

ЛИЦА НАУКИ

Фотонные кристаллы академика В. Шабанова

Фотонные кристаллы — одна из самых горячих областей исследования в крупнейших мировых научных центрах, гигантах высокотехнологичного бизнеса и на предприятиях военно-промышленного комплекса.



Почти полувековое развитие академической науки на Красноярской земле дало миру имена девяти академиков, которые вошли в историю российской науки и во все энциклопедии мира. Среди них — Л. Киренский, М. Решетнев, А. Жуков, И. Терсков и др. Последним, девятым по счету действительным членом Российской академии наук в 2003 году избран Василий Филиппович Шабанов. Он первым открыл список красноярцев, избранных действительными членами Академии в новом XXI столетии.

В. Шабанов — председатель Президиума Красноярского научного центра, вся его научная деятельность связана с исследованиями в области физики. Институт физики был создан одним из первых в составе академической науки в Красноярском крае, в основу его образования было положено три научных направления: магнетизм, биофизика и спектроскопия, которые возглавили Л. Киренский, И. Терсков и А. Коршунов. В Институт физики Василий Шабанов пришел после окончания Омского педагогического института в 1964 году стажером по тематике молекулярной спектроскопии к профессору А. Коршунову. С тех пор изучение кристаллов и их свойств стало основой научной деятельности ученого. За прошедшие годы им пройден большой и сложный путь от получения первых экспериментальных данных до разработки теории фотонных кристаллов. Сегодня фотонные кристаллы очень широко исследуются во всем мире, и с ними связаны самые большие надежды на резкий скачок в оптоэлектронике, лазерной физике и

нием Мандельштама-Бриллюэна. Было показано, что спектр комбинационного рассеяния может служить своеобразной «дактилоскопической карточкой» каждого химического соединения.

Профессор Коршунов

В дальнейшем, по предложению Л. Мандельштама и Г. Ландсберга, работы были продолжены в Ленинграде блестящим экспериментатором Е. Гроссом. Для этого он усовершенствовал аппаратуру исследований и расширил сферу поиска, привлекая новых молодых ученых. Первым из них в 1934 году стал А. Коршунов из Красноярска, который к этому времени окончил Ленинградский государственный университет и поступил в аспирантуру научно-исследовательского физического института в отдел профессора В. Фредерикса в лабораторию Е. Гросса. После освоения теории и техники эксперимента им были получены первые результаты, составлены черновые наброски статей, но в 1939 году Коршунов был призван в ряды Красной Армии для участия в военных событиях на реке Халхин-Гол. Возвратиться к мирной деятельности он смог только в 1946 году, проведя на восточном фронте весь военный период.

Вернулся Коршунов в ту же самую лабораторию. Е. Гросс к этому времени уже стал членом-корреспондентом Академии наук. При встрече Гросс передал Коршунову коробку фотопластинок со спектрами кристаллов, снятых им еще до войны, и которую Гросс сохранил в блокадном Ленинграде. Это было не только весьма тро-

расчетов и я «уткнулся» в свои результаты, то понял, что точность эксперимента должна быть на 6-7 порядков выше, и без нового инструмента работать дальше мне невозможно. Я бросил все, и мы начали собирать лазер для молекулярных исследований в видимой части спектра. Наша промышленность еще не выпускала нужную нам технику, и поэтому на создание лазера у нас ушло почти три года. Это был первый лазер в нашем деле. Но он оказался настолько удачным, что потом мы его тиражировали и продавали».

По общему признанию ученых, лазерные установки в 70-х годах дали мощный толчок для развития спектроскопии комбинационного рассеяния света. Появился даже новый термин — «лазерная спектроскопия комбинационного рассеяния». Значительно расширился круг объектов исследования, резко повысилась точность результатов, упростилась и ускорилась процедура их получения. Новые возможности дали очередной импульс теоретическим исследованиям.

В. Шабанов к этому времени уже не только создал необходимую технику эксперимента, но и привлек новые силы для исследований. Среди них были: В. Подопригора, Е. Аверьянов, А. Ботвич, В. Спиридонов, А. Втюрин, И. Кабанов, А. Корец. Вместе с коллегами ему удалось установить связь интенсивности линий спектров комбинационного рассеяния с линейными и нелинейными поляризуемостями молекул. В 1976 году результаты были опубликованы. После этой публикации возник настоящий бум инте-

современной физики жидких кристаллов.

