

Обогнать, не догоняя

Указом Президента РФ доктор физико-математических наук Н.А. Винокуров, заведующий лабораторией Института ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН удостоен Государственной премии Российской Федерации в области науки и технологий 2009 года за вклад в разработку и создание лазеров на свободных электронах.

В тот же день Государственной премии Новосибирской области также удостоена группа сотрудников ИЯФ СО РАН (академики А.Н. Скринский и Г.Н. Кулипанов, кандидаты физико-математических наук В.В. Кубарев, О.А. Шевченко, М.А. Щеглов, кандидат технических наук В.М. Петров), участвовавших в разработке новосибирского лазера на свободных электронах. 15 июня новосибирские журналисты получили возможность побывать в Центре фотохимических исследований СО РАН, где расположена уникальная установка, и пообщаться с её создателями.

— Когда нам вручали Госпремию Новосибирской области, я сказал, что это для нас двойная радость, потому что Государственную премию России получил наш коллега Николай Александрович Винокуров, — с улыбкой говорит академик Г.Н. Кулипанов. — Я не встретил ещё ни одного человека, который не высказал бы радости по этому поводу. Это гордость всего Сибирского отделения, всего Академгородка, всей Новосибирской области.

Из представления на Государственную премию РФ

Николай Александрович Винокуров — известный специалист в области физики и техники лазеров на свободных электронах (ЛСЭ), автор 180 научных работ (150 опубликованы в международных изданиях). Благодаря его работам многие разработки в области ЛСЭ в России существенно опережали и опережают подобные исследования за рубежом.

Мировое признание приоритетного и определяющего вклада Н.А. Винокурова в физику и технику лазеров на свободных электронах выразилось в присуждении ему в 1991 г. международной премии за изобретение модификации ЛСЭ-оптического клистрона.

Н.А. Винокуровым выполнен цикл теоретических и экспериментальных работ, позволивших впервые в мире (1988 г.) создать в ИЯФ им. Г.И. Будкера ЛСЭ, работающий в ультрафиолетовом диапазоне длин волн.

В настоящее время Н.А. Винокуров является руководителем сооружаемой в ИЯФ им. Г.И. Будкера уникальной установки ЛСЭ на базе высокочастотного ускорителя-рекуператора.

Под водительством Николая Александровича мы отправляемся на экскурсию по установке. Лазер на свободных электронах (ЛСЭ) — это генератор когерентного (т.е. упорядоченного по фазе) электромагнитного излучения. Новосибирский ЛСЭ отличается от всех других генераторов тем, что в этом диапазоне длин волн столь мощных источников нет ни у кого в мире. Первая (запущена в 2003 году) и вторая (2009 г.) очереди данной установки обеспечивают генерацию лазерных пучков в субмиллиметровом диапазоне импульсной мощностью до 1 МВт и средней 500 Вт, что превышает зарубежные аналоги по средней мощности на два порядка и достаточно серьезно по пиковой.

«Сердце и пламенный мотор» ЛСЭ — высокочастотный ускоритель-рекуператор. Начинается установка с электронной пушки, задача которой предельно проста — сгенерировать мощный пучок. В её конструкции, естественно, тоже есть фирменные ИЯФовские «ноу-хау», но самое интересное начинается всё же потом.

Собственно лазер на свободных электронах состоит из двух узлов — ондулятора и оптического резонатора. Идея такова — пучок электронов пролетает через секцию со знакопеременным магнитным полем. Под действием этого поля электроны вынуждены лететь не по прямой, а по некоей синусоидальной, волнообразной траектории. Отсюда и название — ондулятор, попросту говоря, «завиватель». Совершая это виляющее движение, релятивистские электроны излучают свет, который по прямой попадает в оптический резонатор, представляющий собою толстую трубу, внутри которой — сумасшедший вакуум (10^{-10} миллиметров ртутного столба). На противоположных концах трубы — два массивных медных зеркала. По пути от зеркала к зеркалу и обратно свет набирает приличную мощность, часть которой выводится к потребителю. Электроны же, отдавшие энергию в электромагнитное излучение, разворачиваются через систему поворотных магнитов, возвращаются в ВЧ-резонаторы и там тормозятся. После этого их остается только собрать в поглотителе. Процесс этот называется рекуперацией энергии пучка. Благодаря ему сильно снижается радиационная опасность установки — в ускорительный зал можно заходить сразу же после отключения электронной пушки. Безопасность заложена в конструкции.

