

## ИЗ ИСТОРИИ ФИЗИКИ

## К истории исследований по управляемому термоядерному синтезу

*Проблема управляемого термоядерного синтеза (УТС) представляет колоссальную научно-техническую задачу всемирного масштаба; решением этой проблемы заняты теперь огромные коллективы ученых из многих стран. Пятьдесят лет назад, 5 мая 1951 г., Постановлением Совета Министров СССР была принята, по-видимому, первая в мире правительственная программа "О проведении научно-исследовательских и экспериментальных работ по выяснению возможности осуществления магнитного термоядерного реактора". В данной публикации кратко изложены история событий и хронология возникновения идей, приведших к первым правительственным решениям о проведении работ по выяснению возможности создания управляемого термоядерного реактора, а также итоги первых десятилетий исследований.*

PACS number: 01.65. + g

### Содержание

1. **Шафранов В.Д.** *Первый период истории термоядерных исследований в Курчатовском институте* (877).
2. **Бондаренко Б.Д.** *Роль О.А. Лаврентьева в постановке вопроса и иницировании исследований по управляемому термоядерному синтезу в СССР* (886).
3. **Гончаров Г.А.** *К пятидесятилетию начала исследований в СССР возможности создания термоядерного реактора* (894).
4. *Из Архива Президента Российской Федерации* (902).

### Первый период истории термоядерных исследований в Курчатовском институте<sup>1</sup>

В.Д. Шафранов

#### 1. Введение

К первому периоду исследований по управляемому термоядерному синтезу (УТС) можно отнести 1951–1975 гг. К концу этого периода лидирующими установками магнитного удержания плазмы становятся системы с тороидальным электрическим током и сильным маг-

<sup>1</sup> Статья написана на основе доклада, представленного на английском языке во время визита в Национальный институт термоядерного синтеза (г. Токи, Япония) для семинара 21 декабря 2000 г.

**В.Д. Шафранов.** Российский научный центр  
"Курчатовский институт"  
123182 Москва, пл. Курчатова 1, Российская Федерация  
Тел./Факс (095) 196-76-76  
E-mail: shafran@nfi.kiae.su

Статья поступила 9 июля 2001 г.

нитным полем — токамаки. В связи с развитием термоядерного оружия эти исследования в начальный период носили сверхсекретный характер, что наложило драматический отпечаток на историю их развития. Можно упомянуть, например, что принятию официальных программ по термоядерному синтезу в США и СССР способствовало заявление Президента Аргентины о якобы успешном проведении управляемой реакции синтеза в этой стране.

В данной статье рассматриваются перемены направлений термоядерных исследований в Курчатовском институте на ранней стадии их развития, такие как переход от планировавшихся лабораторных тороидальных моделей магнитного термоядерного реактора (МТР) по предложениям А.Д. Сахарова и И.Е. Тамма к прямолинейным пинчам, а от пинчей снова к тороидальным системам — токамакам.

Упомянутся первые международные контакты по проблемам, связанным с синтезом, имевшие место до Второй Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии (2nd Geneva Conference on Peaceful Uses of Atomic Energy) в 1958 г., где впервые были представлены материалы рассекреченных работ, которые велись к этому времени в ряде стран.

Отмечается период глубокого пессимизма в решении проблемы УТС (примерно вторая половина 50-х годов). Упомянутся первые успехи по стабилизации плазмы в открытых ловушках в начальный период работ, вселившие оптимизм в исследователей. Они породили концепцию "средней" магнитной ямы как стабилизатора магнитогидродинамических неустойчивостей также и в замкнутых системах для удержания плазмы — токамаках и стеллараторах.

В конце статьи кратко отмечаются как стратегическая линия участия в международном проекте опытного термоядерного реактора на основе токамака, так и некоторые инновационные направления исследований в Российском научном центре "Курчатовский институт".

## 2. Общие замечания

Термоядерные исследования начались в середине XX века, прежде всего в странах, разрабатывавших термоядерное оружие. Причина этого проста: именно в этих странах были накоплены знания и опыт осуществления дорогостоящих проектов, необходимых для таких исследований. Невероятные же по интенсивности темпы организации необходимых работ объясняются следующими двумя обстоятельствами.

1. Первоначальной целью создания термоядерных реакторов с дейтериевой плазмой было, прежде всего, производство ядерных материалов (зарядов) для термоядерного оружия. Стремление не отстать от соперника в оснащении мощнейшим оружием было главным стимулом для принятия решений о проведении исследований по УТС как в СССР, так и в США.

2. Успех в создании ядерного оружия вселял уверенность в столь же быстром решении и проблемы создания термоядерного реактора. Эта надежда не оправдалась, но переориентировка программы на производство электроэнергии с использованием неисчерпаемого и экологичного источника реакций синтеза стала важнейшим стимулом для решения проблемы УТС во всем мире.

