

**К 85-летию со дня рождения академика
Бориса Борисовича КАДОМЦЕВА**

«У природы нет полного детерминизма, она не работает ни по квантовой механике, ни по классической механике, внутри нее запрятаны случайные процессы. Отсутствие детерминизма — это наше счастье, потому что мы живем в живом, развивающемся мире, а не в том, который мог бы быть предсказан с помощью каких-то уравнений».

A handwritten signature in black ink, which appears to read "Boris Kadomtsev". The signature is written in a cursive, flowing style.

Академик Борис Кадомцев

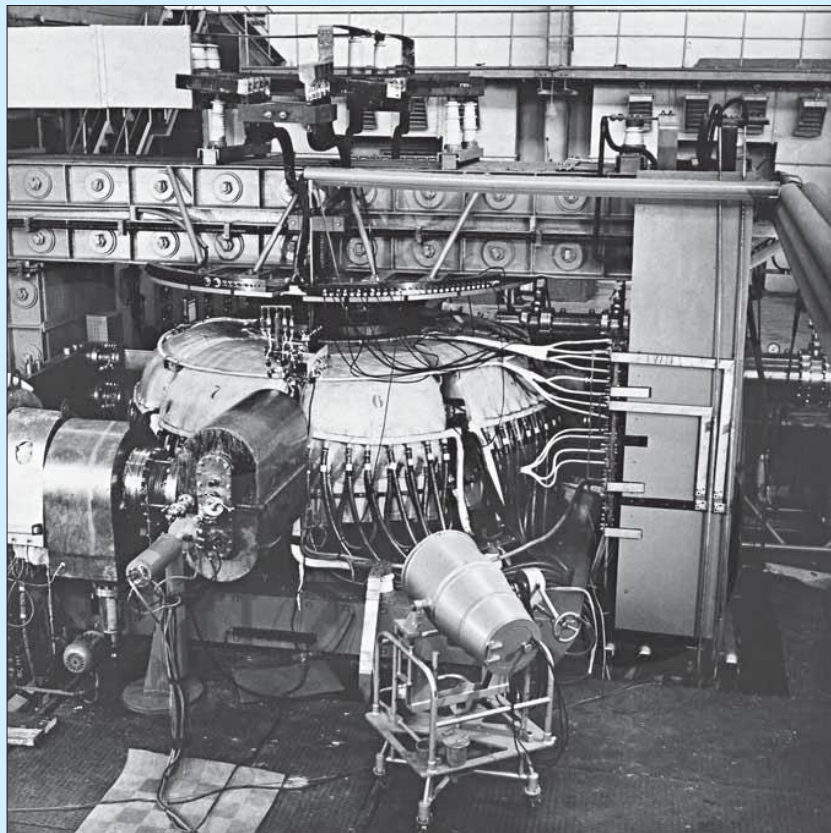
ДРАГОЦЕННЫЕ ПЛОДЫ ЕГО ТАЛАНТА

Марина ХАЛИЗЕВА,
обозреватель журнала «Наука в России»

В ноябре 2013 г. термоядерное сообщество отметило 85-летие со дня рождения академика Бориса Кадомцева (1928–1998). Лауреат Государственной (1970 г.) и Ленинской (1984 г.) премий, Борис Борисович является одним из основоположников современной теории высокотемпературной плазмы и управляемого термоядерного синтеза (УТС). Работы Кадомцева в этой области принесли ему заслуженное мировое признание и сделали лидером отечественной теоретической школы физики горячей плазмы. Он входил в когорту выдающихся ученых, разработавших и реализовавших под руководством академика Льва Арцимовича концепцию так называемых стационарных систем с тороидальным магнитным полем — широко известных теперь токамаков.

Детские и юношеские годы Бориса Борисовича прошли в Пензе. Всегда тяготевший к естественным дисциплинам, он, с отличием окончив среднюю школу, в 1946 г. поступил на физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова. Под влиянием профессора Игоря Арнольда, читавшего лекции по математике, сначала пришел на кафедру теоретиче-

ской физики, а затем перешел на кафедру строения вещества, готовившую специалистов по атомной тематике. В 1951 г., блестяще пройдя все ступени университетского образования, Кадомцев стал сотрудником Физико-энергетического института (г. Обнинск Калужской области) и четыре года трудился там под руководством члена-корреспондента АН



**Установка Т-3 (1962 г.)
в Институте атомной энергии
им. И.В. Курчатова,
на которой впервые в мире
получили управляемую термоядерную
реакцию синтеза.**

СССР Дмитрия Блохинцева над теоретическими проблемами ядерной энергетики. Эти работы легли в основу его кандидатской диссертации, защищенной в 1954 г.

