

# В режиме открытия

С тех пор, как была доподлинно установлена уникальность папиллярных линий пальцев и ладоней у каждого человека, метод дактилоскопии остается одним из наиболее испытанных и надежных в работе правоохранительных органов различных государств. Причем его суть с XIX века, когда он начал получать распространение, почти не изменилась. Пользуясь фактически теми же дедовскими приемами, что и их предшественники, современные мастера сыска добиваются порой весьма существенных результатов – может быть и не столь ошеломительных, как у прославившего этот метод знаменитого литературного персонажа Шерлока Холмса, но также весьма впечатляющих. Впрочем, технический прогресс все же предоставляет современным шерлокам холмсам возможность превзойти своего легендарного литературного коллегу. Такой шанс у них появляется благодаря использованию современных порошков для дактилоскопии, созданных на основе микрочастиц. По-настоящему новое слово здесь удалось сказать химикам из Белорусского государственного университета.

На основании их исследований создано производство 14 разновидностей порошков для дактилоскопической экспертизы – магнитных, немагнитных, черных, белых, красных, флуоресцентных и других. В зависимости от разновидности их можно применять как в разных условиях, так и с разными целями, потому что существует масса причин, затрудняющих снятие и идентификацию отпечатков пальцев.

Разработанные порошки и провятели серии ДАКТИ (этот товарный знак защищен) не имеют аналогов в странах СНГ. Они были защищены патентами Республики Беларусь, награждены дипломом и бронзовой медалью IV Московского международного салона инноваций и инвестиций и дипломом и золотой медалью в номинации «Лучший инновационный проект в области новых материалов и химических продуктов» Международной выставки-конгресса «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции», проходившей в Санкт-Петербурге. Начиная с 2003 года названные дактилоскопические средства поставлялись экспертно-криминалистическим подразделениям различных стран: России, Польши,



Литвы, Судана. Что же касается Беларуси, то потребность в указанных материалах полностью удовлетворяется за счет созданного производства. Полученный благодаря этому эффект от импортозамещения составил около 2,1 млн долларов.

Но, пожалуй, самое примечательное то, что разработка и освоение выпуска данной продукции стали результатом – правда, довольно отдаленным – исследований в области разработки высокодисперсных компонентов смесевых твердых ракетных топлив, ориентированных на интересы Министерства обороны и Военно-промышленной комиссии СССР. Они проводились группой белорусских исследователей под руководством академика А.И. Лесниковича. Правда, он тогда еще не имел докторской степени, а не менее известный ученый, нынешний проректор БГУ академик О.А. Ивашкевич, работавший с ним в ту пору, только начинал свой путь в науке. Кстати, в ходе этих исследований он защитил свою кандидатскую, а впоследствии и докторскую диссертации.

Цикл исследований, о котором идет речь, был начат в далеком 1975 году. Основное внимание ученых было сосредоточено на изучении зависимости скорости горения от давления и на влиянии на эту скорость различных добавок, в процессе чего химики вышли на высокодисперсные катализаторы скорости горения. Это фактически послужило толчком в область нанотехнологий. Без всякого преувеличения можно утверждать, что белорусские ученые стали одними из первооткрывателей так называемого размерного эффекта. Применительно к скорости горения он выражается в том, что при уходе в размер частиц нанометрового диапазона свойства вещества существенно меняются.

Белорусские химики проследили, как отмеченный эффект сказывается на влиянии катализаторов горения. Изучив существующие здесь зависимости, они пришли к выводу, что существуют пределы регулирования скорости горения. А коль скоро это так, значит, содержание катализаторов, или ингибиторов скорости горения, которые в

значительной степени представляют собой не что иное, как балласт в ракетном топливе, необходимо минимизировать. Показав, что обозначенной цели можно добиться благодаря применению коллоидных и жидких регуляторов горения, белорусские ученые стали разрабатывать разнообразные методики их получения. Метод, который они при этом создали, даже получил официальное международное название по имени автора. Французские ученые, нередко применявшие его в своей практике, так и говорили: метод Лесниковича.