Рассматриваемый первый двадцатипятилетний период истории термоядерных исследований в Курчатовском институте охватывает 1951–1975 гг. Следует отметить, что еще в 1955 г. на открытии Первой международной конференции по мирному использованию атомной энергии председательствующий Х. Баба (H. Bahba) высказал предположение, что "метод управляемого высвобождения энергии ядерного синтеза будет найден в предстоящие 20 лет", т.е. к 1975 г. В некотором смысле это предсказание действительно сбылось. К этому времени на токамаке T-3 и его модификации T-4 была продемонстрирована плазма с температурой масштаба 1 кэВ (1968–1969 гг.). В начале семидесятых годов происходит решительный переход на токамаки во многих лабораториях, связанных с магнитным удержанием плазмы. В Курчатовском институте 1975-й год завершается вводом в строй достаточно большого по тем временам токамака T-10 (работа на нем продолжается и в наши дни). А на токамаке PLT этого же поколения (введен в строй в том же году в Принстоне, США) с помощью инъекции пучка быстрых атомов дейтерия несколько позже (в 1978 г.) удалось получить плазму с температурой ионов 7–8 кэВ.

Рассматриваемый период связан для нас, в основном, с именем первого руководителя государственной программы исследований по УТС Л.А. Арцимовича, скончавшегося в 1973 г.

На ранней стадии термоядерные исследования были строго засекречены даже после перемены их цели с поддержки военных программ на мирное использование ядерной энергии. Внутри Лаборатории измерительных приборов Академии наук (ЛИПАН — кодовое название будущего Курчатовского института) никто, кроме небольшой группы исследователей, не знал, что делается в новом здании Бюро электрических приборов (БЭП), стоящем недалеко от здания Отдела электроаппаратуры (ОЭА), где под руководством Л.А. Арцимовича разрабатывались методы электромагнитного разделения изотопов для наработки материала для атомных бомб. Даже в самых секретных отчетах одно время использовались

загадочные слова: "гуща" (для обозначения плазмы), "высота" (температура), "струя" (магнитное поле). Так что, например, фраза "высокотемпературная плазма в магнитном поле" кодировалась странным выражением "высокая высота гущи в струе". Все исследователи гордились своим участием в продвижении к великой цели — производству энергии "из воды" (потенциальные запасы энергии дейтерия, содержащегося в 1 л воды, в 300 раз больше, чем в 1 л бензина). С нетерпением ожидали мы любой информации об УТС из других стран, прежде всего из Англии и США<sup>2</sup>.

Любопытно, что каждая из первых трех стран — участниц исследований по УТС на основе замкнутых тороидальных систем — открыла определенное направление магнитного удержания плазмы.

Эксперименты с тороидальным газовым разрядом в Великобритании создали направление "тороидальные пинчи с обращенным тороидальным магнитным полем", сокращенно RFP (Reversed Field Pinches). В настоящее время соответствующие крупные установки имеются: одна — в Падуе (Италия), другая — в Бостоне (США).

Предложение А.Д. Сахарова и И.Е. Тамма о "Магнитном термоядерном реакторе" привело к системам "токамак", занявшим лидерство в мировой программе исследований по УТС.

Изобретение Л. Спитцером замкнутой системы магнитного удержания с вложенными магнитными поверхностями плазмы, на которых каждая магнитная силовая линия, проходя вдоль системы (топологического тора) с проворотом на некоторый угол ("вращательное преобразование"), плотно покрывает замкнутую тороидальную поверхность, породило фундаментальное научное направление стационарных "стеллараторных", или "винтовых систем" магнитного удержания плазмы. Эти системы задержались в своем развитии из-за их большей сложности и неудачных экспериментов первого периода их истории. В настоящее время они приобрели "второе дыхание" и наряду с традиционным подходом, самым большим современным представителем которого является крупнейшая винтовая система LHD (Large Helical Device) в Японии, развиваются усовершенствованные "advanced helical systems" (продвинутые винтовые системы), "живым" представителем которых является крупный стелларатор W7-AS, строящийся в Грайфсвальде (Германия).

В Принстонской лаборатории физики плазмы, начавшей стеллараторные исследования, в настоящее время реализуются проекты компактного токамака и инновационного "квазисимметричного" стелларатора NCSX с самогенерирующимся "бутстрэп-током" (ток, связанный со спецификой дрейфовых траекторий в торе), что помогает улучшить параметры плазмы.

Помимо замкнутых систем, в США и СССР независимо родилось направление открытых магнитных систем с магнитными зеркалами (американский термин), или магнитными пробками (российский термин). В настоящее время оно сохранилось, главным образом, в научных городках Цукубы (Япония) и Новосибирска.

<sup>2</sup> Секретность наложила драматический отпечаток на судьбы некоторых участников программы. Так, например, в конце 1951 г. был отстранен от работ по МТР за знакомство с кем-то из бывших эмигрантов, а в 1952 г. и уволен, крупный теоретик Б.И. Давыдов.

### 3. Мировой УТС перед Женевой-58

Исследования по УТС до Второй Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии были строго засекречены. Ниже приведена краткая хронология соответствующих значительных событий в Англии, США и СССР.

#### Англия

**1946 г.** Патент Дж. П. Томсона (см. [1]) и М. Блекмана [2] на тороидальный термоядерный реактор с дейтерием. Заявленная мощность реактора  $P_{DD} = 9$  МВт. Начальный нагрев плазмы переменным током 500 кА.