Стремясь расширить кругозор, Борис Борисович начал посещать знаменитые семинары автора классического курса теоретической физики академика Льва Ландау, ставшие для него важнейшим источником информации о новостях науки. А в 1955 г. в составе небольшой группы теоретиков Обнинска принял участие в работе Всесоюзного совещания по термоядерным исследованиям, организованного научным руководителем советского уранового проекта академиком Игорем Курчатовым*, где собрался весь цвет атомной науки. Это событие, можно сказать, перевернуло его жизнь. «Все началось с энергичного напористого выступления И.В. Курчатова, — писал Кадомцев в книге «Академик М.А. Леонтович. Ученый. Учитель. Гражданин», — в котором он проводил мысль, что для решения проблемы управляемого термоядерного синтеза требуются не только новые идеи, новые подходы, но и более широкое вовлечение свежих научных сил для массивного наступления на эту грандиозную и ключевую, важ-

*См.: Е. Велихов. Гордость российской науки; В. Сидоренко. Зачинатель атомной энергетики Советского Союза; Ю. Сивинцев. Несколько незабываемых встреч; Р. Кузнецова, В. Попов. Научное наследие академика Курчатова. — Наука в России, 2012, № 6 (прим. ред.).

нейшую для будущего человечества научно-техническую проблему... Весь семинар в целом произвел на меня огромное впечатление, и я твердо решил, что физика высокотемпературной плазмы является самой интересной областью физики. Я стал вынашивать планы перейти в ЛИПАН*».

Спустя год после совещания по УТС Кадомцев оказался в теоретическом секторе академика Михаила Леонтовича, ученого редкой и всесторонней эрудиции, сыгравшего исключительную роль в успешном развитии в нашей стране физики высокотемпературной плазмы и воспитании талантливой молодежи. В этот коллектив, где работали молодые теоретики Виталий Шафранов, Станислав Брагинский, Владимир Коган, Борис Трубников, Дмитрий Сивухин, только-только начинавшие «вскрывать пласты богатейшей новой области — физики плазмы», Кадомцев вошел органично. Здесь он обрел своих единомышленников, здесь рождались его смелые замыслы, здесь он получил благодатную среду для их воплощения. В первые же годы ему удалось выполнить ряд

*В 1943 г. для решения атомной проблемы распоряжением АН СССР была создана Лаборатория № 2. В 1949 г. по предложению Курчатова ее переименовали в Лабораторию измерительных приборов АН СССР — ЛИПАН, а в 1956 г. — в Институт атомной энергии АН СССР. После смерти Игоря Васильевича (1960 г.) институт стал носить его имя. В 1991 г. он был преобразован в Российский научный центр «Курчатовский институт», а в 2009-м — в Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (прим. ред.).



Во время пуска крупнейшей в мире термоядерной установки Т-10 (Борис Кадомцев в центре). 1975 г.

пионерских исследований по теории токово-конвективной неустойчивости плазмы в тлеющем разряде и конвекции плазмы в осесимметричной открытой ловушке. Эти работы, по словам академика Виталия Шафранова, «стали этапными в проблеме УТС, так как они развенчали жупел «бомовской» диффузии* плазмы в магнитном поле, казавшейся в то время универсальной и неизбежной, не оставлявшей надежды на техническую реализуемость термоядерного реактора».

Тогда же Кадомцев сделал первые шаги в объяснении явления «самоорганизации» сильно неравновесной плазмы при непрерывном введении в нее энергии. Результаты этих поисков, доложенные на Первой международной конференции МАГАТЭ по УТС и физике плазмы (1961 г., г. Зальцбург, Австрия), принесли ему мировую известность. А после проведенного в начале 1960-х годов цикла работ по теории коллективных процессов в высокотемпературной плазме, обобщенных в монографии, Борис Борисович стал одним из крупнейших специалистов в новой актуальной области коллективных явлений. В 1961 г. он защитил докторскую диссертацию, а в 1962 г. был избран членом-корреспондентом АН СССР.