Но, разумеется, в первую очередь он был использован по прямому назначению. В НПО «Алтай» в городе Бийске и на Ангарском заводе химических реактивов было создано производство компонентов новых уникальных высокоимпульсных смесевых твердых ракетных топлив. В России высоко оценивают итоги этого сотрудничества. Во время своего визита в Минск в 2005 году научный руководитель Федерального ракетного центра академик РАН Герой Социалистического Труда Г.В. Сакович с трибуны Президиума НАН Беларуси еще раз отметил существенный вклад, который белорусские ученые внесли в развитие ракетно-ядерных сил Советского Союза.

А совсем недавно, уже в нынешнем году, за этот вклад, который признан выдающимся, общим собранием Сибирского отделения РАН О.А. Ивашкевич избран Почетным доктором Сибирского отделения Российской академии наук.

Однако СССР распался, совместные исследования были приостановлены. Тем не менее ученые отчетливо осознавали, что их потенциал можно и нужно задействовать за пределами потребностей оборонного комплекса, и потому решили продолжить начатое. Подталкивало к такому решению и обретение Беларусью независимости, поскольку методы синтеза наноразмерных частиц могли быть использованы для по-



О.А. Ивашкевич знакомит нобелевского лауреата Жореса Алферова с результатами разработок химиков БГУ

лучения самых разных материалов, необходимых для экономики и социальной сферы страны.

В истории науки хорошо известны ситуации, когда научные открытия, в том числе и самые выдающиеся, были совершены вследствие случайности. Наиболее расхожим примером такого рода является, пожалуй,

открытие Колумбом Америки, но на самом деле подобных фактов настолько много, что это смело можно называть закономерностью. Появление широко применяющихся дактилоскопических порошков в связи с засекреченными оборонными исследованиями заставляет думать, что эта закономерность сохраняет свою силу и в наши дни. Впрочем, ученые, осуществлявшие эти разработки, предпочитают говорить все же не о случайности, а об открытии совершенно неожиданных перспектив практического приложения методов, родившихся в результате целенаправленного научного поиска.

Хотя и то, что принято называть случайностью применительно к итогам научных изысканий, по мнению многих, не является таковой, представляя собой в действительности особый способ открытия тайн мироздания перед теми, кто к этому стремится особенно настойчиво. Впрочем, как говорится, важен результат, а он оказался гораздо более масштабным, чем предполагалось вначале. И одной линейкой дактилоскопических материалов дело отнюдь не ограничилось.

Оказавшись в новой экономической и государственной реальности, ученые продолжили изучать процессы горения, и для этого были веские основания.

– В волне горения синтезируются вещества, которые другим методом получить очень трудно, – говорит А.И. Лесникович. – Кроме того, они обладают специфической микропузырьковой формой, что иногда бывает очень важно с технологической точки зрения.

Однако ученых занимал не только прикладной аспект – в ходе цикла исследований по получению новых неорганических соединений на основе микро- и наноразмерных частиц и изучения направлений их применения нашлось место и по-настоящему большим научным открытиям. Так, в процессе работы химики обнаружили совершенно новый тип горения, до этого науке неизвестный, который они назвали жидкопламенным.

– Вначале мы поскромничали, назвали это явление новым вариантом горения, – говорит А.И. Лесникович. – Но международные эксперты при подготовке нашего сообщения к публикации однозначно исправили «вариант» на «тип».

При обнаруженном виде горения образуется раскаленная сфера, которая ведет весь процесс горения. Это открывает совершенно новые возможности для регулирования процесса горения энергоемких систем. Обычно, если зажечь ракетное или какое-то другое энергоемкое топливо, остановить этот процесс достаточно сложно. В случае же с жидкопламенным горением, как ни фантастично это звучит, пламя можно сдуть или слить, и горение останавливается.

Находка белорусских ученых произвела настоящую сенсацию в научном мире. Достаточно сказать, что статья о жидкопламенном горении была опубликована в таком известном журнале, как Nature, рецензия на нее была написана дважды лауреатом Нобелевской премии зарубежным ученым российского происхождения Ильей Пригожиным.