**1949 г.** Первые эксперименты с тороидальными разрядами (П. Тонеманн (см. [1]); С.У. Козинс и А.А. Уэйр [3] — реализация пинч-эффекта с током  $J = 27$  кА).

**1955 г.** Идея стабилизации разряда магнитным полем (Р.Дж. Бикертон) (см. [1]).

**1956 г., апрель.** Доклад И.В. Курчатова в Харуэлле.

**1958 г.** Сенсация (английские газеты от 25 января; публикации в *Nature* с присоединением работ из США [4]): на большой тороидальной установке ZETA (радиусы плазменного тора  $a_p = 0,5$  м,  $R = 1,5$  м) получена плазма с температурой ионов  $T_i \cong 300$  эВ (!). Эти результаты оказались ошибочными. Но через 10 лет на Третьей конференции МАГАТЭ (Новосибирск, 1968) прозвучало сообщение об открытии на этой установке самоорганизующихся спокойных режимов с генерацией магнитного потока в плазме, превышающего исходный магнитный поток внутри проводящего кожуха: вне плазмы магнитный поток отрицательный. Отсюда название "Reversed Field Pinch" — пинч с обращенным полем (RFP).

#### США

**1945–1946 гг.** Семинары Э. Тэллера по УТС. Отрицательные опыты с пучками (Дж. Так, С. Улам) (см. [5]).

**1951 г., март.** Сообщение Президента Аргентины Перона об успешной демонстрации Р. Рихтером управляемой термоядерной реакции привело Л. Спитцера к изобретению стелларатора в виде соленоида в форме пространственной восьмерки.

**1951 г., 11 мая.** Обсуждение предложения Л. Спитцера в Комиссии по Атомной Энергии (АЕС).

**1951 г., 7 июля.** Подписание контракта на исследование в Принстонском университете (Проект Маттерхорн).

Несколько позже все работы по УТС (пинчи в Лос-Аламосе, зеркальная ловушка в Ливерморе и др.) объединяются в Проекте Шервуд.

#### СССР

**1950 г.** Письма О.А. Лаврентьева в Москву, в том числе с описанием идеи осуществления управляемого синтеза дейтериевых ядер при помощи электростатического поля (выслано с Сахалина в конце июля).

**1950 г.** Отзыв А.Д. Сахарова на предложение О.А. Лаврентьева (18 августа) с замечанием, что необходима "очень хорошо отражающая сетка" "с тонкой токонесящей частью" для отражения почти всех падающих на нее ядер обратно в реактор.

**1950 г., август – сентябрь.** Идея создания высокотемпературной плазмы непосредственно в магнитном поле. Работа А.Д. Сахарова и И.Е. Тамма над теорией МТР.

**1950 г., октябрь – декабрь.** Ознакомление руководства с идеей магнитного удержания плазмы.

**1951 г., январь – февраль.** Серия обсуждений и подготовка проекта Правительственного Постановления о работе над магнитным термоядерным реактором (МТР).

**1951 г., 5 апреля.** Подписание Сталиным Распоряжения Правительства о создании лабораторной модели МТР [см. Гончаров Г.А. *УФН* 171 894 (2001)].

**1951 г., середина апреля.** По получении информации о выступлении Президента Перона (25 марта): активизация обсуждений организационных вопросов по проблеме МТР.

**1951 г., 5 мая.** Подписание Сталиным Постановления Правительства об организации работ по МТР (см. раздел "Из Архива Президента Российской Федерации").

**1951–1955 гг.** Экспериментальные и теоретические работы по тороидальным и прямолинейным разрядам; непродолжительные инновации (типа высокочастотного удержания и др.).

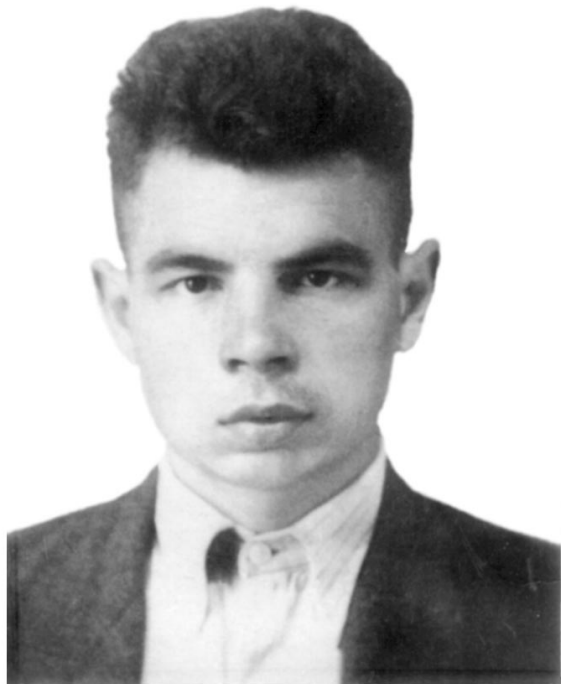
**1955 г.** Пробраз токамака (пока еще с фарфоровой камерой) — тор с магнитным полем (ТМП).

