

УВАЖАЕМЫЙ ЧИТАТЕЛЬ  
ПРОСМОТРЕВ ЖУРНАЛ  
ПОСТАВЬТЕ № ЧИТ. БИЛЕТА

тип. ГПНТБ, в. 542, т. 40 тыс. 1895.

КО Дар 12.12.08 ЮИ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ



ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ  
РОССИЙСКОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Материалы научной сессии Президиума Сибирского  
отделения РАН 24 февраля 2005 года, Новосибирск

Выпускные редакторы:  
к.т.-н. В. М. Зародков  
В. К. Жукова  
А. А. Вандулина

18  
187 П



НОВОСИБИРСК  
ИЗДАТЕЛЬСТВО СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
2005

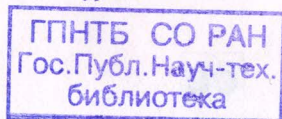
**Проблемы развития российской энергетики: Материалы научной сессии Президиума Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск, 24 февр. 2005 г.** — Новосибирск: Издательство СО РАН, 2005. — 226 с.

Доклады и выступления на научной сессии Президиума СО РАН 24 февраля 2005 года.

В сборник не вошли сообщения ак. А. Э. Конторовича, ак. В. Е. Накорякова и д. х. н. В. А. Собянина, так как доклады не представлены авторами.

Ответственные за выпуск:

к. г.-м. н. В. М. Задорожный  
В. К. Жидкова  
А. А. Валиуллина



ISBN 5-7692-0762-0

© Президиум СО РАН, 2005  
© Издательство СО РАН, 2005

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО  
А. И. А. Давыдов, Вице-президент РАН,  
Президиум Сибирского отделения РАН

**МАТЕРИАЛЫ НАУЧНОЙ СЕССИИ  
ПРЕЗИДИУМА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН  
24 февраля 2005 года,  
Новосибирск**

Ак. Э. П. Кругляков

*Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН,  
Новосибирск*

Насколько я понимаю, я единственный докладчик, который будет представлять не существующую сегодня и в ближайшем будущем энергетику. План изложения у меня такой. Я хотел бы сначала рассказать немного об истории возникновения термояда, проследить основные вехи, пути термоядерных исследований, указать, где мы сейчас находимся, ну, и каковы перспективы на будущее.

Академик Л. А. Арцимович, который внес крупнейший вклад в развитие термоядерных исследований в стране, как-то заметил, что за всю историю естествознания физики еще ни разу не сталкивались с проблемой, сопоставимой по сложности с проблемой управляемого термоядерного синтеза (УТС).

Сегодня отношение к термояду разное. Есть люди, которые считают, что термоядом вообще уже не надо заниматься — сколько можно? 50 с лишним лет прошло, и ничего нет, и непонятно, когда будет. Есть другие люди, которые оценивают это дело несколько иначе. В частности, академик В. Л. Гинзбург перед самым началом этого столетия, перечисляя важнейшие проблемы современности, поставил на первое место как раз проблему управляемого термоядерного синтеза. Так что есть разные точки зрения на этот счет. Я сторонник того, что термоядерные исследования надо развивать. И попытаюсь это обосновать.

Начну с «древней» истории начала двадцатого века. Замечу прежде всего, что термояд, как, впрочем, и ядерная энергетика, базируется на эйнштейновском дефекте масс — превращении массы в энергию. Первое упоминание о термояде относится к 1928 г. Р. Аткинсон и Ф. Хоутерманс опубликовали статью, в которой впервые высказали идею, что, по-видимому, в звездах и на Солнце идут термоядерные реакции, и это есть источник энергии. Еще одним автором, пришедшим к аналогичному выводу, был Г. Бете, который

потом получил Нобелевскую премию за развитие углеродного цикла в звездах. Наконец, свою лепту в формирование представлений о термоядерных реакциях внес Г. Гамов. В 1932 г. в Президиуме Академии наук он сделал доклад о термоядерных реакциях. Там же присутствовал Н. Бухарин. Сразу после доклада Н. Бухарин сделал Г. Гамову интересное предложение. Вот как описывает это сам Г. Гамов: «Я получал в свое распоряжение на несколько минут один раз в неделю в ночное время полную электрическую мощность Московского индустриального района, чтобы выделить ее в толстом медном проводнике, насыщенном маленькими пузырьками литий-водородной смеси. Я отклонил это предложение и рад, что принял такое решение, поскольку в то время из этого определенно ничего бы не вышло». Такова предыстория термоядерных исследований.

Систематические работы по управляемому термоядерному синтезу начались в трех странах: Англии, США и Советском Союзе, — в тех самых странах, которые создавали термоядерное оружие. И первоначальная цель состояла в том, чтобы произвести материалы для термоядерных зарядов. Каждая страна искала свои пути решения проблемы. Естественно, эти исследования были совершенно секретными. Так продолжалось даже после смены целей исследований от военных к мирным — вплоть до поездки И. Курчатова вместе с Н. Хрущевым в Англию в 1956 г. Зато после этой поездки на конференциях по мирному использованию атомной энергии 1956 и 1958 гг. все три страны «раскрылись». Оказалось, что все подходы, за исключением одного, абсолютно идентичны во всех странах-участницах.