– Со временем мы достаточно детально исследовали новое явление с использованием комплекса различных методов и, в конечном счете, установили, что существует достаточно широкий круг соединений, способных к такому горению, – рассказывает О.А. Ивашкевич. – Необходимо соблюдение нескольких условий: во-первых, горючая смесь должна иметь высокое содержание, от 61 до 64 %, азота, во-вторых, это должно быть энергоемкое соединение с большой положительной энтальпией образования,

а в-третьих, в состав смеси должны входить некоторые металлы. Последний критерий обусловлен тем, что раскаленная сфера, характерная для жидкопламенного горения, представляет собой образующийся в его процессе расплав соли, который должен иметь определенную вязкость.

Ученые изучили по меньшей мере десяток таких систем, состоящих из различных соединений, протестировали их, описали все нюансы. Но к тому моменту, когда они смогли досконально разобраться в сути обнаруженного ими явления, регистрация научных

открытий международными институтами была отменена. Как следствие, соответствующего официального статуса оно так и не получило, что, впрочем, ничуть не умаляет значения обнаружения данного явления.

Хотя необычайное разнообразие практических приложений новых наноматериалов, созданных белорусскими химиками, тоже стало своего рода открытием. Согласно предложенному ими методу, мелкие частицы различной природы синтезируются на границе раздела фаз, например, водной и органической. Они не смешиваются между собой, что позволяет синтезировать частицы заданного размера с определенным распределением по дисперсности. А это открывает нео-

обычайные возможности для создания самых разных материалов, начиная от антифрикционных противоизносных присадок к маслам, которые используются в двигателях внутреннего сгорания, и заканчивая материалами для обработки технологического оборудования на предприятиях и многими другими.

Весьма интересным направлением использования новых материалов стало создание магнитных жидкостей на основе нано- и микрочастиц. Любопытно, что эффект подобных жидкостей может быть двояким. Например, будучи использованными в качестве присадок к моторным маслам, они помогают существенно уменьшить трение и износ деталей в двигателе. Но такие жидкости можно применять и с противоположной целью: если в них добавлен абразив, то за счет того, что магнит помогает его удерживать в зоне обработки, эффект износа можно значительно увеличивать. Это обеспечивает



Жидкопламенное горение

широкую популярность данных жидкостей: известно, в частности, что схожие составы применяются для ручной полировки особо ответственных деталей аэробусов.

В последние годы к проведению работ по синтезу наночастиц активно подключился заведующий лабораторией нанохимии Научно-исследовательского института физико-химических проблем БГУ доктор химических наук М.В. Артемьев, который сумел значительно усовершенствовать методы синтеза наночастиц применительно к получению полупроводников малого размера. В результате проводимых под его руководством исследований, к которым привлекались также научные коллективы ряда университетов Франции и Германии, удалось создать квантово-размерные полупроводники, обладающие необычными свойствами, например люминесцентностью. Это значительно расширило область их практического применения.

Огромный интерес, наблюдающийся сейчас во всем мире к внедрению и использованию наноматериалов, легко объяснить – необычайно малые размеры частиц дают возможность чрезвычайно повысить коэффициент полезного действия устройств и процессов, основанных на включении таких частиц. Но эта же особенность, несущая огромные преимущества, одновременно таит в себе и дополнительные сложности для исследователей, работающих в данном направлении.

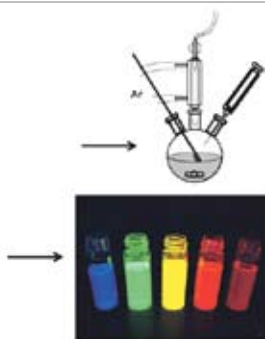


Визуализация отпечатков пальцев с помощью дактилоскопических средств

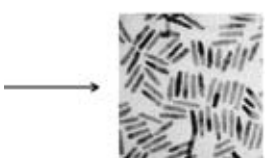
Химики БГУ столкнулись с этим еще в то время, когда они только начинали заниматься синтезом наночастиц на границе раздела фаз. Дело в том, что по мере роста количества атомов в кластере металлов задача исследования их структуры значительно усложняется, поскольку он сопровождается резким увеличением количества изомеров, то есть возможных структур с близкой энергией. Это очень чувствуется даже при сравнительно небольшом количестве атомов, до десяти, а что уж говорить о несколько более крупных частицах – до тысяч атомов, которые, тем не менее, все равно относятся к наноразмерным. Прямых экспериментальных методов определения их структуры по понятным причинам не существует, остаются только косвенные – с помощью различной спектроскопии, прежде всего фотоэлектронной. Но в данном случае из-за очень близких значений энергии изомеров для корректной оценки структуры кластеров они не годились, требовалось разработать теоретические методы, которые позволили бы рассчитывать геометрическую структуру, энергетические характеристики и параметры фотоэлектронных спектров одновременно.