В середине 1960-х годов центр научных интересов ученого переместился в сторону изучения различных типов неустойчивости плазмы в тороидальных системах — токамаках и стеллараторах**. В актуальной для

*Бомовская диффузия — аномально быстрый процесс выравнивания концентрации частиц плазмы в направлении, перпендикулярном силовым линиям внешнего магнитного поля. Впервые на основе эмпирических данных описан в 1949 г. американским физиком Дэвидом Бомом (прим. ред.).

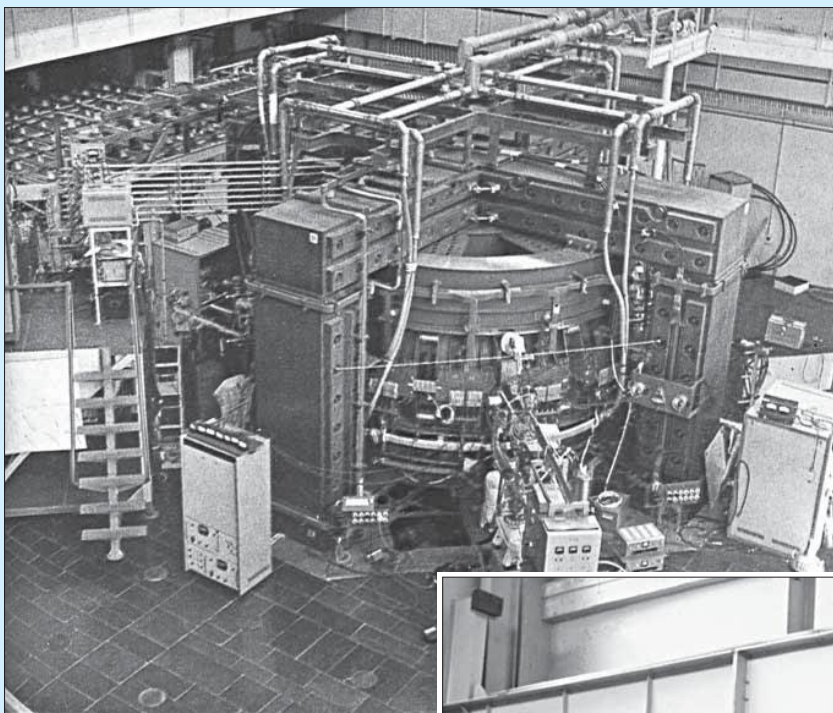
**Стелларатор — ловушка с замкнутыми магнитными поверхностями. Но в отличие от токамака, образующее ее полоидальное магнитное поле создается током во внешних витках. Идею такой установки выдвинул в 1951 г. американский физик Лайман Спитцер (прим. ред.).

того времени работе «Об удержании плазмы в тороидальных ловушках с разрушенными магнитными поверхностями» (1967 г.) он сделал вывод о том, что при выборе инструмента для дальнейших опытов предпочтение надо отдать токамакам*, так как в них технически проще создать замкнутые магнитные поверхности. Таким образом, как не раз подчеркивал Шафранов, он первым сформулировал идею технической реализуемости термоядерного реактора на основе токамака, что стимулировало тогдашнего руководителя советской программы УТС академика Льва Арцимовича** к активизации экспериментальных исследований по этим системам и, в конечном счете, привело к их мировому признанию. Токамаки, концептуально сформулированные нашими учеными, стали появляться во всех странах, где занимались управляемым термоядерным синтезом. Но первую в мире термоядерную реакцию получили в 1970 г. в отделе плазменных исследований Института атомной энергии им. И.В. Курчатова на отечественном токамаке Т-3. Тогда же Кадомцева избрали действительным членом АН СССР.

У Бориса Борисовича как у сильного физика был свой, особый «почерк» в работе. В этом смысле интересны наблюдения работавшего рядом с ним доктора физико-математических наук Юрия Днестровского, которыми он поделился на одном из институтских ученых советов. «Отношения Кадомцева с вычислительной техникой, по моим представлениям, были сложными, — заметил Юрий Николаевич. — Он, конечно, не отрицал необходимость решения труд-

*См.: В. Стрелков. Создатель токамака. — Наука в России, 2012, № 4; М. Хализева. Судьба и магия таланта. — Наука в России, 2013, № 3 (прим. ред.).

**См.: Е. Велихов. Термоядерное горение; В. Стрелков. Царского пути в термояде нет; М. Петров. О таланте судят по трудам. — Наука в России, 2009, № 1 (прим. ред.).



Сегодня программа на Т-10 тесно связана с созданием Международного экспериментального термоядерного реактора ИТЭР.