Тут необходимо сделать отступление. Николай Александрович Винокуров заслуженно признан крупнейшим в мире специалистом по ондуляторам, но по природной скромности не слишком об этом распространяется. За разработку ондуляторов на постоянных магнитах в 1995 году он был удостоен в США премии им. А. Комп-



тона. Н.А. Винокуров была предложена и теоретически обоснована общепринятая сейчас схема рентгеновского ЛСЭ с секционированным ондулятором, реализованная им в Аргоннской национальной лаборатории (США). Успешный запуск в апреле 2009 г. первого в мире рентгеновского ЛСЭ в Стэнфорде (США) во многом определялся высоким качеством ондуляторов, в разработке которых непосредственное участие принимал Н.А. Винокуров. В настоящее время он участвует в проекте по созданию европейского рентгеновского ЛСЭ (XFEL), где Россия играет одну из ведущих ролей. Под его руководством создан компактный субмиллиметровый ЛСЭ для Корейского института атомной энергии (по мнению одного из экспертов — самый малогабаритный ЛСЭ в мире).

Что интересно, ондуляторы для лазера на свободных электронах делают у нас в Экспериментальном производстве ИЯФ, но постоянные магниты для них закупают в Китае. С одной стороны, там магниты дешевле, чем в Европе, с другой — специалисты ИЯФ отлично умеют их сортировать. Поэтому можно купить магниты с большим разбросом намагниченности, отобрать нужные, а оставшиеся всё равно для какой-нибудь работы пригодятся. Опять-таки, есть положительный опыт. Недавно ИЯФ сделал из тех самых китайских магнитов большие вигглеры-затухатели для немецкого накопителя Petra-3. Немцы очень довольны.

Ускоритель один на обе очереди ЛСЭ, но работает в двух режимах. В частности, та модификация, которая даёт пучок на вторую очередь, на самом деле, в некотором смысле представляет собой новый класс ускорителей — многодорожечный (пока двух-, а потом, на третьей очереди, будет четырёхдорожечный) ускоритель-рекуператор. Такого тоже пока ни у кого в мире нет. «Этот ускоритель-рекуператор заработал два года назад, — рассказывает Н.А. Винокуров. — Год назад мы получили на второй очереди лазера на свободных электронах излучение и в этом году вывели его пользователям. Пару смен поработали «в пристрелочном режиме», чтобы понять, что и вправду на пользовательские станции излучение идёт, параметры этого излучения измерить аккуратно. Вторая очередь отличается тем, что излучение из второго ЛСЭ более коротковолновое, поэтому наши коллеги могут использовать на одних и тех же станциях и излучение первой очереди, и более коротковолновое излучение второй очереди. Теперь, когда установка не работает на пользователей, как сейчас, мы открываем зал и монтируем третью очередь».