#### 3.1. 50 лет назад

Таким образом, в мае 2001 г. исполнилось 50 лет с момента официального начала программы работ по УТС в СССР и США. История этих исследований забавна и драматична<sup>3</sup>. В нашей стране она началась с письма сержанта Советской Армии Олега Лаврентьева, служившего на Сахалине, в Центральный Комитет ВКП(б) (см. раздел "Из Архива Президента РФ").

Письмо содержало предложения по созданию водородной бомбы с использованием атомной и, что более интересно, предложение по электростатическому удержанию ядер дейтерия для промышленного производства электроэнергии с использованием двух сферических сеток под отрицательным и положительным потенциалами. Письмо попало на отзыв к А.Д. Сахарову, который написал, что "автор ставит весьма важную и не являющуюся безнадежной проблему". Отметив ряд трудностей в реализации электростатического удержания, он указал, что сетка должна быть "с большими зазорами и тонкой токонесящей частью, которая должна отражать обратно в реактор почти все падающие на нее ядра (курсив В.Д. Шафранова). По всей вероятности, это требование не может быть совмещено с требованиями прочности". Но "не исключены какие-либо изменения проекта, которые исправят эту трудность". В конце отзыва Сахаров подчеркнул, что независимо от резуль-

<sup>3</sup> Одна из первых инициатив по УТС упоминается в книге Г.А. Гамова в связи с воспоминанием о встрече с одним из руководителей страны Н.И. Бухариным: "Николай Бухарин — старый революционер и близкий друг покойного Ленина, к тому же единственный из ведущих коммунистов (за исключением, конечно, самого Ленина), который вышел из старой русской семьи. Я столкнулся с ним, когда он был понижен в должности, занимал сравнительно среднее положение в качестве председателя комитета [ВСНХ], в обязанности которого входило следить за развитием советской науки и техники; этот пост, конечно, не имел никакой политической важности (Бухарин стал жертвой сталинских чисток и был казнен через пять лет после того, как я покинул Россию). Однажды он присутствовал на моей лекции в Академии наук (находившейся в то время в Ленинграде) по термоядерным реакциям и их роли как источника энергии на Солнце и других звездах. По окончании лекции он предложил мне возглавить проект по развитию контролируемых термоядерных реакций (и такое предложение в 1932 году!). Я имел бы в своем распоряжении в течение нескольких минут одной ночи в неделю всю электрическую мощность Московского промышленного района, чтобы послать ее через очень толстую медную проволоку, насыщенную маленькими "пузырьками" литиево-водородной смеси. Я отклонил это предложение и доволен, что так поступил, так как это определенно тогда не сработало бы" [6].



Олег Александрович Лаврентьев

татов дальнейшего обсуждения "необходимо уже сейчас отметить творческую инициативу автора". Следует заметить, что письмо было послано с Сахалина 29 июля 1950 г., а отзыв А.Д. Сахарова подписан уже 18 августа 1950 г. К этому времени О.А. Лаврентьев, сдавший экзамены за три последних класса средней школы и демобилизовавшийся, уже поступил в Московский государственный университет. Письмо Лаврентьева натолкнуло А.Д. Сахарова на идею магнитной термоизоляции высокотемпературной плазмы. К октябрю, вместе с И.Е. Таммом, были сделаны первые оценки магнитного термоядерного реактора (МТР). После одобрения в январе 1951 г. предложенного А.Д. Сахаровым и

И.Е. Таммом проекта МТР О.А. Лаврентьеву, давшему толчок к сахаровской идее "замагничивания" плазмы, был предоставлен ряд льгот для ускоренного окончания университета. После окончания МГУ О.А. Лаврентьев, по рекомендации Л.А. Арцимовича, был принят в Харьковский физико-технический институт, где и работает в настоящее время. Проводимые им эксперименты по электростатическому отражению электронов, покидающих осесимметричную "антипробочную" ловушку через кольцевую магнитную щель, вызвали интерес в Курчатовском институте. В 1981–1985 гг. на построенной тороидальной (для устранения ухода частиц по оси) ловушке АТОЛЛ (Анипробочная ТОроидальная Ловушка Лаврентьева) под руководством замечательного физика-экспериментатора М.С. Иоффе были детально изучены физические процессы в плазме такой ловушки с четырьмя кольцевыми щелями. Результаты исследований на АТОЛЛе были опубликованы в 1989 г. (Иоффе М С и др., там же где [10] (М.: ВИНТИ, 1989) с. 6).

