

Н. И. ТАРАНТИН

ОТ ЧАСТНОГО К ОБЩЕМУ, ИЛИ ЕЩЕ РАЗ О РОЖДЕНИИ ТЕРМИНА «ТОКАМАК»

Истории управляемого термоядерного синтеза (УТС) уже посвящено некоторое количество работ – в качестве примера можно назвать три статьи, опубликованные в журнале «Успехи физических наук», в которых эта проблема рассмотрена всесторонне¹. Однако один из важных вопросов истории УТС – вопрос о происхождении названия одного из типов советского тороидального магнитного термоядерного реактора (МТР) – «токамак» – по существу еще не рассматривается. В обзоре ведущего специалиста в этой области академика В. Д. Шафранова, например, мы только находим, что «...предложение А. Д. Сахарова и И. Е. Тамма о “магнитном термоядерном реакторе” привело к системам “токамак”...»².

Между тем возникновение этого термина, получившего широкое распространение в советской и мировой литературе, в том числе применительно к последнему международному термоядерному реактору ИТЭР, участником создания которого является и Россия, связано с рассмотрением на одном научном семинаре, впоследствии забытом, совершенно конкретной установки. Автор настоящей статьи присутствовал на этом семинаре и хотел бы изложить ту историю возникновения термина «токамак», свидетелем которой он был.

* * *

После окончания физического факультета МГУ в декабре 1952 г. я был распределен в Лабораторию измерительных приборов АН СССР (ЛИП АН СССР) и после вступительной беседы с И. Н. Головиным – первым заместителем начальника ЛИП И. В. Курчатова – направлен на работу в Бюро электрических приборов (БЭП) в группу В. С. Комелькова, который в рамках советского атомного проекта занимался синхронизацией взрывов химических зарядов в ядерной бомбе, а в рамках проекта УТС – измерением давления газа в электрических разрядах в дейтерии с помощью пьезодатчиков. Для этих работ, как мне он сказал, тогда отобрали только молодых специалистов с красными дипломами.

¹ Шафранов В. Д. Первый период истории термоядерных исследований в Курчатовском институте // Успехи физических наук. 2001. Т. 171. № 8. С. 877–886; Бондаренко Б. Д. Роль О. А. Лаврентьева в постановке вопроса и инициировании исследований по управляемому термоядерному синтезу в СССР // Там же. С. 886–894; Гончаров Г. А. К пятидесятилетию начала исследований в СССР возможности создания термоядерного реактора // Там же. С. 894–901.

² Шафранов. Первый период... С. 878.

В то время в БЭП велись интенсивные эксперименты по исследованию возможных механизмов термоядерного слияния ядер дейтерия в прямолинейных электрических газовых разрядах вне магнитного поля, а затем и в продольном магнитном поле. Эксперименты выполнялись по несложной методике на установках, включающих в себя батарею параллельно или последовательно соединенных электрических конденсаторов (на допустимое напряжение до 50 кВ) с возможно большими емкостью или напряжением, разрядное устройство с возможно меньшей паразитной индуктивностью, цилиндрическую фарфоровую или металлическую разрядную камеру, измерительный осциллограф и некоторые другие приборы. Все это имело своей целью обеспечение в электрическом разряде возможно большего разрядного тока для разогрева плазмы до высокой температуры.

Полученные в этих исследованиях результаты были опубликованы позднее³. Они показали, как писал Л. А. Арцимович,

техническую бесперспективность генерации термоядерных реакций в кратковременных импульсных разрядах, для которых длительность существования сжатого состояния (пинча) определяется временем пролета быстрой частицы через плазменный шнур (по существу это означает, что магнитное поле выполняет здесь функцию сжатия, но не функцию удержания плазмы) [...] Максимальная величина разрядного тока достигала в таких прямолинейных разрядах в магнитном поле $1,3 \cdot 10^6$ А⁴.

Наряду с этим в БЭП рассматривались и другие возможные методы возбуждения термоядерных реакций слияния легких ядер. В частности, обсуждались упомянутые выше работы Тамма и Сахарова, имевшиеся в то время в БЭП в виде секретных отчетов АН СССР и позднее опубликованные в открытой печати. В них были изложены основы физики ионно-электронной плазмы и рассмотрены возможные варианты цилиндрического и тороидального магнитных термоядерных реакторов.

В 1951 г. в ЛИП АН СССР были проведены первые эксперименты с тороидальными газовыми разрядами, но без постоянного магнитного поля внутри тороида⁵. В кольцевом газовом разряде исключался возможный уход ионов и электронов из зоны разряда на отсутствующие в этом случае разрядные электроды и тем самым улучшались условия для нагревания плазмы. В последнем варианте такой установки стеклянный тор радиусом 250 мм был изготовлен из стеклянной трубки диаметром 60 мм и окружен медным отражающим кожухом, удерживающим кольцевой ток около оси тороида за счет возбужде-

³ См.: Арцимович Л. А., Андрианов А. М., Базилевская О. А., Прохоров Ю. Г., Филиппов Н. В. Исследование импульсных разрядов с большой силой тока // Атомная энергия. 1956. № 3. С. 76–80; Безбатченко А. Л., Головин И. Н., Иванов Д. П., Кириллов В. Д., Явлинский Н. А. Исследование газового разряда с большой силой тока в продольном магнитном поле // Атомная энергия. 1956. № 5. С. 26–37.