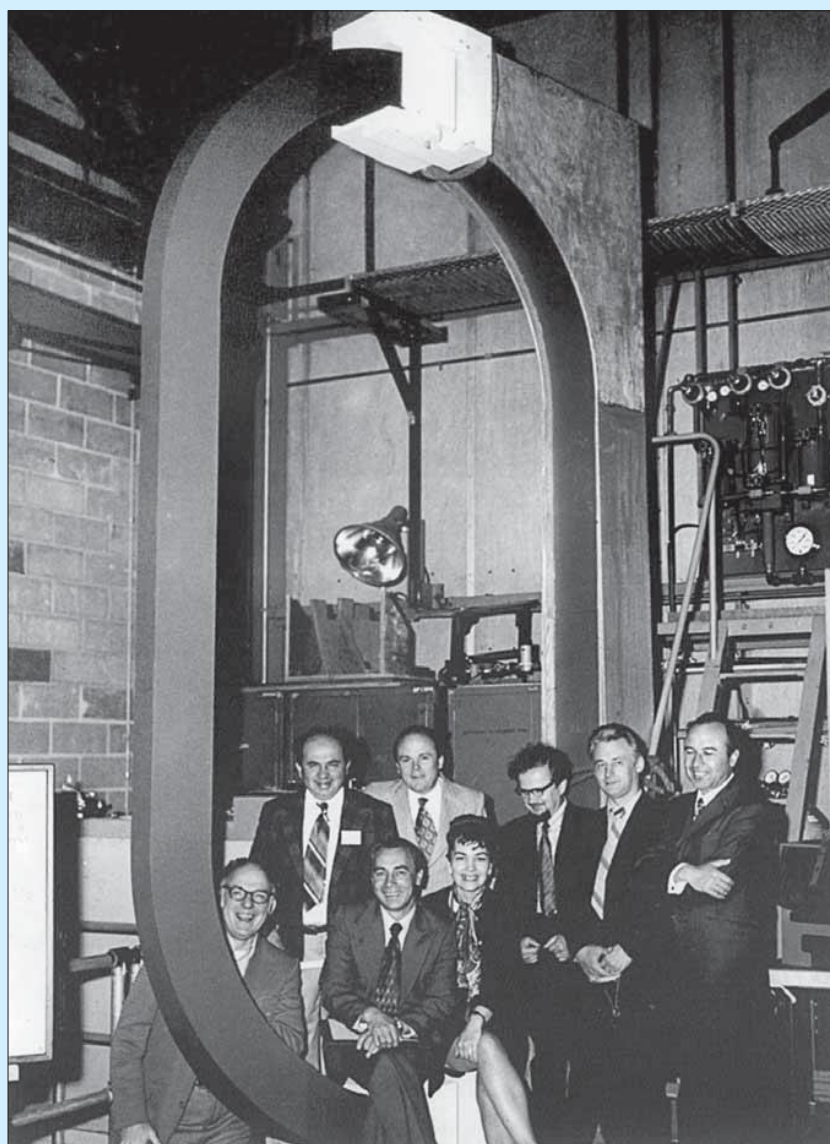


Генеральный директор МАГАТЭ Ханс Бликс на токамаке Т-10. Слева направо: Борис Кадомцев, Евгений Велихов, Ханс Бликс, Николай Семашко, Георгий Елисеев. 1978 г.

ных задач с помощью ЭВМ, но сам этим практически никогда не пользовался. Он старался выделить простейшую модель и обобщить ее на процессы, которые происходят в плазме. Т.е. он видел ответ, а потом строил алгоритм, модель, чтобы добраться до истины более или менее разумно. Не всегда промежуточные стадии можно было объяснить, но финал неизменно оказывался правильным».

Особенно ярко творческая индивидуальность Кадомцева проявилась в 1970-х годах на этапе развития проблемы УТС, связанном с нагревом и удержа-

нием плазмы в токамаке. Энергия, напор, с которыми он брался за объяснение закономерностей, обнаруженных в эксперименте, глубина анализа, умение выделить главное, суть, наглядно, выпукло показать ее и теоретически описать, пользуясь простым, но вполне адекватным аппаратом, выдавали в нем, по мнению многих коллег, «страстного исследователя». К этому периоду относятся его работы «О неустойчивости срыва в токамаках» и «Токамаки и анализ размерностей» (1975 г.), дающие ключ к пониманию опасных для реактора явлений.