На рис. 1 представлены сечения наиболее значимых термоядерных реакций. Тритий с дейтерием дают нейтрон и альфа-частицу и выделяют довольно большое количество энергии (17,6 МэВ), причем 80 % приходится на долю нейтрона. Энергию можно получать в реакции синтеза дейтерия с дейтерием с выделением в разных ветвях нейтронов, протонов и  $^3\text{He}$ . Есть еще одна реакция,  $^3\text{He}$  с дейтерием, которая дает протон и альфа-частицу. Последняя реакция не дает нейтронов и последующей наведенной радиоактивности. Здесь были упомянуты практически все реакции, которые так или иначе могут быть использованы. Самая сильная реакция среди перечисленных — реакция синтеза дейтерия с тритием. Но трития на Земле нет, его надо как-то нарабатывать. Как? Если термоядерный реактор окружить с внешней стороны от стенки вакуумной камеры литиевым

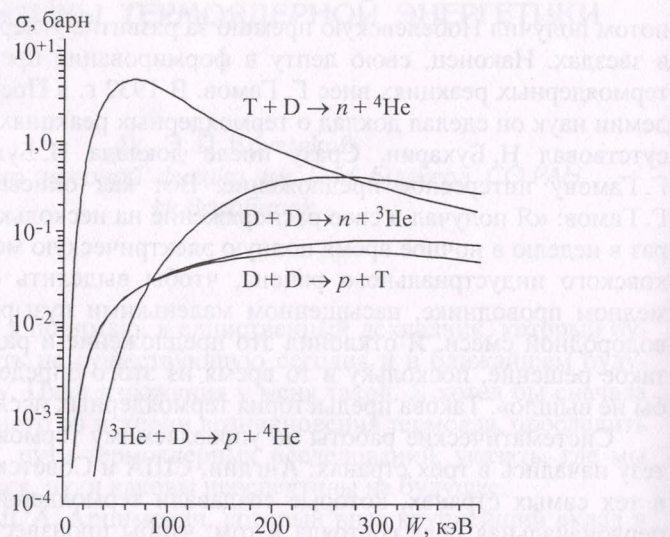


Рис. 1. Зависимость сечения ядерных реакций синтеза от энергии.

бланкетом (одеялом), то нейтрон, вылетевший из плазмы, при взаимодействии с литием отдаст большую часть энергии на нагрев лития и, кроме того, произведет полтора атома трития. Таким образом, после начала работы реактора воспроизводство трития будет обеспечено. Кстати, вместо лития можно использовать его соли, что увеличивает безопасность реактора. Ну, а где взять тритий для запуска термоядерного реактора? Эта проблема, к счастью, решается. В мире ежегодно производится до 5 кг трития.

Чтобы запустить процесс самоподдерживающихся термоядерных реакций, необходимо какое-то время удерживать высокотемпературную плазму, изолировав ее от стенок. Как это можно сделать? Все мыслимые подходы представлены на рис. 2. На Солнце и на звездах гравитация удерживает плазму. И, хотя температуры на Солнце много ниже тех, которые планируют физики сделать на Земле, там максимальная температура всего 16 млн градусов, — тем не менее, на Солнце реакции идут.

Другой способ, это так называемое инерциальное удержание. Специальная, заранее подготовленная мишень, содержащая термоядерное горючее высокой плотности, быстро обжимается тем или

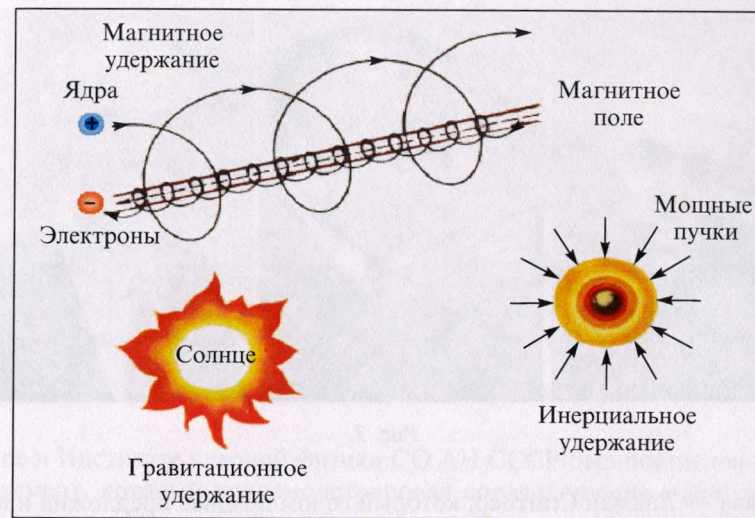


Рис. 2. Способы удержания высокотемпературной плазмы.

иным способом. На рисунке показано однородное обжатие мишени пучками. Пучки могут быть ионными, лазерными, возможно обжатие мишени рентгеновским излучением, создаваемым в замкнутой полости, и т. д. Одна из подобных версий реализована в водородной бомбе. Наконец, есть еще схема с использованием магнитного поля для термоизоляции плазмы. Других способов нет.