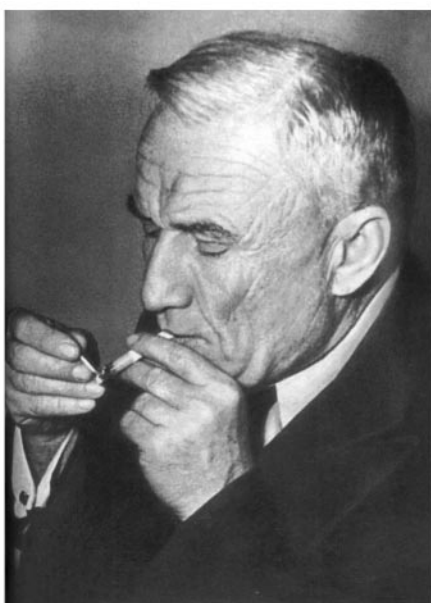
### 3.2. Идея магнитной термоизоляции плазмы<sup>4</sup>

А.Д. Сахаров видел основную новизну идеи Лаврентьева в низкой плотности удерживаемых частиц. Но его, как видно, не устраивала длиннопробежность частиц, которая неизбежно привела бы к нежелательным последствиям взаимодействия частиц высокой энергии с конструктивными материалами. Нельзя ли сделать так, чтобы траектория свободно движущейся частицы не выходила из заданного объема? Можно! В сильном магнитном поле заряженная частица движется по спирали вдоль магнитной силовой линии. Значит, высокотемпературную плазму нужно создавать в тороидальном соленоиде. Если пренебречь кривизной соленоида, то на стенку камеры частицы будут попадать только в результате взаимных столкновений, т.е. в результате диффузии поперек магнитного поля. Но при каждом столкновении траектория частицы может сместиться

<sup>4</sup> В этом разделе я пользуюсь рассказами и письменными воспоминаниями И.Н. Головина.



Андрей Дмитриевич Сахаров



Игорь Евгеньевич Тамм



Лайман Спитцер

только на расстояние масштаба ларморовского радиуса (около 1 см для ионов дейтерия и менее 1 мм для электрона при  $B = 50$  кГс и температуре плазмы  $T_p \sim 50$  кэВ). Таким образом, перенос энергии на материальные элементы реактора сильно снижается.

Сахаров обсудил проблему с И.Е. Таммом, который только что вернулся из отпуска. Несмотря на сильную занятость в это время в работе по термоядерному оружию, оба они стали обсуждать возникающие физические проблемы и оценивать параметры магнитного термоядерного реактора (название предложено И.Е. Таммом) без учета кривизны плазменного тора<sup>5</sup>. В конце октября с идеей МТР знакомятся И.В. Курчатова и его молодой заместитель И.Н. Головин. А.Д. Сахаров, наездами в ЛИПАН, обсуждает методы устранения вертикального к плоскости тора дрейфа заряженных частиц в тороидальном магнитном поле.

Сначала он предлагает подвешивать на оси камеры виток с тороидальным током, магнитное поле которого превращает магнитные силовые линии в винтовые, так что возникает система вложенных тороидальных магнитных поверхностей. Но затем останавливается на индукционном возбуждении тока в самой плазме. Для удержания плазменного кольца с током в равновесии он предложил тороидальный медный кожух с разрезами: вдоль тора — для введения тороидального магнитного поля, а поперек тора — для введения тороидальной ЭДС, генерирующей и поддерживающей электрический ток в плазме.

В 1957 г. такая система получила название "токамак". В январе 1951 г. И.В. Курчатова организует совещание по МТР с руководителями работ по термоядерному оружию и, получив поддержку, начинает готовить проект правительственного постановления о развитии работ по МТР. В феврале 1951 г. проект был направлен Л.П. Берии. Прошел март, но окончательного решения по проекту не было. "В середине апреля неожиданно в кабинет Курча-

това ворвался Министр электропромышленности Д.В. Ефремов с журналом в руке, в котором сообщалось об успешных экспериментах некоего Рихтера в Аргентине, получившего нейтроны в газовом разряде" [8].

### 3.3. Президент Перон об "успехе" Рональда Рихтера

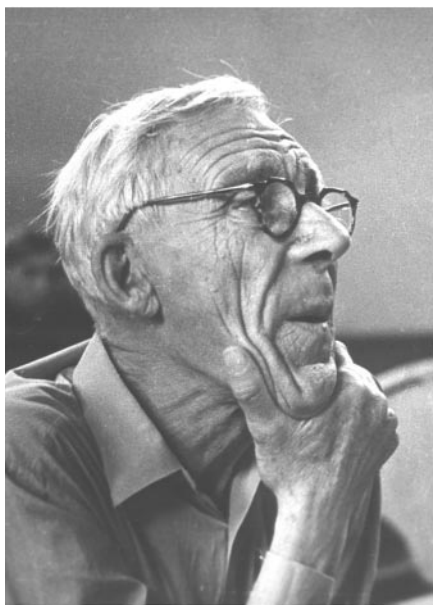
25 марта 1951 г. Президент Аргентины Хуан Перон сделал заявление об успешном "контролируемом высвобождении атомной энергии при сверхвысокой температуре в миллионы градусов без использования уранового топлива" в экспериментах немецкого физика Рональда Рихтера, работавшего в специально созданной секретной лаборатории на острове Хьюзмелл в Аргентине. Узнав от Д.В. Ефремова о заявлении президента Х. Перона, И.В. Курчатова немедленно позвонил Л.П. Берии, и тот срочно созвал совещание для обсуждения организационных вопросов и ранее подготовленного проекта Постановления Правительства. Руководителем экспериментальных исследований по УТС был предложен Л.А. Арцимович (который, не отрываясь от работы по вводу завода для электромагнитного разделения изотопов, одну треть своего рабочего времени должен был заниматься новой задачей управляемого термоядерного синтеза). Руководителем теоретических работ по рекомендации И.Е. Тамма был назначен М.А. Леонтович<sup>6</sup>.