**В Принстонской лаборатории
физики плазмы (США)
на монтажной площадке токамака PDX.**

При этом, заметим, глубокую, пытлиую натуру Кадомцева не удовлетворяло изучение одной, хотя и весьма увлекательной области физики. В 2003 г. в издательстве «Физматлит» при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований вышел в свет двухтомник «Избранных трудов» Бориса Борисовича, где показана вся широта его научных интересов. В собрание включены не только известные работы ученого по физике высокотемпературной плазмы и УТС, но и его труды по квантовой механике, поведению вещества в сверхсильных магнитных полях, теории нелинейных и стохастических процессов, солитонов и шаровой молнии. В 1997 г. Кадомцев выпустил монографию «Динамика и информация», посвященную тонкой связи детерминированного поведения динамических систем с информацион-

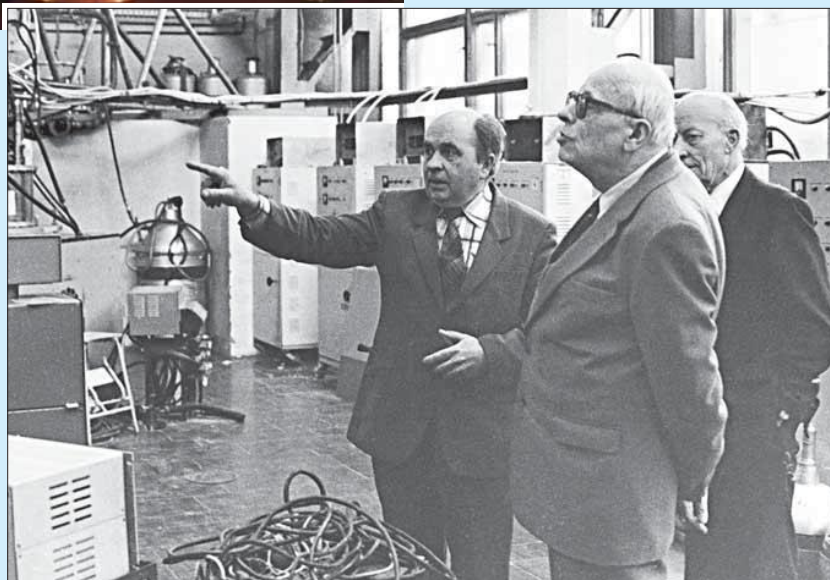
ными процессами (проблема имеет приложение к разработке принципов построения и функционирования квантовых компьютеров). Книга оказалась настолько актуальной, что через два года ее вновь переиздали вдвое большим тиражом, практически сразу разобранным «вдумчивыми читателями» (так Борис Борисович любил говорить о людях, склонных замечать новое, сосредоточенно мыслить и глубоко вникать в тему).

Но если к таким нетривиальным областям современной науки Кадомцев обращался sporadически, то интерес к физике плазмы оставался живым на протяжении всей его жизни.

В середине 1970-х годов эксперименты на токамаках показали реальную возможность получения в таких системах горячей плазмы с необходимыми



Лидеры национальных термоядерных программ. Слева направо: Р. Пиз (Великобритания), Б. Кадомцев (Россия), Т. Окава (США), Е. Велихов (Россия), Г. Григер (ФРГ), Д. Рютов (Россия). 1981 г.



С академиком Андреем Сахаровым, заложившим теоретический базис исследований по УТС и физике плазмы, в Институте атомной энергии им. И.В. Курчатова. 1987 г.