⁴ Арцимович Л. А. Управляемые термоядерные реакции. М., 1961. С. 182–187.

⁵ Андрианов А. М., Базилевская О. А., Лукьянов С. Ю., Осовец С. М., Петров Ю. Ф., Подгорный И. М., Явлинский Н. А. Исследование нагревания водородной плазмы в малых тороидальных системах // Физика плазмы и проблема управляемых термоядерных реакций / Отв. ред. М. А. Леонтович. М., 1958. Т. 1. С. 42–65.

ния в медном кожухе токов Фуко. Вихревое электрическое поле для индукции кольцевого тока в тороиде вызывалось разрядом конденсатора через медных кожух, охватывающий тор. Напряжение обхода тора и ток разряда в плазме измерялись изолированными витками, уложенными соответствующим образом на поверхности стеклянной камеры. Эксперименты показали, что значение индуцированного кольцевого разрядного тока в плазме составляло всего 50 кА.

Помню семинар, состоявшийся в БЭП в феврале 1953 г., на котором руководитель группы Н. А. Явлинский докладывал о конкретном проекте нового варианта МТР на основе схемы, изложенной в отчете Сахарова. Обсуждался тороидальный вариант установки для зажигания и поддержания плазменного кольцевого разряда. Предлагался, как модификация безмагнитной тороидальной установки, тороид с сильным внутренним магнитным полем вдоль его кольцевой оси для улучшения условий фокусировки ионов тока плазмы. Такое тороидальное поле могло быть создано специальной токовой соленоидальной (от греческого *σωληνοειδής* – имеющий форму трубы, канала) тороидальной обмоткой, т. е. полый обмоткой по поверхности бублика. Дрейф ионов в неоднородном тороидальном магнитном поле в силу его структуры типа $1/r$, где r – расстояние от оси симметрии тороида до заряженной частицы, предлагалось исключить магнитным полем, созданным подвешенным в тороидальной камере кольцевым металлическим проводником с током или полем тока разряда в плазме. В этих случаях силовые линии магнитного поля в тороиде должны были принять винтовую форму, попеременно меняющую направление дрейфа ионов на одном обороте заряженной частицы в тороиде и таким образом в конечном итоге исключить смещение частиц. Докладчик предпочел более простой вариант стабилизации положения плазмы в тороидальной камере с помощью индуцированного тока, непосредственно возникающего в плазменном разряде. Безэлектродный электрический разряд в плазме предполагалось возбуждать с помощью растущего во времени вспомогательного дипольного магнитного поля, аналогичного магнитному полю бетатрона, индуцирующего кольцевое электрическое поле.

Хорошо помню, как на вопрос одного из слушателей семинара, почему «докладчик называет рассматриваемую установку новым словом “токамак”» последовал опережающий ответ Головина, присутствующего на семинаре и задававшего Явлинскому по ходу его доклада много вопросов. Он сказал, что

предлагаемое название установки «токамак» – это сложное слово, образованное от слов «тока максимум» и отражающее ожидание большего тока плазменного разряда в рассматриваемой установке по сравнению с током разряда в использовавшихся до сих пор прямолинейных разрядных устройствах.

Основания для такого ожидания, естественно, были. Свои разъяснения Головин произнес громким голосом и директивным тоном в духе того времени, как название – лозунг.

Рассмотренный на семинаре проект установки, названной Головиным «токамаком», был осуществлен в 1955 г.⁶ Установка имела (сейчас она демонтирована) фарфоровую разрядную камеру в виде тороида со средним большим диаметром 160 см и малым диаметром 26 см. Тороидальная токовая обмотка, навитая непосредственно на отражающий медный кожух в форме бублика, питалась от ударного генератора, который мог обеспечить кольцевое магнитное поле с индукцией до 15 кГс на оси тороида. «По ряду соображений», как указывают авторы работы, железный сердечник (ярмо) для усиления меняющегося во времени бетатронного поля и возбуждения таким образом ускоряющего вихревого электрического поля в тороидальной камере не применялся. Вихревая токовая обмотка поэтому располагалась непосредственно сверху и снизу от тороидальной камеры в виде двух однослойных 12-витковых рядов медного проводника и питалась током от батареи конденсаторов через управляемый шаровой разрядник. Эксперименты на новой установке показали, что разрядный ток в плазме вдоль кольцевой оси тороидальной камеры равнялся всего 260 кА, т. е. был существенно ниже, чем ток разряда в прямолинейных трубках, превышающий там 1 МА, хотя опубликованная работа была названа «...разряд с большой силой тока...». Замечу, что параметры этого первого построенного токамака имели существенно более умеренные значения, чем рассчитанные Сахаровым в оптимальной конструкции большой модели МТР.

