ по фотоанизотропным материалам, выполненных на таком высоком уровне, что его ученика наградили одной из премий для молодых ученых. М. Осипов (Глазго, Великобритания), выполнил в соавторстве с учеными из множества европейских стран ряд работ, отличающихся не только научным содержанием, но и доступностью. В названии одной из дублинских публикаций есть и сахарная голова, и вулкан для иллюстрации углового вида распределения осей молекул смектиков де Фриза (*de Vries*) и их жестких сердечников, соответственно.

Во время конференции была вручена медаль имени В. К. Фредерикса Российского ЖК-общества «Содружество» за выдающиеся достижения в химии ЖК зарубежному ученому – профессору Вольфгангу Хаазе, Дармштадтский университет.

Следующая, 26-я международная конференция по жидким кристаллам, пройдет в 2016 г. в Институте жидких кристаллов, г. Кент, США.

Автор выражает признательность РФФИ. Участие в 25-й МКЖК было обеспечено из средств по гранту № 13-07-00574-а.

Список литературы / References

1. Беляев В. В. 24 Международная конференция по жидким кристаллам (Майнц, Германия, 20–24 августа 2012 г.) // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2012. Вып. 3 (41). С. 107–108. [Beljaev V. V. 24 Mezhdunarodnaya konferentsiya po zhidkim kristallam (Maynts, Germaniya, 20 – 24 avgusta 2012 g.) (24 International Conference on Liquid Crystals (Mainz, Germany, 20 – 24 August 2012) // Zhidkie kristally i ikh prakticheskoe ispol'zovanie. (Liq. Cryst. & Appl. Russ. J.). 2012. Iss. 3. P. 107–108. (in Russian)].
2. Беляев В. В. Жидкие кристаллы – экзотика и реальность // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. М.: ЗАО РИЦ «Техносфера», 2014. Вып. 6. (в печати) [Beljaev V. V. Zhidkie kristally – ekzotika i real'nost' (Liquid crystals – exotic and reality) // Elektronika : Nauka, Tekhnologiya, Biznes. M. :ZAO RITs «Tekhnosfera». 2014. Iss. 6. (v pechati). (in Russian)].

Поступила в редакцию 17.09.2014 г.