Такой метод, основанный на использовании функционала электронной плотности, был разработан под руководством О.А. Ивашкевича. С помощью этого метода удалось впервые надежно идентифициро-

В ходе исследований впервые разработаны методики коллоидно-химического синтеза квантоворазмерных полупроводниковых нанокристаллов различных соединений: CdSe, CdS, CdTe, ZnSe:Mn, PbS, PbSe, PbI<sub>2</sub> и др., в том числе нанокристаллов типа «ядро-оболочка» CdSe/ZnS, CdTe/CdS, ZnSe/ZnS с высоким квантовым выходом люминесценции.



Разработаны методы синтеза люминесцентных наностержней CdSe, CdS с поляризованной люминесценцией.



вать структуру ряда кластеров, в том числе бинарных: меди, серебра, золота, а также их спектральные характеристики. Практические приложения этого метода не заставили себя долго ждать.

Известно, что такие кластеры, представляющие собой наночастицы серебра, палладия и так далее, используются в качестве катализаторов во многих химических процессах, в том числе дожигания отработавших автомобильных газов. Не секрет, что одним из наиболее неприятных компонентов, которые выбрасываются в атмосферу при сгорании бензина или дизельного топлива, является окись азота, способная нанести значительный вред окружающей среде и здоровью живых организмов. С помощью нового теоретического метода ученые попробовали смоделировать, как будет вести себя молекула окиси азота на кластере серебра, и выяснилось: будучи осажденными на него, частицы NO димеризуются, то есть вместо NO образуется  $N_2O_2$ . При этом длины связей и частоты колебаний меняются таким образом, что чрезвычайно возрастает вероятность их фрагментации, то есть распада не на NO и NO, а на  $N_2$  и  $O_2$ . Иными словами, вследствие такого взаимодействия взамен ядовитой окиси азота получаются азот и кислород – самые безобидные и распространенные компоненты земной атмосферы.

Следующим этапом исследования стало квантово-химическое моделирование окиси азота на частице серебра, которая, в свою очередь, осаждена на поверхность двуокиси титана (недавно в рамках общего цикла исследований была защищена на эту тему кандидатская диссертация А. Можейко – аспиранта О.А. Ивашкевича). Двуокись титана представляет собой известный катализатор, а ее композиты с частицами серебра обладают еще более высокой, так называемой сверхаддитивной активностью. Изучение механизма такой активности позволяет более целенаправленно двигаться в сторону разработки катализаторов нового поколения.

Всплеск интереса во всемирном масштабе к наноматериалам совпал с ростом значения, придаваемого исследованиям в области биотехнологий и медицины. Можно даже сказать, что эти две волны научно-технического прогресса наложились одна на одну, концентрируя в себе львиную долю

интеллектуальных и финансовых ресурсов в большинстве развитых стран. Неудивительно, что совпали они и в работе белорусских химиков, усмотревших в медицинской области широкое поле для применения создаваемых ими материалов.

– Отличительная особенность наночастиц заключается в том, что они обладают очень большой поверхностью относительно размера, – говорит М.В. Артемьев. – Поверхность эта очень активная, поэтому данные частицы склонны к агрегации, в связи с чем их специально стабилизируют. Так вот, использование органических стабилизаторов



А.И. Лесникович (второй слева) с академиками РАН, трое из которых имеют белорусские корни: Н.З. Ляхов (первый слева), Г.В. Сакович (третий слева), В.Н. Пармон (второй справа)

особой природы приводит к тому, что такие частицы приобретают способность связываться с «кирпичиками», из которых строится человеческий организм: с белками, клетками, ДНК и так далее. При облучении люминесцентные кристаллы в составе подобного образования обретают удивительную способность светиться другим цветом, чем здоровая клетка. Это делает такие материалы незаменимыми при ранней диагностике злокачественных опухолей.