Пользовательские станции, которых сегодня шесть, находятся на втором этаже здания за пределами уско-

рительного зала, где в период работы ЛСЭ находится нельзя. Излучение выводится наверх по трубам, заполненным сухим азотом. Сухость — требование обязательное, потому что пары воды очень сильно поглощают излучение. Уникальную систему осушения азота в канале вывода создал Михаил Александрович Щеглов. Он же обеспечил необходимые параметры пучка электронной пушки ЛСЭ и руководил монтажом всей установки. Виталий Владимирович Кубарев рассчитал и спроектировал оптические резонаторы и систему вывода излучения ЛСЭ, создал аппаратуру для измерения его параметров. Олег Александрович Шевченко разработал теоретические методы для расчёта и оптимизации параметров ЛСЭ. Под руководством Виктора Михайловича Петрова была спроектирована и запущена одна из самых сложных систем ЛСЭ — высокочастотная. Александр Николаевич Скринский и Геннадий Николаевич Кулипанов — идеологи и руководители создания лазеров на свободных электронах в ИЯФ. Вклад каждого из наших лауреатов в общую победу весом и неоспорим.

Корпус, где расположен лазер на свободных электронах, предоставил Институт химической кинетики и горения СО РАН. Это здание имеет, наверное, 100-кратный запас прочности по радиационной защите. Подумать страшно, если бы в нынешних условиях пришлось ещё и строить с нуля цикла — конец этой эпопеи довелось бы увидеть не скоро. Но уже встаёт проблема расширения. «В этот зал мы вписались, хотя он и очень узкий, — говорит Н.А. Винокуров. — Но пользователям места маловато. Самое простое решение, и мы его даже рисовали к приезду какого-то начальства — параллельно этому зданию построить ещё примерно такого же размера корпус под пользовательские станции и помещения лабораторий. Нужны только средства».

Чем же так хорош лазер на свободных электронах? Во-первых, он способен давать мощное монохроматическое (т.е. с одной длиной волны) излучение. Во-вторых, он может длину волны менять. Последнего другие лазеры не могут — каждый работает в своём диапазоне. А химикам, к примеру, интересны разные длины волн, потому что молекулы-то тоже разные. Эти молекулы нужно в резонанс раскачивать, а у каждой — своя резонансная длина волны. Где на всех лазерах наберётся? Поэтому сегодня лазерная фотохимия вынуждена подстраивать свои эксперименты под возможности имеющихся в наличии лазеров, в то время как лазер на свободных электронах сам настраивается на потребности эксперимента. В зависимости от энергии электронов, от периода ондулятора, от поля в магнитах, что в ондуляторе стоят, оператор может менять длину волны излучения, на что требуется около 10 минут. Перед лазерной фотохимией открываются ошеломляющие перспективы.

В частности, излучение этой установки использовано биологами для разработки нового метода исследования сложных молекулярных систем — метода «мягкой абляции». Вследствие малой (0,01 эВ) энергии квантов данное излучение позволяет переводить в аэрозольную фазу (наночастицы в газе) полимеры, сложные кластеры и биологические макромолекулы без их разрушения. Последние при этом сохраняют свою биологическую активность. Исследования в этом направлении продолжают и уже выходят на практическое приложение.

Для химиков открывается возможность очень экономного с энергетической точки зрения управления реакциями. А разделять изотопы уже сегодня можно если и не тоннами, то в очень приличном количестве.

Физики занимаются исследованием метаматериалов — искусственных материалов, которые обладают в определенном диапазоне длин волн отрицательным показателем преломления, становясь полностью невидимыми. В радиодиапазоне метаматериалы уже хорошо изучены, сейчас исследования ведутся в терагерцевой области.

Уже несколько лет результаты, полученные в Центре фотохимических исследований, фигурируют в годовых отчётах и Сибирского отделения, и всей Академии наук.

— Сейчас мы должны запроектировать новые линии для вывода излучения потребителям из третьей очереди, — делится планами Н.А. Винокуров, — спроектировать, изготовить их в нашем ИЯФовском Экспериментальном производстве. Это тоже большая работа. Я всегда говорю себе: у нас работа не временная, а постоянная. Всегда нужно сделать что-то ещё! Тем не менее, есть возможность, как говорил Будкер, обогнать заграницу, не догоняя.

Юрий Плотников, «НВС»
На снимке В.Новикова:

— Н.А. Винокуров ведёт экскурсию по новосибирскому ЛСЭ.