История современных термоядерных исследований началась в 1950 г. В августе 1950 г. А. Сахаров и И. Тамм предложили идею магнитной термоизоляции плазмы и построили теорию магнитного термоядерного реактора. В октябре 1950-го проект был представлен Курчатову. В апреле 1951 г. аргентинский диктатор Х. Перон заявил об успешной демонстрации управляемой термоядерной реакции. Надо сказать, что это всколыхнуло весь научный мир и сильно форсировало события. 5 мая 1951 г. И. Сталин подписывает тщательно детализированное постановление, обязавшее ряд промышленных предприятий выполнять заказы ученых, занятых в программе УТС.

На снимках (рис. 3) представлены авторы идеи магнитной термоизоляции плазмы. Слева А. Сахаров и И. Тамм, предложившие в 1950 г. идею замкнутого магнитного термоядерного реактора, а



Рис. 3.

справа — Лайман Спитцер, который годом позднее предложил идею так называемого стелларатора. Вообще-то А. Сахаров предложил обе концепции. Вот как он рассуждал. Поместим плазму в тороид (полый внутри бублик) и создадим тороидальное магнитное поле. В этом случае термоизоляция поперек поля будет обеспечена, но плазма начнет вытесняться в область слабого магнитного поля. Положение можно исправить, создав системой внешних проводников винтовое магнитное поле в плазме. Собственно это и есть стелларатор. Но Сахаров отказался от этой идеи, посчитав ее чересчур сложной. Он предложил одновременно с созданием тороидального магнитного поля пропустить ток по плазме вдоль тороида. В этом случае в плазме также образуется винтовое магнитное поле. Данное предложение было реализовано в СССР, а подобные системы стали называться в дальнейшем токамаками.

Стелларатор Л. Спитцера действительно строился на основе более сложных магнитных обмоток. В качестве примера приведем здесь внешний вид обмоток стелларатора Вандельштайн-7X, сооружаемого в Германии (рис. 4).

Одновременно с упомянутыми развивались и альтернативные концепции. Наиболее популярной среди них оказалась концепция, независимо предложенная Г. Будкером и Р. Постом (рис. 5) в 1953 г. (предложения этих авторов стали известны в ходе Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии). Речь шла о так называемой открытой магнитной ловушке. В 1959 г. впервые в

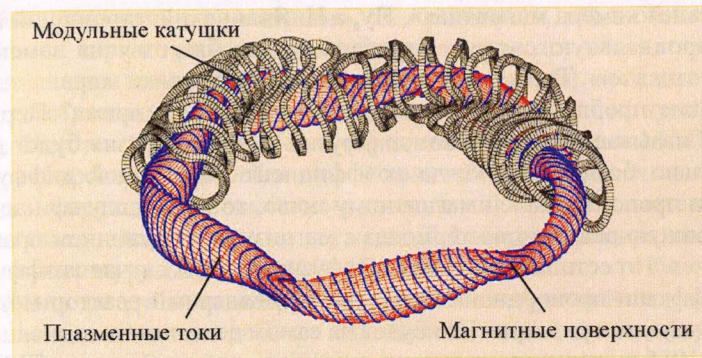


Рис. 4. Внешний вид обмоток стелларатора Вандельштайн-7X.

мире в Институте ядерной физики СО АН СССР был поставлен эксперимент, который продемонстрировал справедливость идей, заложенных в основу данной концепции.

А теперь вернемся к токамакам. Кстати, следует сказать, что слово «токамак» принадлежит Игорю Николаевичу Головину. Он предложил использовать слово «токамаг», — аббревиатуру от «то-



Рис. 5.

роидальная камера магнитная». Ну, а Н. Явлинский, строивший первую тороидальную систему, предложил для благозвучия заменить букву «г» на «к». Теперь это слово вошло во все языки мира.

Какие проблемы стояли перед термоядом в то время? Первое, это так называемая бомовская диффузия. Если диффузия будет действительно бомовской, когда коэффициент поперечной диффузии обратно пропорционален магнитному полю, то в этом случае надежд на успешную реализацию термояда с магнитным удержанием практически нет. Но есть классическая диффузия. В этом случае коэффициент диффузии пропорционален  $H^{-2}$ , и термоядерный реактор мог бы иметь разумные размеры. Что будет на самом деле, никто не знал.

В 1955 г. произошел запуск самого первого токамака ТМП в лаборатории Н. Явлинского. Его размеры были очень скромными: 80 см — большой радиус, 13 — малый. Тороидальный ток — 250 килоампер. Ну и, естественно, последовала первая неудача — быстрое охлаждение плазмы из-за примесей. Все это, конечно, получило немедленное объяснение, однако ничего путного длительное время не получалось.

В 1957 г., уже после поездки И. Курчатова в Англию, случилась первая сенсация. Англичане сообщили, что на установке «Зета» получены ионы с температурой 300 эВ (или 3,5 млн градусов). Вскоре оказалось, что это ошибка.

В 1958 г. Л. Спитцер представил эксперименты по стелларатору в очень пессимистическом тоне. По его мнению, потери плазмы из ловушки соответствовали бомовской диффузии, что закрывало данное направление.