Разработанное в деталях Постановление Правительства, обязывающее руководителей ряда предприятий удовлетворять запросы исследователей УТС, было подписано И.В. Сталиным уже 5 мая 1951 г.

В октябре 1951 г. А.Д. Сахаров и И.Е. Тамм подготовили свои проекты развития исследований по УТС (опубликованные позднее в [7] с. 3, с. 20, с. 31). Параметры "оптимального" МТР Сахарова (расчет основан на цилиндрической модели) были таковы: большой и малый радиусы плазменного тора составляли соответственно  $R = 12$  м,  $a_p = 2$  м;  $B = 50$  кГс,  $n = 10^{14}$  см<sup>-3</sup>,  $T = 100$  кэВ,  $P_{DD} = 880\,000$  кВт.

<sup>5</sup> В сноске работы А.Д. Сахарова "Теория магнитного термоядерного реактора" [7] указано, что расчет большой модели впервые был произведен И.Е. Таммом в октябре 1950 г.

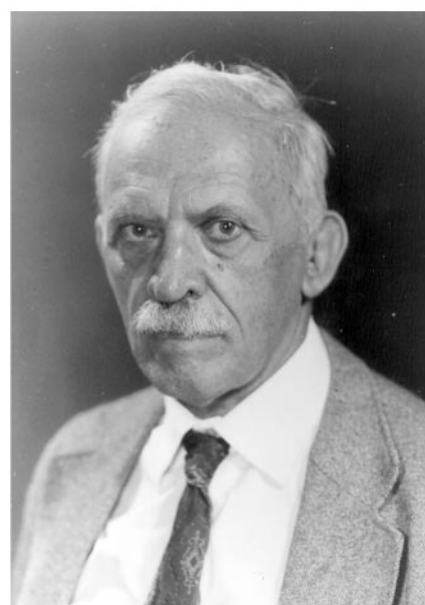
<sup>6</sup> По легенде, один из помощников Берии стал нашептывать ему о неблагонадежности Леонтовича. Берия достаточно громко ответил: "Будет слэдыт, нэ будет врэдыт."



Михаил Александрович Леонтович



Лев Андреевич Арцимович



Игорь Николаевич Головин

Согласно расчетам, в день можно было бы производить на такой установке до 100 г трития или в 80 раз больше  $^{233}\text{U}$ . При этом Сахаров отмечает, что энергетическая ценность  $^{233}\text{U}$ , который может сжигаться в простых реакторах, значительно превышает выделение тепла в самом термоядерном реакторе. Из этих замечаний А.Д. Сахарова ясно, что именно возможность производства зарядов для термоядерных и атомных бомб была определяющей при принятии решения о развитии УТС в то время.

Следует отметить еще раз, что при расчетах реактора не учитывалась кривизна тора. Между тем тороидальный ток, предложенный Сахаровым для компенсации тороидального дрейфа частиц, вносит принципиальные изменения в физику удержания тороидальной плазмы. Одно из них — необходимость учета в теории транспортных явлений особенности дрейфовых траекторий заряженных частиц при наличии азимутальной компоненты магнитного поля (будущая "неоклассика" А.А. Галева и Р.З. Сагдеева!) — было отмечено уже в статье И.Е. Тамма (см. [7] с. 31).

### 3.4. От идеи к ее осуществлению

Рассмотрение замкнутых тороидальных систем вывело проблему тороидального дрейфа заряженных частиц. Как отмечалось выше, для замыкания дрейфовых траекторий заряженных частиц внутри камеры (в то время использовался термин "стабилизация тороидального дрейфа") А.Д. Сахаров предложил два метода:

1. Добавить полоидальное магнитное поле, создаваемое внутренним кольцом с током, поддерживаемым тросами или горизонтальным магнитным полем;

2. Возбуждать высокочастотный ток в самой плазме. Вторая возможность была более реалистичной и трансформировалась в эксперименты с одноимпульсными разрядами, питаемыми конденсаторными батареями.