Одной из самых заметных фигур, внесших существенный вклад со стороны отечественной науки в исследование жидких кристаллов, стал профессор В. Фредерикс — поляк по происхождению, выросший в Нижнем Новгороде, получивший образование в Швейцарии, долго работавший в Германии. В начале 20-х годов он возвратился в Петербург и заведовал тем самым отделом оптики, в который распределился после аспирантуры в 1934 году А. Коршунов. С самого начала работы в ЛГУ Фредерикс занимался изучением жидких кристаллов в магнитном и электрическом полях. Ему удалось создать теорию поведения жидких кристаллов, рассчитать и экспериментально подтвердить. Он доказал, что происходит ориентация жидких кристаллов под действием электрических полей и носит пороговый характер по отношению к напряженности магнитного поля.

Признанием этих исследований явился тот факт, что впоследствии в науке процессы переориентации жидких кристаллов в магнитном и электрическом полях стали называть переходами Фредерикса.

В практическом плане пороговый характер переориентации означает, что при некотором критическом значении подаваемого напряжения все молекулы жидкого кристалла одновременно совершают поворот, превращая жидкий кристалл из непрозрачного в прозрачный. Этот эффект лег в основу конструирования ныне столь широко всем известных отображающих уст-

для промышленности. Уже давно наука обратила особое внимание на то, что самая высокоорганизованная биологическая материя имеет много общего с жидкими кристаллами, так как клеточная мембрана имеет жидкокристаллическую природу. Можно сказать, что человек состоит из жидких кристаллов. И самое широкое их применение начнется тогда, когда завершится изучение этих проблем.

Феномен фотонных кристаллов

У тех, кто следит за модой в физике, фотонные кристаллы на слуху уже более десяти лет. Этим термином обозначается класс оптических материалов, для которых характерно наличие следующих двух свойств. Первое — это периодическая модуляция диэлектрической проницаемости с периодом, сравнимым с длиной волны света. Второе — наличие полной запрещенной зоны в оптическом спектре кристалла. Это означает, что в данном спектральном диапазоне свет либо не может войти в образец, либо выйти из него (управляемая ловушка для фотонов).

Фотонные кристаллы имеют много общего с электронными в части механизмов образования запретных зон, теории их расчетов и, наконец, их назначения. И те, и другие можно подразделить на проводники, изоляторы, полупроводники и сверхпроводники. Фотонные кристаллы можно также использовать для создания оптических интегральных схем. Такие кристаллы представляют качественно новые возможности управления световыми потоками.

Немного истории

История открытий, связанных с изучением кристаллов оптическими методами, полна удивительных коллизий и драматизма. Молекулярная спектроскопия изучает кристаллы (в основном, органических соединений) оптическими методами, используя эффект рассеяния света при прохождении его через вещество. Этот эффект широко известен и состоит в том, что всякий раз, когда свет распространяется в неоднородной среде, наблюдается частичное отклонение световых лучей в стороны. Первое теоретическое толкование этому было дано в конце XIX века замечательным английским ученым Рэлеем, который заложил основы учения о молекулярной природе рассеяния света, но в начале XX столетия молодой физик Л. Мандельштам предположил, что рассеяние света вызывается не самими молекулами, а их упругими колебаниями, которые должны обнаруживаться спектрами света. Свои идеи он изложил в небольшой заметке, которую, по условиям того времени (1918 год), опубликовать не удалось. Статья была напечатана лишь в 1926 году, когда часть сформулированных идей была уже опубликована французским физиком Л. Бриллюэном.

Но одно дело дать теоретическое объяснение, совершенно другое — получить экспериментальное подтверждение этих идей. Условия для этого появились лишь тогда, когда Л. Мандельштам начал работать в МГУ. Его ближайшим сотрудником Г. Ландсбергом экспериментально был получен первый спектр рассеянного света на кристаллах кварца. Известна точная дата открытия этого явления — 21 февраля 1928 года. Впоследствии это явление было названо комбинационным рассеянием света. Однако публикация об этом по разным причинам затянулась, что привело еще раз к драматическому усложнению ситуации. К моменту появления результатов в печати уже были опубликованы статьи индийского физика Ч. Рамана об исследованиях рассеяния света в жидкостях и газах.

Длительный период поисков и исследований завершился открытием нового замечательного явления — комбинационного рассеяния света. Оно оказалось найденным одновременно и независимо в Москве и в Калькутте и сразу вызвало огромный интерес во многих лабораториях мира. Ч. Раману в 1930 году была присвоена Нобелевская премия, и именоваться этот феномен в зарубежной литературе стал: в жидкостях и газах — эффектом Рамана, а в кристаллах — явле-

тельным фактом, но и настоящей заботой о научных результатах.