В 1961 г. Б. Кадомцев, анализируя результаты советского эксперимента, выполненного на открытой магнитной ловушке с «палками Иоффе», показал, что бомовской диффузии не существует. Ну, а в 1965 г. А. Галеев и Р. Сагдеев в ИЯФе примирили эти две точки зрения, создав неоклассическую теорию диффузии плазмы для замкнутых магнитных конфигураций. Она является основой для всех термоядерных исследований до настоящего времени.

В 1962 г., после трагической гибели Н. Явлинского, исследования на токамаках возглавил академик Л. Арцимович. Прогресс на токамаках был весьма ощутим: в 1963 г. — электронная температура достигла 150 эВ, в 1965 — 300, в 1966 — 600 эВ. Однако научный мир воспринимал эти результаты с большим недоверием, поскольку результаты всех других направлений были существенно скромнее.

Чтобы покончить с сомнениями, Л. Арцимович, с одной стороны, заключил пари с принстонскими физиками, а с другой — пригласил англичан для измерения электронной температуры методом томсоновского рассеяния (более надежного метода не существует до сих пор). И вот в 1968 г. на Международной конференции МАГАТЭ в Новосибирске, оказавшейся самой значительной из всех известных мне конференций, в совместном докладе англичан и советских физиков было показано, что на токамаке Т-3 впервые в мире электронная температура достигла 1000 эВ. Было показано, что бомовской диффузии нет, и путь вперед открыт. На следующий год в Дубне прошло специальное рабочее совещание, где физики обсуждали только эту проблему — проблему температуры в токамаках. Пари Л. Арцимовичу Принстон проиграл. Получение электронной температуры в один киловольт было подтверждено.

На рис. 6 представлены успехи токамаков того времени. На графике показан рост электронной и ионной температуры по годам.

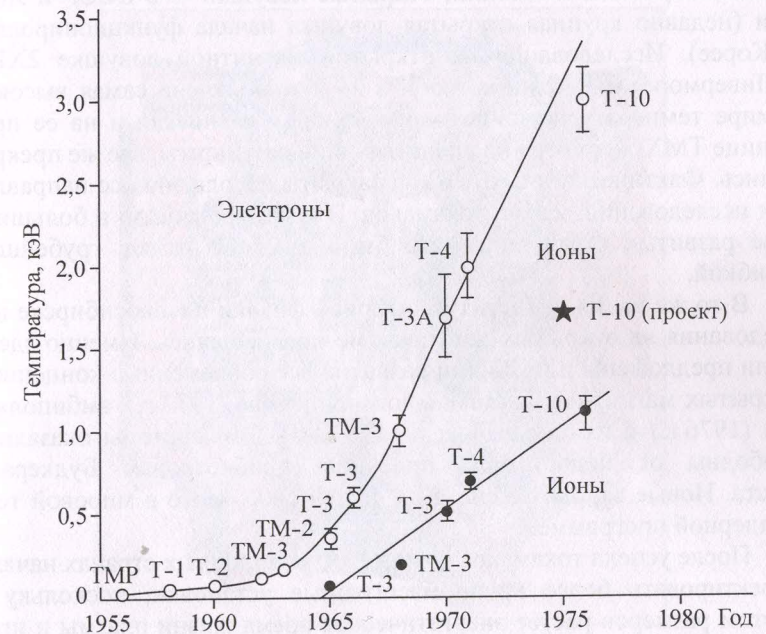


Рис. 6. Рост электронной и ионной температуры по годам.

В 1975 г. состоялся запуск установки Т-10 — крупнейшего токамака того времени, существующего до настоящего времени в Курчатовском институте. На нем электронная температура достигла уровня в 3 кэВ, а ионная — 1 кэВ. А в 1978 г. на токамаке PLT (США) была получена ионная температура в 7 кэВ, что было крупнейшим достижением того времени. Примерно тогда же на токамаке Т-10 электронная температура достигла 10 кэВ. Это был абсолютный мировой рекорд.

Подведем итоги первого этапа. Что же произошло за первые 30 лет? Во-первых, было показано, что опасность существования бомовской диффузии оказалась несостоятельной.

Во-вторых, продемонстрирована осуществимость удержания плазмы с высокими термоядерными параметрами. Наибольшего успеха достигли замкнутые ловушки типа токамака. Соответственно, в большинстве развитых стран мира были прекращены эксперименты с основными альтернативными системами (стеллараторы, открытые ловушки и многие другие). К концу этапа стеллараторы сохранились лишь в Германии и Японии, открытые ловушки — в СССР и Японии (недавно крупная открытая ловушка начала функционировать в Корее). Исследования на открытой магнитной ловушке 2ХПВ в Ливерморе, США, на которой в 1976 г. получена самая высокая в мире температура ионов (около 15 кэВ), равно как и на ее преемнице ТМХ, несмотря на впечатляющие результаты, все же прекратились. Фактически в США были закрыты абсолютно все направления исследований, кроме токамаков. Это же произошло в большинстве развитых стран мира, что было, на мой взгляд, грубейшей ошибкой.