В Курчатовском институте необходимость введения тороидального тока привела к предложению отказаться от тороидального магнитного поля вообще. И главные усилия вначале были сконцентрированы на пинчах, в которых, в соответствии с соотношением Беннета  $J^2 = 4c^2NT$  [9], температура плазмы должна возрастать пропорционально квадрату тока,  $T \sim J^2$ ! Казалось, что этот путь сулил быстрое решение проблемы<sup>7</sup>. Только небольшая группа во главе с И.Н. Головиным и

<sup>7</sup> **Краткое отступление.** Я начал работать в области ядерного синтеза как раз в это время. В феврале 1952 г., через два месяца после окончания Московского университета, я был распределен в закрытый институт ЛИПАН. М.А. Леонтович принял меня в свою небольшую теоретическую группу. Только мой самый первый отчет (оценка высокочастотного нагрева плазмы в сильном магнитном поле) был связан с МТР Тамма–Сахарова. С отчетами Тамма и Сахарова (очень насыщенными по содержанию), так же, как и с другими ранними отчетами по МТР, я получил возможность ознакомиться только после их рассекречивания в 1958 г. Главным же объектом исследований вначале были пинчи. В первый же год вместе с М.А. Леонтовичем я выполнил работу по стабилизации винтовых возмущений продольным магнитным полем на модели прямого плазменного шнура с поверхностным током. С.И. Брагинский, работавший в это время над своими знаменитыми уравнениями переноса в замагниченной плазме, применил их, в первую очередь, к пинчевым разрядам без продольного магнитного поля. Вместе с ним мы распространили эти исследования и на пинчи с продольным магнитным полем.

Н.А. Явлинским продолжала вести исследования в русле идей Сахарова и Тамма.

### 3.5. Быстрые разряды

Тем временем экспериментаторы "штурмовали" прямые разряды, но без видимых успехов. Казалось, что улучшение вакуумных условий, надлежащее изменение сценария подготовки разряда и т. п. должны привести к успеху.

Наконец, 4 июля 1952 г. в группе Н.В. Филиппова заработали счетчики: получены нейтроны из дейтериевой плазмы пинча! Возникла надежда, что при соответствующем выборе программы эксперимента можно постепенно увеличить температуру плазмы. Однако требование Л.А. Арцимовича проверить все очень тщательно остановило эйфорию. А скоро наступило глубокое разочарование: из-за неустойчивости пинча температура не росла с увеличением тока.

Позже программа исследования пинчей претерпела изменения. Короткоимпульсные разряды, формируемые далеко от стенок за счет специальной формы камеры, дали начало программе исследования плазменного фокуса под руководством Н.В. Филиппова.

### 3.6. Тороидальный разряд

#### со стабилизацией сильным магнитным полем

Теория стабилизации пинча продольным магнитным полем вновь повернула исследования к предложению Сахарова: использовать *и* тороидальное магнитное поле, *и* тороидальный ток. Однако, в некотором смысле, их функции изменились: в новой схеме тороидальный ток обеспечивает равновесие и удержание плазмы, магнитное же поле необходимо для устойчивости. Но никакого намека на повышение температуры плазмы еще не было. Первые установки — и тороидальные, и цилиндрические, имели керамические камеры. Локальный перегрев стенки с низкой теплопроводностью был причиной сильного распыления, загрязнения плазмы, сильного ультрафиолетового излучения. Как следствие, температура плазмы оставалась низкой, на уровне 10–30 эВ.

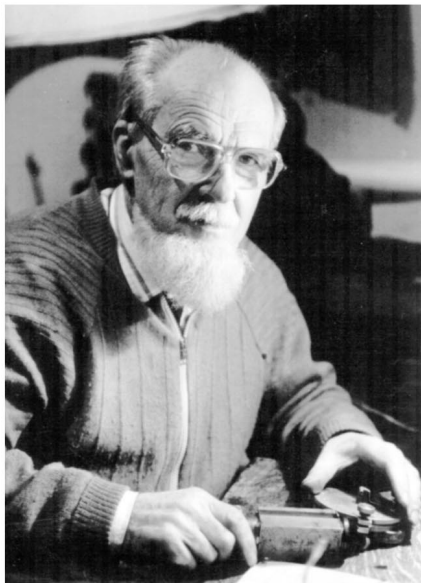
В 1955 г. была построена первая токамакоподобная установка ТМП<sup>8</sup>. Она все еще имела фарфоровую камеру со спиральным металлическим вкладышем. Линии кремния в спектрах излучения плазмы свидетельствовали об испарении стенки камеры под действием мощных тепловых нагрузок [10].

### 3.7. Период пессимизма — до начала 70-х годов

В течение долгого времени типичной оставалась температура не выше 30 эВ. Прогресса не было ни в пинчах, ни в тороидальных системах.

В поисках других возможностей удержания плазмы Г.И. Будкер пришел к идее прямой осесимметричной магнитной системы с усиленным магнитным полем на концах (пробкотрон). Несколько позже И.Н. Головин, бывший заместителем директора института И.В. Курчатова, решил сконцентрироваться на этом простом направлении и разработать большую ловушку ОГРА с магнитными пробками. Начались также физические исследования удержания плазмы с низкой плотностью в небольших пробочных ловушках. Появился и ряд совершенно новых предложений, таких как удержание горячей

<sup>8</sup> Название "токамак" еще не употреблялось, оно стало входить в жизнь после 1958 г.



Николай Васильевич Филлипов



Нутан Аронович Явлинский



Станислав Иосифович Брагинский

плазмы высокочастотным электромагнитным полем, коллапсирующее плазменное кольцо и т.д., но без видимых успехов. Теоретические исследования устойчивости на моделях плазмы с резкой границей определенно указывали на неизбежность участков с выпуклыми магнитными силовыми линиями, где плазма должна вырываться из области удержания. Наступал более чем пятилетний период глубокого пессимизма в отношении решения проблемы УТС.