В послевоенные годы А. Коршунов работал ученым секретарем НИФИ, ассистентом физического факультета ЛГУ. Кандидатскую диссертацию он защитил в 1951 году, а в следующем году возвратился в Красноярск. Здесь, в лесотехническом институте, ему удалось не только создать лабораторию молекулярной спектроскопии, изготовить сложную экспериментальную технику, но и сплотить вокруг себя молодых физиков-энтузиастов. К моменту организации Института физики А. Коршунов был уже зрелым ученым, опытным организатором, представлявшим ленинградскую школу ученых физиков и очень перспективное направление научных исследований. В 1963 году Коршунов защитил докторскую диссертацию по спектрам комбинационного рассеяния света малых частот. В ней он обобщил свои экспериментальные исследования по многим кристаллам, где доказал, что рассеяние света кристаллами в различных фазовых состояниях происходит в результате колебаний кристаллических решеток.

Новая теория

В 60-х годах красноярская научная школа молекулярной спектроскопии была единственной за Уралом и привлекала большое внимание. Очень велик был соблазн, используя свет как самое организованное, самое дешевое и повсеместное явление, мгновенно определять химическое строение и структуру молекул, их электротехнические, оптические и другие физические свойства вещества. Но для этого надо было не только научиться получать спектры этих веществ, но и найти физические закономерности, увязывающие эти спектры и свойства вещества.

Именно такая задача и была поставлена А. Коршуновым перед своими сотрудниками. Однако, в силу сложности структуры молекулярных кристаллов, описание их физических свойств долгое время проводилось в рамках весьма упрощенных моделей. И неудивительно, что при сравнении теоретических расчетных данных с экспериментальными расхождение иногда обнаруживалось на качественном уровне.

К сожалению, основным экспериментальным оборудованием были спектрографы на ртутных лампах. Нужны были лазеры. Инициатором использования лазеров для исследований в молекулярной оптике стал В. Шабанов.

О своей работе в тот период В. Шабанов вспоминает: «Сначала я был теоретиком, но когда мне понадобился эксперимент для проверки моих

решающих работ красноярцев. Появилась возможность сформулировать новую теорию комбинационного рассеяния, в которой по спектральным характеристикам можно было определять линейные и нелинейные оптические свойства кристаллов, вычислять динамику поведения решетки кристаллов вблизи фазовых переходов и многое другое. Практически это означало, что, зная электрические и электронные свойства молекул и форму кристаллической решетки вещества, можно рассчитать его оптические свойства. Впервые эту задачу удалось решить теоретически и практически.

Полностью результаты исследований были опубликованы в 80-х годах. В дальнейшем работы Шабанова стали общепризнанными у нас и за рубежом. Фамилия красноярского ученого вошла во многие иностранные и отечественные энциклопедии.

Жидкие кристаллы

Так, в 70-х годах постепенно формировалась новая теория молекулярной спектроскопии, позволяющая проводить численные расчеты с очень приличной точностью. После того как теория была обкатана на упорядоченных молекулярных кристаллах, ее стали переносить на жидкие кристаллы. Эти работы были начаты в 1977 году В. Шабановым совместно с молодыми тогда специалистами — Е. Аверьяновым, С. Ветровым, В. Зыряновым.

Сегодня трудно встретить человека, который бы не пользовался удивительными свойствами жидких кристаллов. Это электронные часы, калькуляторы, пейджеры, ноутбуки и множество других видов бытовой техники, где есть дисплеи, индикаторы, модуляторы света, оптические затворы и прочие отображающие устройства. Все они на жидких кристаллах. Но еще два десятилетия назад большинство людей не имело представления о жидких кристаллах. Они долгое время были лишь экзотикой, не имевшей применения. Феномен жидких кристаллов заключается в том, что они выполняют все правила кристаллов, хотя не обладают жесткой пространственной решеткой.

История открытия первых жидких кристаллов из холестероловых соединений насчитывает более ста лет. Из них около тридцати лет автор этого открытия немецкий физик О. Леман потратил на борьбу за признание этого физического факта.

Количество новых видов жидких кристаллов очень быстро росло, и к концу Первой мировой войны их было открыто уже более тысячи. Вскоре стали появляться и первые теории природы жидкокристаллических структур, которые заложили основы

роиств в калькуляторах, часах и компьютерах.