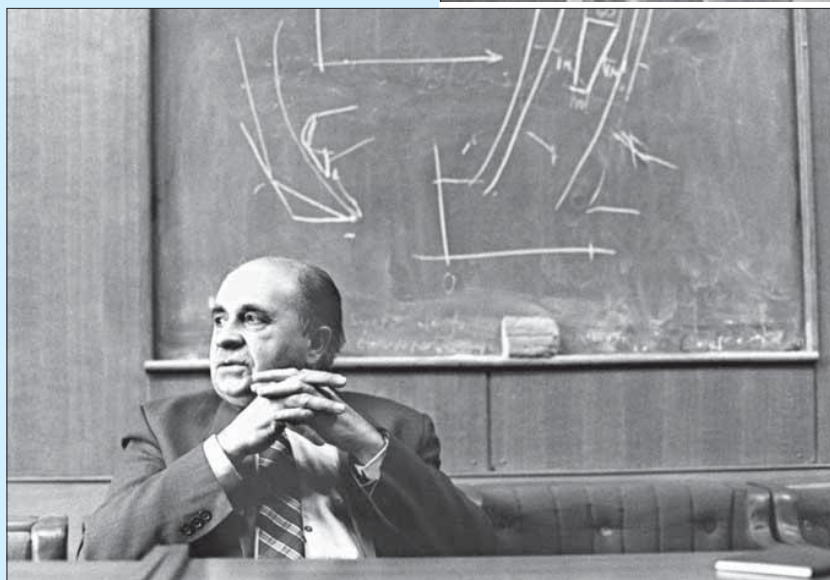
реакторными параметрами. И на первый план выдвинулась задача создания на их основе экспериментального реактора, который подтвердил бы практическую возможность получения термоядерной энергии и решил основные инженерные проблемы будущей промышленной установки. Не все верили в техническую осуществимость этих замыслов. Кадомцев оказался по другую сторону баррикады — среди оптимистов, хотя прекрасно понимал: дорога к овладению термоядерной энергией будет сложной, и она потребует усилий многих специалистов, в том числе занимающихся фундаментальными исследованиями. Не случайно именно он стал физическим руководителем инициированного нашей страной проекта сооружения первого в мире термоядерного экспериментального реактора, получившего впоследствии звучную аббревиатуру

ИТЭР*. Как считает председатель правления Международной программы создания ИТЭРа академик Евгений Велихов, «без его авторитета нам было бы очень трудно сделать шаг от чистой физики в сторону энергетики».

Десять лет шло формирование международного коллектива для реализации проекта и десять лет не стихали споры вокруг него: наука это или энергетика? Точку в вопросе поставили... политики. Соглашение о разработке ИТЭРа было достигнуто в 1985 г. на встрече президентов СССР и США Михаила Горбачева и Рональда Рейгана, в 1988–1990-х годах силами российских, американских, японских и европейских

*См.: В. Глухих. На пороге термоядерной эры. — Наука в России, 2003, № 3; Л. Голубчиков. Токамак — интернациональный проект. — Наука в России, 2004, № 1; Л. Смирнова. Открытия на Большом адронном коллайдере. — Наука в России, 2013, № 1 (прим. ред.).

**Академики Борис Кадомцев
и Евгений Велихов. 1991 г.**



На семинаре.

ученых и инженеров прошла концептуальная, а в 1992–1998-х — инженерная проработка проекта. На всех стадиях он подвергался опасности с разных сторон, однако его удалось провести между Сциллой и Харибдой в значительной степени благодаря усилиям признанного эксперта по физике токамаков Кадомцева. Борис Борисович был первым председателем Международного научно-технического консультативного комитета ИТЭРа, и это помогало в решении иногда тупиковых вопросов. Особенно сложными были 1990-е годы, совпавшие с колоссальным обвалом финансирования в нашей стране. Россия смогла внести в общую копилку на инженерной стадии только 3% (вместо 25%) от оговоренной соглашением суммы. Тем не менее научно-технический комитет пошел навстречу, понимая, что реально интеллектуальный вклад наших специалистов в термоядерную

программу если не превосходит, то, по крайней мере, соизмерим с вкладом других участников проекта. Темы интеллектом таких ученых, как Кадомцев, «расплачивались» за недостаток финансирования.

Сегодня человечество как никогда близко подошло к решению проблемы овладения термоядерной энергией в мирных целях: с 2006 г. на юге Франции в Кадараше усилиями международной коалиции (Евросоюз, Индия, Китай, Россия, США, Южная Корея и Япония) идет строительство ИТЭРа — продукта многолетней и многотрудной деятельности мирового термоядерного сообщества вообще и Кадомцева в частности. Первые эксперименты с плазмой запланированы на 2019 г., проведение полноценных опытов — на 2027 г.

Плодотворную научную деятельность Борис Борисович сочетал с преподавательской в Московском

физико-техническом институте и относился к ней как к высокому долгу. В течение длительного времени Кадомцев заведовал кафедрой физики плазмы факультета физической и молекулярной химии. Через его блестящие лекции, в которых он стремился с предельной ясностью изложить теоретические основы сложной науки, прошли многие из тех, кто сегодня составляет «ударную» силу плазменного направления. На их основе в 1976 г. в издательстве «Наука» вышла книга «Коллективные явления в плазме», переведенная в 2001 г., уже после смерти Кадомцева, на английский язык в двадцать втором томе знаменитой серии «Reviews of Plasma Physics», основанной академиком Михаилом Леонтовичем.