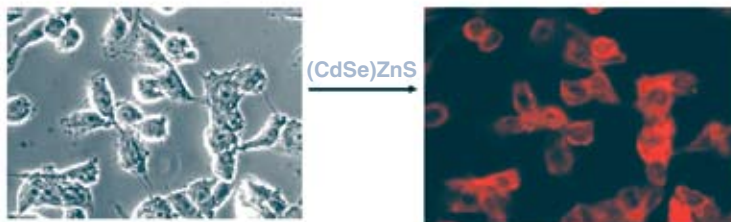
Созданные материалы привлекли пристальное внимание ученых из других стран. В частности, перспективы возможного сотрудничества по их созданию обсуждались на недавней встрече химиков БГУ с вице-президентом инновационного центра Сколково С.А. Наумовым, который посещал нашу

страну. Для диагностических целей были разработаны и другие материалы, которые содержат особые частицы, способные поглощать нейтронное излучение. Эта особенность делает их рентгеноконтрастными, что может помочь установлению диагноза при самых разных заболеваниях.

Однако диагностикой сфера медицинского применения наноматериалов не ограничивается – с не меньшим успехом они могут использоваться для лечения, скажем, все тех же злокачественных заболеваний. Речь идет об уничтожении опухолей с использованием когерентного СВЧ-излучения. Например, клетки пигмента, входящего в структуру меланомы, по своему химическому составу близки к другим красителям. Но поскольку частицы металла легко связываются с красителями, они за счет этого могут также легко диффундировать в меланому. В процессе последующего облучения благодаря тому, что частицы металла избирательно поглощают его, достигается очень мощный локальный нагрев, и опухолевые клетки разрушаются без повреждения окружающих тканей.

Кстати, эта тенденция к применению щадящих методов лечения, к минимизации количества лекарств и максимизации их эффекта за счет доставки точно в нужный орган и вовремя очень характерна для современной медицины. Использование микро- и наноразмерных частиц может оказаться здесь незаменимым подспорьем, причем не только в случае облучения злокачественных опухолей, но и при разработке соединений, обладающих высокой биологической активностью, в том числе противоопухолевой.

Разработаны иммунологические процедуры клеточного маркирования антителами, меченными люминесцентными нанокристаллами (CdSe)ZnS



Оптическое изображение клеток

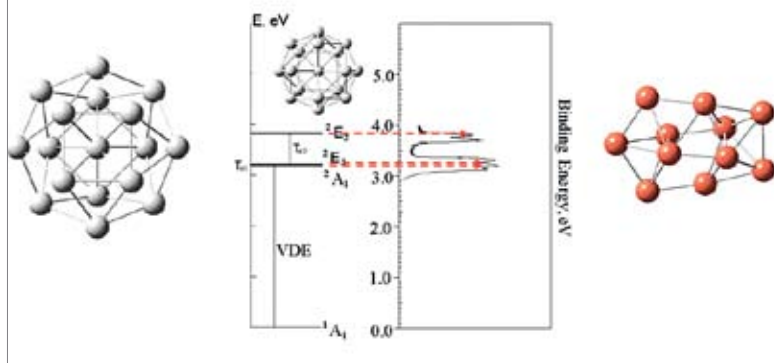
Люминесцентное изображение клеток, меченных нанокристаллами

Так, один из наиболее широко используемых в клинической практике противоопухолевых препаратов – цисплатин. Это вещество применяется чуть ли не в 90 % случаев послеоперационной химиотерапии. Цисплатин представляет собой комплексное соединение платины с азотосодержащими лигандами, которое насколько эффективно, настолько же и токсично. Вследствие этого у пациентов после химиотерапии нередко выпадают волосы, начинаются серьезные проблемы с внутренними органами.

