

Диагностика в терагерцовом диапазоне

В.Л. Вакс

Заведующий отделом терагерцовой спектроскопии, канд. физ.-мат. наук.

Редкий ИФМовец не использует в своих целях металлические стены института, размещая на канцелярских магнитах все, что может хоть как-то помочь плодотворной работе. Каких только любопытных вещей не встретишь в уютных кабинетах сотрудников ИФМ: галерея портретов великих физиков во главе с Эйнштейном, разнообразные схемы и диаграммы. Одну из стен кабинета В.Л. Вакса можно разглядывать бесконечно: на ней разместились причудливый коллаж из дорогих сердцу заведующего фотографий, открыток и прочих картин. Одна из самых важных фотографий висит прямо над его головой. На ней – Учитель.



В.Л. Вакс.

Я начинал работать в НИРФИ давно, когда пришел из армии. Моим наставником был Лев Исидорович Герштейн, металлург по образованию, фанатик радиотехники, радиофизики... Светлая голова. Для меня был просто праздник, когда он назвал меня своим учеником. Занимались мы спектроскопией высокого разрешения в субмиллиметровом диапазоне. Эти работы намного опередили время: программы по освоению терагерцового диапазона частот в мире начались лишь спустя 30 лет.

В ИПФ АН СССР впервые в мире был сделан субмиллиметровый синтезатор частоты, позволяющий проводить прецизионные измерения.

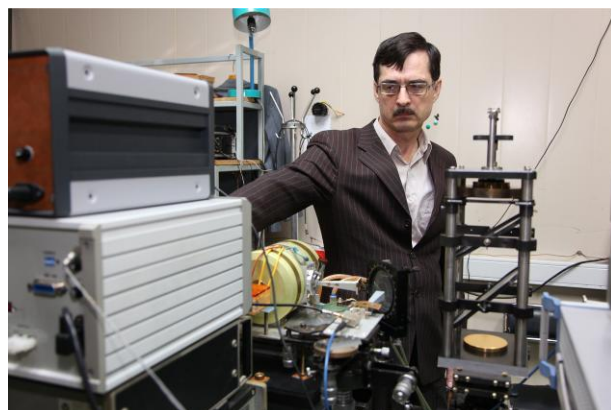
В 1980 году ученые из ИПФ АН СССР А.Ф. Крупнов и Л.И. Герштейн стали лауреатами Госпремии за создание методов субмиллиметровой спектроскопии на основе ламп обратной волны. Вскоре Лев Исидорович уехал в Америку. Я остался один с довольно большой группой исследователей, и мы начали новое направление – нестационарная спектроскопия терагерцового частотного диапазона.

Терагерцовый диапазон частот является очень привлекательным для спектроскопических исследований, поскольку в нем находятся наиболее сильные линии поглощения многих важных молекул. Качественный скачок в освоении недоступного ранее терагерцового диапазона частот произошел благодаря использованию полупроводниковых наноструктур – квантовых сверхрешеток, обладающих уникальными возможностями для смешения-умножения частоты

излучения. Нашим коллективом была разработана уникальная серия синтезаторов частот терагерцового диапазона с кварцевой стабильностью частоты, предназначенных для прецизионной спектроскопии, метрологии, коммуникационных систем. В основе разработки лежит применение гармонических смесителей на квантовых полупроводниковых сверхрешетках, обеспечивающих эффективное преобразование частоты в терагерцовом частотном диапазоне.

Химические задачи требовали повышения чувствительности, поэтому наша группа озаботилась созданием спектрометров с рекордной чувствительностью и разрешающей способностью. Был разработан ряд спектрометров на эффекте свободно затухающей поляризации в области частот 0,1–3 ТГц. Обнаружительная способность приборов по ряду основных молекул оказалась не хуже 1 ppb, спектральное разрешение ограничивается эффектом Доплера. С их помощью можно осуществлять анализ многокомпонентных газовых смесей в аналитической химии (когда возникает необходимость контролировать чистоту газов или наличие примесей в них), а также тяжелых металлоорганических молекул, таких как триметилгаллий, диметилкадмий. Наша работа была хорошо принята, ею заинтересовались немцы, купили пару спектрометров. Это направление мне представляется весьма перспективным, но постепенно мы его оставили – не было ни людей, ни особого интереса в институте.

Методы спектроскопии оказались незаменимыми при утилизации боевых отравляющих веществ. Емкости, в которых хранятся эти вещества, неизбежно разрушаются. Надо было научиться контролировать ПДК таких веществ в процессе уничтожения химического оружия. Мы изучили спектр люизита, обнаружили массу примесей и показали, что при сверхмалых концентрациях он гидролизует парами воды, которые всегда есть в атмосфере.



А.Н. Панин.

По мере того как промышленность и наука «замирали», приходилось искать новые сферы применения наших знаний. Удивительно, с какой стороны иногда приходят научные идеи! В одном из медицинских журналов я увидел сообщение: французские врачи обнаружили, что при раке почек человек «выдыхает» диоксид серы. Когда я это прочитал, был поражен. Это же наш калибровочный газ, изученный вдоль и поперек, мы его используем как эталон! Так были начаты исследования в области спектроскопии выдыхаемого воздуха.

С точки зрения спектроскопии, выдох человека может содержать несколько сотен газов, и по наличию тех или иных газов или их комбинации можно судить о состоянии человека. Сегодня диагностикой заболеваний по выдыхаемому воздуху занимается множество научных групп по всему миру, но в 90-е годы мы были в этом направлении одними из первых. Не сказать, чтобы эта работа была поддержана,

она вызывала скорее усмешки и шла с переменным успехом, интенсивнее, когда появлялись средства от продажи приборов. Время было такое.