В то же время в Институте ядерной физики в Новосибирске исследования на открытых ловушках не прекращались. Именно здесь были предложены и получили развитие все современные концепции открытых магнитных систем: многопробочная (1972 г.), амбиполярная (1976 г.) и газодинамическая (1979 г.). Эти системы оказались свободны от недостатков, присущих пробкотронам Будкера—Поста. Новые открытые системы нашли свое место в мировой термоядерной программе.

После успеха токамаков Т-10 и PLT в различных странах начали проектировать более крупномасштабные установки, поскольку с ростом размеров растет энергетическое время жизни плазмы и проще подойти к режиму самоподдерживающейся термоядерной реак-

ции. В качестве следующей цели были намечены системы с  $Q$  порядка единицы ( $Q$  — это отношение энергии, выделяемой в термоядерных реакциях, к энергии, потребляемой на поддержание плазмы). Началось сооружение токамаков TFTR (США, 1982 г.), JET (Европейский Союз, 1983 г., построен в Англии), JT-60 (Япония, 1987 г.), TORE SUPRA (Франция, 1988 г. Это, кстати, единственный в мире крупномасштабный сверхпроводящий токамак) и Т-15 (тоже сверхпроводящий) в СССР—России (1998 г.). Самый крупный на сегодня токамак — это JET. Его внешний вид (точнее, его макета, поскольку сам токамак увидеть невозможно из-за большого количества систем нагрева плазмы и измерительных устройств) представлен на рис. 7, а чтобы представить его размеры, достаточно взглянуть на человека, находящегося внутри вакуумной камеры этого токамака (рис. 8).

Согласно критерию Лоусона, энерговыделение термоядерных реакций превосходит энергозатраты на поддержание высокотемпе-

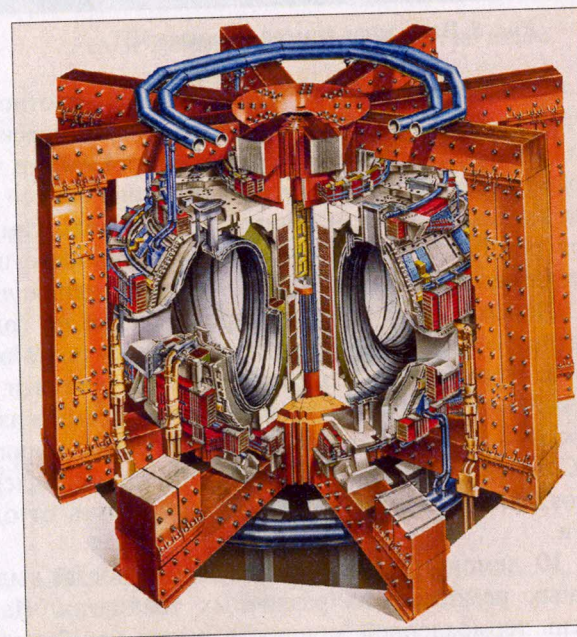


Рис. 7. Токамак JET. Внешний вид.





Сформулируем наиболее значимые результаты последнего времени. На европейском токамаке JET получена рекордная ионная температура (35 кэВ, или 400 млн градусов). Там же в нейтронах D—T-реакции выделена мощность, превышающая 16 МВт. На единственном работающем сегодня крупномасштабном сверхпроводящем токамаке TORE SUPRA высокотемпературная плазма удерживалась в течение 4,5 мин. Этот эксперимент продемонстрировал осуществимость долговременного поддержания тороидального тока в плазме токамака. Это весьма важный для дальнейшей программы УТС результат, поскольку он показывает, что стационарное поддержание постоянного тороидального тока в токамаке возможно.

На трех крупнейших токамаках мира — TFTR, JT-60U и JET — поставленная цель достигнута, Q порядка единицы получено. Причем на JT-60U этот предел даже превзойден. Получено  $Q \approx 1,24$ . Можно констатировать, что токамаки на сегодня наиболее готовы к достижению режима самоподдерживающегося термоядерного горения. К этой цели остается сделать еще один шаг.

Несколько слов о состоянии альтернативных систем. Сегодня в Японии действует сверхпроводящий стелларатор LHC. На нем получена высокотемпературная плазма, по своим параметрам лишь немного уступающая параметрам плазмы крупнейших токамаков. Мало того, на этом же стеллараторе существование высокотемпературной плазмы непрерывно поддерживалось в течение 3,5 ч!

Немного об открытых магнитных ловушках. У них есть своя ниша. Они могут быть эффективно использованы там, где токамаки оказываются бессильны (когда энергия термоядерных реакций выделяется не в нейтронах, а в заряженных частицах). Однако первые термоядерные реакторы будут использовать D—T-реакции с достаточно высоким уровнем плотности потока термоядерных нейтронов. Поэтому в самое ближайшее время должны быть начаты исследования свойств материалов: материалов первой стенки и прочих конструкционных материалов реактора на радиационную стойкость. Газодинамическая ловушка позволяет решить проблему испытаний существующих и создаваемых конструкционных материалов наиболее просто. На ее основе возможно создание наиболее надежного, экономичного и мощного источника термоядерных нейтронов. Эта схема источника термоядерных нейтронов уже получила признание мирового термоядерного сообщества.