Ученым БГУ удалось синтезировать целый ряд противоопухолевых препаратов, один из которых обладает сопоставимой с цисплатином активностью, будучи при этом на порядок менее токсичным. Причем, что очень важно, созданные вещества активны в отношении резистентных опухолей, которые устойчивы к цисплатину. Полученные данные указывают на целесообразность дальнейшего развития этого направления с целью создания в ближайшей перспективе нового поколения высокоэффективных импортозамещающих отечественных противоопухолевых препаратов, обладающих меньшей токсичностью и более широким спектром цитостатической активности.

Работу над их созданием характеризует очень любопытный момент – их структура была теоретически спрогнозирована до того, как сами вещества были синтезированы на практике. Все мы слышали о сенсационной новости, недавно взбудоражившей мировую общественность: судя по многим признакам, на Большом адронном коллайдере в Европей-

Определение геометрической структуры малых кластеров меди и серебра



ском центре ядерных исследований удалось таки поймать пресловутый бозон Хиггса. Эту элементарную частицу, которая должна стать последним штрихом в картине современных представлений о строении материи – либо окончательно перечеркнуть ее, никто и никак не фиксировал, ее существование ученые спрогнозировали чисто теоретически. Нечто подобное произошло и в данной ситуации. Опираясь на предложенные О.А. Ивашкевичем методы квантово-химического моделирования, использующие новые дискрипторы, ученым удалось предсказать, что искомый лиганд в составе комплекса должен, во-первых, быть достаточно объемным, а во-вторых – гидрофобным. Так оно и оказалось. Это свидетельствует о высокой достоверности метода, который можно использовать для различных целей, в том числе и для прогнозирования биологической активности соединений.

Всего авторами цикла в его рамках за период с 1975 по 2010 год опубликовано более 700 научных работ по синтезу новых неорганических соединений и материалов на основе микро- и наноразмерных частиц, теоретическому и экспериментальному исследованию их структуры и физико-химических свойств и получению материалов с заданными функциональными свойствами. В числе основных публикаций – восемь книг, 154 статьи в англоязычных международных журналах, 72 статьи в журналах СНГ и Беларуси, 61 статья в рецензируемых зарубежных сборниках статей и трудах международных конференций, 129 тезисов докладов на международных и республиканских конференциях, 71 авторское свидетельство на изобретения и патенты. При выполнении цикла работ подготовлено и защищено 5 докторских и 18 кандидатских диссертаций. Результаты исследований докладывались более чем на 150 всесоюзных (в 1980-е и начале 1990-х годов), республиканских и международных конференциях, проходивших в США, Канаде, Германии, Италии, Франции, Англии, Японии, Испании, Польше, Нидерландах, России, Украине, Беларуси и других странах.

Хотя вместо этого длинного перечисления достаточно привести такой факт: Нобелевский комитет по химии официально выдвигал А.И. Лесниковича (в 2010-м) и дважды О.А. Ивашкевича – в 2007 и 2010 годах – номинантами кандидатур уче-

ных-химиков для присуждения Нобелевской премии. После этого значение работ ученых, как и степень их международного авторитета, станут понятными без дополнительных пояснений.

...В свое время Советский Союз сумел достичь высочайшего уровня научного и технического развития, о чем свидетельствуют до сих пор во многих отношениях не превзойденные достижения в области космической, авиационной и оборонной промышленности. Тем не менее историческое соревнование двух систем, как было принято раньше говорить, он проиграл и сошел с исторической арены, уступив место Западу. Сейчас уже практически общепризнано: причиной этого стала неспособность



Во время посещения Белорусского инновационного форума премьер-министром М.В. Мясниковичем. 2011 год

конвертировать наработки оборонного сектора в высококачественную и гораздо более массовую продукцию гражданского сектора, что с успехом продемонстрировали наиболее развитые страны. Например, в США до 95 % разработок НАСА используется для нужд всей экономики, и лишь порядка 5 % остаются засекреченными.

Сейчас существует возможность исправить эту историческую ошибку. 35-летний цикл исследований, осуществленных в БГУ, показывает, как это можно сделать, перебросив мостик от передовых разработок XX века в новое тысячелетие, что, без сомнения, позволит нашей стране сделать более уверенный шаг к новым технологическим укладам постиндустриальной эпохи.

**Галина МОХНАЧ** ▀