В последующих статьях по тороидальным МТР с кольцевым магнитным полем внутри камеры, также как и в фундаментальной монографии Арцимовича «Управляемые термоядерные реакции», название «токамак» для магнитных тороидальных установок не использовалось. В последней монографии шестая глава, посвященная таким установкам, называлась «Нагревание и удержание плазмы в электрических разрядах с медленным нарастанием тока» в отличие от предыдущей главы, названной «Импульсные процессы малой длительности» и посвященной прямолинейным разрядам.

Однако по прошествии некоторого времени, начиная приблизительно с конца 1950-х гг., авторы некоторых работ стали называть в печати тороидальные магнитные термоядерные установки токамаками, расшифровывая это название как «ТОроидальная КАмера» и «МАгнитная Катушка», т. е. иначе, чем это делал Головин.

Нелогичность новой расшифровки вполне очевидна, поскольку токовая тороидальная обмотка токамака, навитая на тор, да и токовая вихревая обмотка первой тороидальной установки с «медленным нарастанием тока» не имели цилиндрической формы и ни в какой мере не были похожи на общеизвестные катушки, например, катушки с нитками, кстати сказать, названные так за их способность легко катиться, в отличие от обмоток тороидальной формы, не имеющих возможности к качению.

⁶ Безбатченко А. Л., Головин И. Н., Козлов П. И., Стрелков В. С., Явлинский Н. А. Безэлектродный разряд с большой силой тока в тороидальной камере с продольным магнитным полем // Физика плазмы... Т. 4. С. 116–133.

Арцимович в своей другой книге разъяснял:

Экспериментальные установки такого типа были разработаны и используются в Советском Союзе. Они образуют в настоящее время целое семейство, получившее условное название «ТОКАМАК». Самая большая из этих установок рассчитана на получение плазменных токов до (2,5–3,0) 105 ампер ⁷,

тогда как

в опытах, которые проводились в СССР в ранней фазе разработки проблемы управляемого термоядерного синтеза, максимальная сила тока в плазме в момент прямолинейного разрядного импульса составляла от 105 до 106 ампер ⁸,

т. е. была существенно больше, чем в первом токамаке.

Из содержания предыдущих абзацев явно следует мнение Арцимовича о том, что название «токамак» с вложенным в него Головиным смыслом «тока максимум» в то время далеко не оправдывало себя в построенных тороидальных магнитных термоядерных реакторах. Не оправдалось оно и в установках этого типа, созданных в последующие годы в СССР.

В 1990 г. при встрече с Головиным на похоронах академика Г. Н. Флерова я напомнил ему о его предложении, сделанном на семинаре в БЭП в 1953 г. Он удивился тому, что я это еще помню, и сказал, что он «уже все забыл». Весьма показательны в связи с этим опубликованные воспоминания самого Головина, относящиеся к тому же времени. В воспоминаниях его и Шафранова о Сахарове сказано:

Именно систематическая разработка в 50-е и 60-е годы в ИАЭ сахаровской системы, окрещенной в 1957 г. Головиным и Явлинским «токамаком», привела на рубеже 60–70-х годов к тому перелому в мировых исследованиях по УТС, итогом которого стало достижение параметров плазмы, делающих возможным разработку опытного термоядерного реактора на основе токамака ⁹.

В воспоминаниях Головина о Леонтовиче, датированных тем же годом (1990), читаем:

Наши работы по управляемому термоядерному синтезу начались с исследования возможности создания реактора-токамака, хотя название «токамак» было изобретено мною только в 1957 г. ... ¹⁰.

Здесь ссылка на Явлинского уже отсутствует. Видно, что Головин возможно забыл о состоявшемся в феврале 1953 г. в здании БЭП семинаре с

⁷ Арцимович Л. А. Элементарная физика плазмы. М., 1963. С. 175.

⁸ Там же. С. 169.

⁹ Головин И. Н., Шафранов В. Д. У истоков термояда // Природа. 1990. № 8. С. 25–33.

¹⁰ Головин И. Н. В Курчатковском институте // Воспоминания об академике М. А. Леонтовиче. 2-е изд. М., 1996. С. 229–238.

докладом Явлинского, на котором присутствовали около двадцати слушателей, или же он не хотел вспоминать о предложенном им для магнитного термоядерного реактора названии «токамак», которое не оправдало себя.

В заключении напомним также о том, что не получило распространения изобретенное Головиным для магнитных ловушек ионов название «огра» (сокращение от полного названия ловушки «один грамм нейтронов в сутки»), разрабатываемых в свое время в ЛИП под его руководством.