На рис. 11 показана газодинамическая ловушка (ГДЛ) Института ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН. Принцип генерации нейтронов довольно прост. При косо (по отношению к оси системы) инжекции быстрых нейтральных атомов в «теплую» плазму происходит их захват за счет эффектов перезарядки и ионизации, после чего в плазме возникает популяция плещущихся ионов, отражающихся от околопробочных областей с повышенной магнитным полем. Распределение этих ионов сильно неоднородно вдоль оси системы и имеет максимумы в околопробочных областях (рис. 12). Если в качестве нейтральных атомов использовать дейтоны и тритоны с энергией в несколько десятков киловольт, то, как показывают расчеты, источник способен генерировать нейтроны D—T-реакции с плотностью нейтронного потока порядка 2 МВт/м<sup>2</sup> на площади около 1 м<sup>2</sup>, что вполне достаточно для целей термоядерного материаловедения.

На многопробочной ловушке ГОЛ-3 в Институте ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН совсем недавно получена электронная температура  $T_e = 2$  кэВ. Это намного больше, чем получалось на открытых системах до сего времени. На установке 2ХПВ (США) мак-

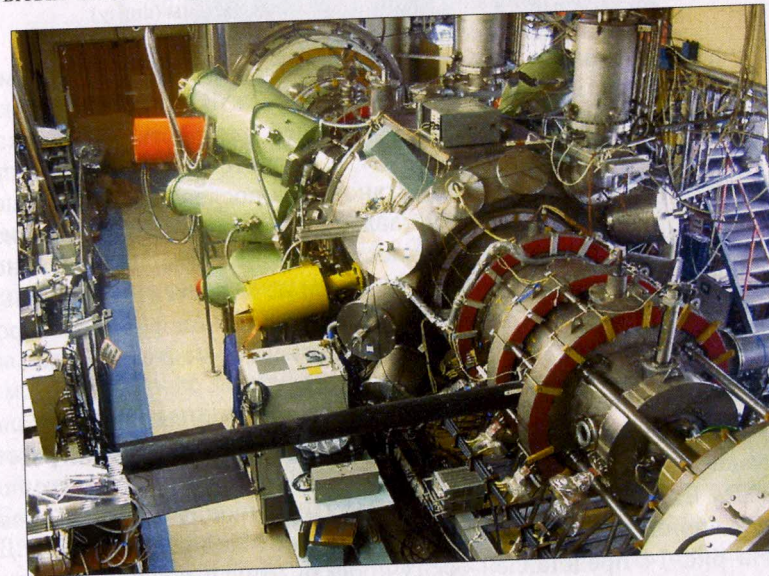


Рис. 11. Газодинамическая ловушка.

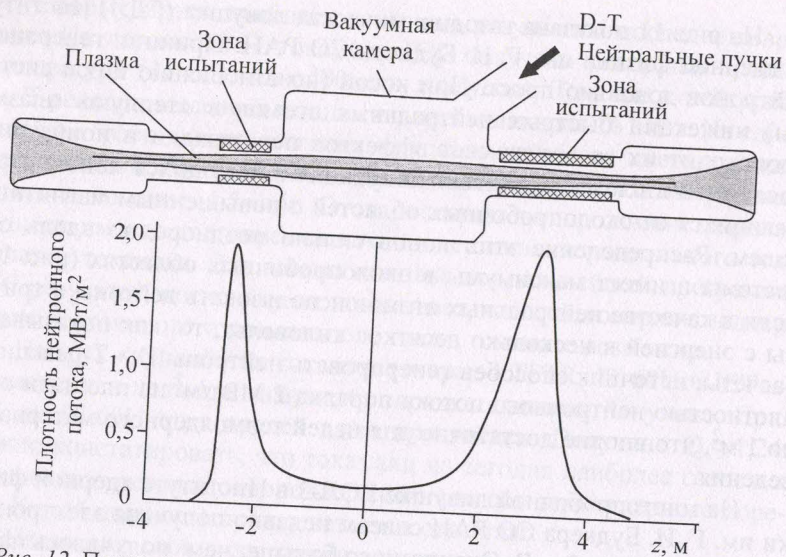


Рис. 12. Принципиальная схема источников термоядерных нейтронов. Распределение нейтронного потока вдоль оси системы (внизу).

симальная электронная температура достигала 280 эВ, а сегодня мы имеем  $T_e = 2$  кэВ. И такого же уровня ( $T_i = 2$  кэВ) достигла ионная температура при плотности, превосходящей плотность в токамаках почти на два порядка ( $n = 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ). Значительный прогресс параметров, достигнутый на этой установке за последние годы, иллюстрирует рис. 13. Здесь же представлено поведение нейтронного излучения D—D-реакции при плотности плазмы  $2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ . Видно, что уровень нейтронного излучения почти не меняется во времени в течение миллисекунды, т. е. остывание и уход ионов в многопробочной ловушке осуществляется существенно медленнее, чем в пробкотроне Будкера—Поста.