Студентам и старшим школьникам адресована его книга «На пульсаре» (2001 г.), описывающая физику необычных нейтронных звезд — пульсаров. Представленная в форме бесед, она, скорее, относится к научно-популярной литературе. Ее англоязычное издание (2010 г.) вошло в круг чтения членов Американской ассоциации учителей физики. В 2013 г. благодаря стараниям известного итальянского астронома Росолино Бучери книга вышла на итальянском языке.

Еще одной заметной формой активности Бориса Борисовича была работа главным редактором уважаемого отечественного журнала «Успехи физических наук». Ответственный секретарь издания Мария Аксентьева рассказывала, как Кадомцев трепетно относился к авторам и авторским работам. Никто и никогда не слышал от него негативных суждений в их адрес. Лишь однажды из его уст прозвучала фраза: «Редкая, говорят, каналья» — и это была самая «грубая» характеристика, которую за 10 лет произнес главный редактор. Обычно от него исходила доброжелательность. «Знакоположительный человек», — говорил он о людях, которые были ему симпатичны.

Может показаться, что Борис Борисович — баловень судьбы, которому удивительно везло. Однако в действительности судьба его складывалась трудно. На протяжении многих лет жизнь как будто проверяла его на прочность, но он с достоинством выдерживал все испытания. Дело в том, что по своей натуре — по тому, что дано свыше, — Кадомцев относился к ученым кабинетного стиля, взаимодействующим с небольшим числом единомышленников и учеников. Он не был прирожденным руководителем, виртуозно управляющим массами, не добивался внешних почестей, не стремился играть какую-то роль, не гнался за славой. Тем полнее и богаче была его внутренняя жизнь — истинного ученого и глубокого мыслителя, благородного, необычайно преданного науке человека, до последних дней сохранявшего «жадность познания».

Однако в 1973 г., после смерти руководителя отдела плазменных исследований (впоследствии Института ядерного синтеза) Льва Арцимовича, он взвалил на себя (по воле обстоятельств) ношу управления большим коллективом, где, по сути, шло формирование

всей отечественной программы термоядерных исследований. По мнению соратника Бориса Борисовича Юрия Днестровского, это входило в противоречие с его характером и складом ума. Тем не менее он добросовестно выполнял эти обязанности, понимая меру лежащей на нем ответственности. Не подлежит сомнению, что Кадомцев как руководитель сыграл важную роль в дальнейшем развитии плазменного направления, подпитывая его своими свежими идеями, а также в формировании основного принципа Курчатовского института, подразумевающего баланс между фундаментальной и прикладной наукой. Как подчеркивал Евгений Велихов, «Борис Борисович, глубоко понимавший философию науки, внутренние законы ее развития, ориентированность на некоторую прикладную миссию, поддерживал этот дух в институте, благодаря чему Курчатовский центр сумел пережить трудные годы политических и экономических реформ в стране».

В то время Кадомцев завязал многочисленные кооперативные связи, расширяющие круг исследовательских программ в Институте атомной энергии. Например, по его инициативе был создан отдел, где помимо инженерно-физических аспектов термоядерного реактора анализировали возможность создания гибридных установок, использующих для выработки энергии не только реакции синтеза легких ядер, но и деления.

Борис Борисович отдавал организаторским, а часто и хозяйственным делам много времени, но его все меньше и меньше оставалось для научного поиска, без которого он не мыслил своего существования. Совмещение, по признанию коллег, тяготило его. Особенно это чувствовалось после развала Советского Союза. Он тяжело переживал потерю научного потенциала в начале 1990-х, когда многие талантливые специалисты, работавшие рядом с ним, его ученики, начали «рассеиваться» по земному шару (просто не было возможности их обеспечивать жизненными условиями). Груз ответственности, который он нес и от которого в силу порядочности не мог отказаться, стремление к индивидуальной творческой работе и бессилие сделать что-нибудь для своего коллектива в реформенные годы — эта ошибка разных стрессов в немалой степени послужила причиной его преждевременной смерти. Поэтому для многих Кадомцев останется в истории не только как выдающийся физик-теоретик, но и как человек, совершивший внутренний моральный подвиг.

*Фото из архива Института физики токамаков
НИЦ «Курчатовский институт»*