Фактор появления и использования новых лазерных средств, значительно облегчивших исследования при низких и высоких температурах, при высоких давлениях и при очень малых объемах вещества, а также появление новой теории, созданной в Красноярске, сыграли свою существенную роль в ускорении и развитии исследований по жидким кристаллам.

Жидкокристаллические композиты

В конце 80-х годов были открыты новые материалы, так называемые жидкокристаллические композиты, представляющие собой тонкие полимерные пленки с диспергированными в них каплями жидких кристаллов. Их иногда называют капсулированными полимерами. Размеры капсул жидких кристаллов составляют несколько микрон. Такие структуры сочетают в себе лучшие качества жидких кристаллов и гибкость полимерных пленок. Использование новых структур открывает возможности изготовления гибких дисплеев, сворачивающихся в трубку.

Новая захватывающая перспектива в очередной раз взбудоражила весь научный мир, занимающийся жидкими кристаллами. Разнообразие полимеров и жидких кристаллов может породить огромное количество новых синтетических материалов, каждый из которых должен быть исследован по физическим свойствам, а главное, должна быть создана стройная теория новых материалов. Возникло новое направление — физика жидкокристаллических композитов. Красноярская школа физиков также отреагировала на эти открытия. В начале 90-х годов В. Шабанов поручил вести исследования в этой области В. Зырянову. В 1992 году были впервые проведены исследования по сегнетоэлектрическим композитам. Здесь за красноярской школой остался общепризнанный в научном мире приоритет. В этом направлении образовалась новая группа молодых исследователей. В ее состав вошли С. Сморгон, А. Шабанов, А. Варанник, В. Пресняков, которые внесли свой вклад в развитие этого направления.

Начался промышленный бум применения жидких кристаллов. Они оказались вне конкуренции по сравнению со всеми другими аналогичными средствами из-за своей малогабаритности, малой энергоемкости, технологичности и экономичности. Немалую роль в их повсеместном использовании сыграл тот факт, что научный задел в их изучении за почти вековую историю оказался весьма глубоким и полезным

ми. В природе эти кристаллы крайне редки, но их можно создавать искусственно. Это доказано работами красноярцев и ученых всего мира.

Первые выводы о существовании данных структур с такими свойствами были сделаны при исследовании фазовых переходов несоизмерных кристаллов с размерами периодической решетки, равными длине волны света. Они были описаны и опубликованы в 1978 году (В. Шабанов, К. Александров, А. Втюрин). Далее исследование продолжили С. Ветров и П. Шкуряев. Окончательные результаты были изложены в монографии «Колебательная спектроскопия несоизмерных кристаллов» (С. Ветров, А. Втюрин, В. Шабанов). Эта работа была издана на десять лет раньше начала аналогичных исследований за рубежом.

Использование лазеров в молекулярной спектроскопии и разработка новой теории позволили обнаружить аналогичные явления в некоторых жидких кристаллах (И. Кабанов, В. Ермаков, С. Ветров). В 80-х годах терминология в этой области еще не сформировалась, и поэтому такие кристаллы называли по-разному — «полосатыми», «слоистыми», «кристаллами со сверхрешеткой». Сначала все исследования проводились в моногруппах — либо в твердых, либо в жидких кристаллах. Но в 1990 году впервые был теоретически рассчитан слоистый твердый кристалл с жидкокристаллической решеткой (А. Шабанов, С. Ветров). Эффект оказался неожиданным. Жидкокристаллическая решетка позволяла изменять некоторые параметры кристалла, что улучшало его динамические характеристики. Работа была опубликована в центральном издании.

Дальнейшие исследования слоистых структур с использованием жидкокристаллических композитов продолжили В. Зырянов, С. Сморгон, В. Пресняков, А. Баранник. Все работы красноярских ученых оказались предвестниками зарубежных исследований по фотонным кристаллам, и, похоже, что история с приоритетом первооткрывателей повторяется. Не исключено, что последствия научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в этой области физики будут сравнимы по значимости с созданием микроэлектроники в 60-х годах, и что материалы из фотонных кристаллов позволят создать оптические микросхемы, новые способы передачи данных, хранения и обработки информации. Неудивительно, что эта область исследований одна из самых горячих в крупнейших мировых научных центрах, гигантах высокотехнологичного бизнеса и на предприятиях военно-промышленного комплекса.

Юрий Машуков.
фото Олега Руденко («Лица Сибири»).