В последние годы мировое плазменное сообщество работало над проектом Международного экспериментального термоядерного токамака-реактора ИТЭР. Странами-участницами проекта сегодня являются Европейский Союз, Россия, США, Япония, Китай, Корея. Желание принять участие в проекте изъявляют Индия и Бразилия.

На рис. 14 представлен эскиз проекта. Внизу показан человек для масштаба. Основные параметры ИТЭРа: объем вакуумной каме-

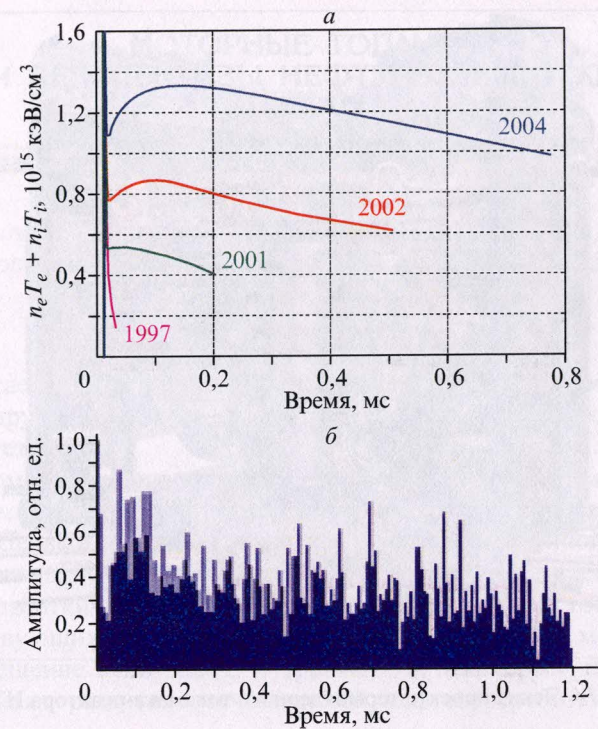


Рис. 13. Прогресс параметров (а) и нейтронное излучение (б).

ры — около  $850 \text{ м}^3$ , тороидальный ток в плазме — 15 мегаампер, тороидальное магнитное поле 5,3 Тесла, выделяемая термоядерная мощность в разных режимах — от 500 до 900 МВт.

Кампания ИТЭРа рассчитана на 20 лет: восемь лет строительства, пять лет работы с водородной плазмой, семь лет работы с тритием. Только после завершения этой кампании, целью которой, помимо всего прочего, является доказательство теоремы существования самоподдерживающейся термоядерной реакции, начнется строительство экспериментальной термоядерной электростанции ДЕМО. Сегодня трудно загадывать, на каких принципах будет строиться ДЕМО. Это может быть, помимо токамака, одна из систем инерциального удержания, открытая ловушка, стелларатор, тороидальный пинч с обращением поля. Но одно можно обещать твердо: проект

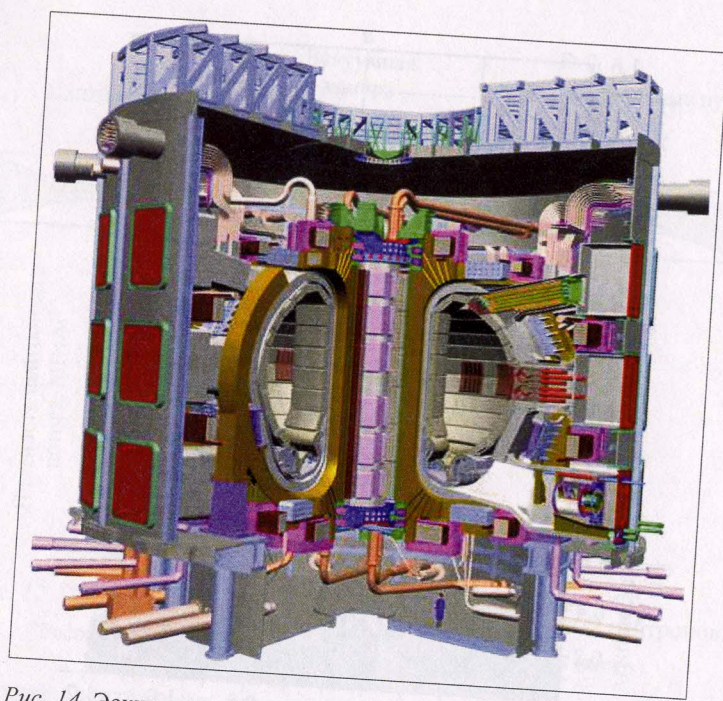


Рис. 14. Эскиз проекта термоядерного токамака-реактора ИТЭР.

ИТЭР завершится успешно, и во второй половине нынешнего столетия вклад термоядерной энергетики в общемировую станет весьма ощутимым.

Спасибо за внимание.

## МОТОРНЫЕ ТОПЛИВА И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ

Чл.-к. РАН В. А. Лихолобов,  
председатель Президиума Омского научного центра СО РАН,  
директор Института проблем переработки углеводородов  
СО РАН, Омск

Уважаемый председатель, уважаемые коллеги, разрешите перейти к другому направлению затрагиваемых проблем отечественной энергетики.