Медики не интересовались этими вещами – они были еще беднее, чем физики... Но, несмотря на такие сложности, нами была разработана методика обнаружения сахарного диабета, а также контроля состояния больного при лучевой терапии, во избежание лучевых ожогов. Студентов и аспирантов, коих в институте всегда в изобилии, мы использовали как «условно здоровых» людей, а потом относительно них смотрели состояние пациентов до и после лучевой терапии и в результате обнаружили, что есть разница в их выдохе. Это было открытие.

Была проведена и интересная работа по анализу трансплантатов совместно с исследовательскими группами из Приволжского окружного медицинского центра и ИПФ РАН: оценка состояния почки и её пригодности для трансплантации осуществлялась по запаху самого органа и промывочной жидкости. В настоящее время исследовательская группа ИФМ РАН начинает работу по определению предраковых состояний желудка по выдоху, чтобы со временем можно было заместить такой диагностикой эндоскопию – достаточно неприятный для пациента метод исследования.

Все эти возможности практического применения спектроскопии кажутся почти фантастическими для российского человека. Я участвовал в крупном саммите в Парме, посвященном анализу выдыхаемого воздуха. Было приятно, что удалось угадать тенденцию. Но сколько же, оказалось, ученых в мире этим занимается: Польша, Германия, Финляндия, Штаты, Канада, даже Перу! Реальность такова: сейчас на Западе есть руководство для практических врачей, есть сенсоры, дело дошло до массового применения. Мы сделали методику обнаружения диабета, американцы по выдыхаемому воздуху успешно диагностируют наличие в крови сахара. У них хорошие биохимики и лаборатории, но нет универсального «электронного носа», а сенсоры дороги и требуют высокой квалификации.

В этой ситуации мы пытаемся свою нишу отстоять и на основе нашего спектрометра сделать «электронный нос», который был бы компактен и прост настолько, чтобы врач мог поставить его на стол, одной кнопкой включить и получить результат. Это задача, которую я бы хотел довести до конца. Чего бы это ни стоило, но надо сделать.

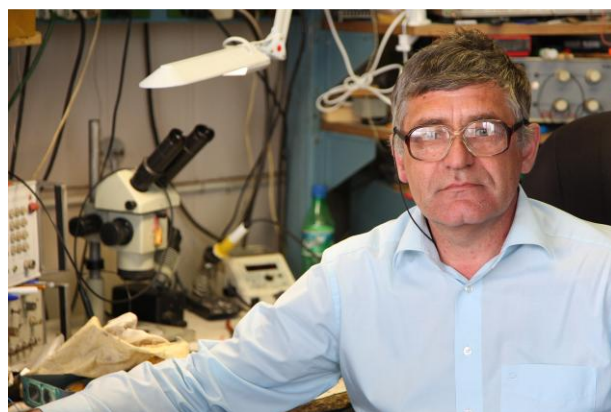
Есть и еще одно интересное применение спектроскопии – обнаружение взрывчатых веществ. Это направление также имеет совершенно определенное практическое приложение.

В традиционной для себя роли разработчика спектрометрического оборудования отдел участвовал в программе TELIS Европейского космического агентства по изучению загрязнения атмосферы. Изготовленный нами интегральный спектрометр на основе сверхпроводящего чипа размером 4x4 мм, созданного группой В.П. Кошельца (ИРЭ РАН), летал на стратостате по маршруту Швеция – Северный полюс – Канада и проводил оценку состояния воздушной среды: как ведет

себя озоновый слой, каковы его загрязнители и их концентрация. Нашим сотрудникам пришлось потратить много сил и времени, прежде чем был сделан полетный вариант этого прибора, так как ему предстояло работать в экстремальных условиях, на высоте около 30 км, и осуществлять жесткие посадки.

Планы на будущее у отдела вполне определенные. Мы впервые измерили с высоким разрешением спектр ДНК и дальше будем продолжать изучение белковых молекул. Продолжим работать в области медико-биологической спектроскопии и осваивать современные квантово-каскадные лазеры. На их основе пытаемся сделать стабильные источники излучения и спектрометры терагерцового частотного диапазона.

К сожалению, мы понесли довольно большие потери. Толковые ученые – Виктор Виленович Ходос, Александр Борисович Брайловский уехали в Штаты. С ними было очень легко работать: предлагаешь идею, а дальше они начинают думать сами. Такие люди нужны везде, им предлагают хорошие зарплаты. Я, конечно же, весьма дорожу своим коллективом. У нас сложилась сильная группа инженеров: А.Н. Панин, С.И. Приползин, С.А. Басов, А.В. Иллюк, В.Ю. Балакирев – всё это специалисты хорошего уровня. Имеется небольшая группа, которая занимается сверхпроводимостью под руководством А.Л. Панкратова. Сейчас они занимаются экспериментом – пытаются сделать шумовой источник на сверхпроводниках. Спектроскопические исследования обеспечивают Е.Г. Домрачева (измерения), М.Б. Черняева (расчеты спектров, анализ спектральных измерений), Е.А. Собакинская (именно она занимается спектроскопией ДНК, изучает шумовые воздействия на ДНК). Есть и перспективные студенты, надеюсь, они у нас задержатся надолго.



С.А. Басов.