В этом сообщении, которое я сделаю от себя и от имени Валерия Кузьмича Дуплякина, мы считаем необходимым осветить три вопроса. Первый — об общей характеристике современной нефтеперерабатывающей отрасли России, второй — о стратегических задачах переработки углеводородного сырья в моторные топлива и о соответствующих научно-технических заделах, которые могут обеспечить решение этих задач, и третий — о некоторых актуальных направлениях развития отечественной нефтепереработки на перспективу.

Итак, общая характеристика современной нефтеперерабатывающей отрасли России по состоянию на 2002 год. Помимо нефти, которой было добыто 355 млн т, переработано попутного нефтяного газа порядка 18,0 млн т, газового конденсата — около 20 млн т и ШФЛУ порядка 9 млн т. При этом из суммарно добытых более 400 млн т углеводородов для переработки в России было использовано менее 200 млн т.

Что касается нефтяной компоненты, то также большая часть нефти отправляется на экспорт. Более того, даже из продуктов первичной нефтепереработки их значительная доля (главным образом, мазут) экспортируется. Итого из общего объема добываемых углеводородов мы экспортируем 64,5 %, и эта доля имеет тенденцию к увеличению.

В 2003 г. в России добыто 422 млн т нефти. Лидерами по добыче стали ЛУКОЙЛ (81,5 млн т), ЮКОС (80,5 млн т), а также ТНК-БП (72,5 млн т). Можно напомнить, на наш взгляд, интересные цифры,

Ак. Э. П. Кругляков,  
Институт ядерной физики  
им. Г. И. Бугкера СО РАН, Новосибирск

Уважаемые коллеги, меня очень удивило утверждение Алексея Эмильевича Конторовича о том, что гелий нам не нужен.

Академик Н. Л. Добрецов: «Нет, гелий нам нужен. Это в министерстве говорят, что не нужен».

То, что гелий извлекать нужно, у меня никаких сомнений нет. Утверждение, что гелий стране не нужен, абсурдно. Дело в том, что сегодня гелий попутно извлекается из оренбургских газовых месторождений, где его концентрация мала. Тем не менее гелий извлекают, ожижают и ежедневно отправляют за границу гигантские танки с жидким гелием. Стоит он 5 долл. за литр, и чем дальше на запад, тем дороже. Утверждать, что на газовых месторождениях, где концентрация гелия на порядок выше по сравнению с оренбургскими, попутный гелий извлекать не нужно, это же просто курам на смех. Неужели не ясно, что техника, основанная на сверхпроводимости, входит в нашу жизнь, и потребление гелия в мире будет только нарастать? Можно добавить, что, если добыча гелия возрастет, у него немедленно появятся новые применения.

И еще одно замечание. Я с огромным интересом прослушал сегодняшнюю программу. Все было очень интересно, но осталась некоторая неудовлетворенность. Фактически мы присутствовали в каком-то смысле на рекламе различных подходов к энергетике. Докладчики изложили суть тех или иных направлений, но мне бы хотелось услышать и про то, что называют подводными камнями. Что я имею в виду? Я вот упоминал сегодня ливерморские ветряки. Это самая мощная в мире ветровая электростанция из семи тысяч ветряков на общую мощность в 0,7 млн кВт. Они стоят. Дело в том, что фирма, которая их эксплуатировала, разорилась. И это при том, что она получала льготы, была освобождена от налогов. Значит, есть

трудности у ветровой энергетики? А мы о них молчим. Есть трудности и у солнечной энергетики. И это надо было, вообще говоря, проанализировать.

Недавно я прочитал, что если взять курс на солнечную энергетику, то 20 % всей стали, производимой в мире, нужно будет тратить на металлоконструкции. Я когда-то делал оценки, сколько потребуется алюминия, меди и таких полупроводников, как мышьяк, селен, — чудовищные количества нужны! Тут возникают даже гигантские проблемы экологии, проблемы аккумуляирования и транспортировки энергии на большие расстояния и т. д. Поэтому, будет ли такая энергетика на самом деле стоящей или нет, нужно всерьез взвешивать. Сегодня же мы имеем дело лишь с заявлениями, что, вот, мол, даровая энергия пропадает. А сколько нужно вложить в то, чтобы эта энергия стала на самом деле дешевой, и можно ли это сделать — большой вопрос. Это относится ко многим видам энергии. Мне бы хотелось, чтобы в книгу, которую мы будем издавать, вошли хотя бы короткие комментарии по данной теме.

Спасибо за внимание.

Научное издание

**ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ  
РОССИЙСКОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

Материалы научной сессии Президиума Сибирского  
отделения РАН, г. Новосибирск, 24 февраля 2005 года

Редактор *И. А. Абрамова*

Художественный редактор *М. Г. Рудакова*

Технический редактор *Н. В. Бутакова*

Корректор *Н. А. Лившиц*

---

Погписано в печать с оригинал-макета 24.05.2005. Формат 60×84/16.

Уч.-изд. л. 13,7. Усл. печ. л. 13,14. Гарнитура Times.

Печать офсетная. Тираж 500 экз. Заказ № 218

---

Издательство СО РАН

630090, Новосибирск, Морской просп., 2