### 3.8. Всесоюзное совещание 1955 г.

В этих условиях И.В. Курчатов пришел к выводу о необходимости рассекретить программу УТС. Прежде всего в 1955 г. он организовал Всесоюзное, все еще закрытое, но довольно многочисленное и представительное совещание для обсуждения работ по УТС в его институте. С докладами выступили Л.А. Арцимович и М.А. Леонтович. Участники совещания, впервые слышавшие о проблеме МТР, были поражены масштабом цели исследований (да и проведенными работами!) и оказали необходимую поддержку их продолжению. Интерес к исследованиям по УТС переносился и в другие закрытые институты.

Возможно, что не менее важным для работ по УТС было присутствие на этом совещании молодого Б.Б. Кадомцева. Воодушевленный этой совершенно новой областью исследований, сулящей интересную физику, он решил покинуть Обнинск, где вместе со своим руководителем Д.И. Блохинцевым принимал участие в оружейных задачах, и вскоре присоединился к нам. Десятью годами позже он уже был одним из сильнейших теоретиков в области УТС. Уже в 1965 г., на Второй конференции МАГАТЭ в Калэме (Великобритания) именно ему было поручено подвести итоги по представленным теоретическим работам на заключительном заседании. По экспериментальным работам на этой конференции итоги подводил Л. Спитцер<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> Отметим заодно, что на Первой конференции МАГАТЭ в 1962 г. в Зальцбурге итоги по экспериментам подводил Л.А. Арцимович, а по теории — выдающийся американский теоретик М. Розенблут.

### 3.9. Первые шаги к международному сотрудничеству по УТС

Вскоре после Всесоюзного совещания 1955 г. И.В. Курчатов сделал еще один шаг к рассекречиванию экспериментов по пинчам. В апреле следующего, 1956 г., в качестве члена Советской правительственной делегации, возглавляемой Н.С. Хрущевым, И.В. Курчатов прибыл в Великобританию и прочитал в атомном центре Харуэлл лекцию "О возможности осуществления термоядерной реакции в газовых разрядах". Это был первый реальный шаг на пути к международному сотрудничеству в области УТС. На последующих международных конференциях, посвященных физике плазмы, физики, вовлеченные в работы по еще не рассекреченному УТС, узнавали своих коллег по содержанию представленных докладов.

В апреле 1956 г. Курчатовский институт посетила первая иностранная делегация. Это были члены Шведской академии наук. В ответ Х. Альфвен пригласил Л.А. Арцимовича и И.Н. Головина осенью 1956 г. в Стокгольм на Астрофизическую конференцию. Л.А. Арцимович и И.Н. Головин представили доклады, неявно связанные с линией исследования пинчей и токамаков. Здесь же произошла их встреча с Л. Спитцером и Р. Пизом — лидером английской программы по УТС.

В июне 1957 г. на конференции "Явления ионизации в газах" в Венеции было представлено много статей, связанных с вопросами УТС (но без прямого упоминания этой проблемы). С докладами выступали Р. Бикертон, Л. Бирман, М. Розенблут, В.Д. Шафранов, Дж. Так и другие участники исследований по УТС. Но пока только работа С.А. Колгейта о нейтронах в пинчах была явно связана с УТС. По существу же, это была первая международная конференция с большим числом докладов, относящихся к проблеме УТС.

### 3.10. Установка ZETA и связанный с ней бум

Астрофизическая конференция 1956 г. в Стокгольме и конференция 1957 г. в Венеции прошли без сенсаций. Неожиданно в январе 1958 г. в английских газетах появились сенсационные сообщения о достижении температуры в 300 эВ на установке ZETA в Харуэлле.

С.И. Брагинский и я получили задание разобраться, что представляет собой ZETA. Из газетных публикаций было известно, что установка выглядит сферической. Для нас это означало, что она является компактной (малое аспектное отношение) тороидальной системой. Мы знали, что компактность необходима для стабилизации плазмы сильным магнитным полем (в системах типа токамак). Другой возможностью являлась стабилизация слабым магнитным полем, захваченным при сжатии плазмы внутри пинча, при наличии камеры с проводящими стенками (будущий пинч с обращенным полем — RFP). Но здесь компактность не обязательна. К тому же, мы не очень верили в возможность удержания захваченного ("вмороженного") тороидального магнитного поля в течение длительного времени. В силу этих соображений мы пришли к выводу, что ZETA является системой типа токамак.

Вскоре вышел январский номер журнала *Nature* с результатами экспериментов на установке ZETA (а также с некоторыми результатами, полученными американскими авторами). Оказалось, что наше заключение было ошибочным. Однако наш анализ тороидальных систем (хотя и в некоторых отношениях идеализированный) помог продвижению подготовленного Н.А. Явлинским проекта крупного по тем временам токамака Т-3 (И.Н. Головин в это время занимался большой открытой ловушкой ОГРА). Результаты с ZETA (оказавшиеся ошибочными) были последней интригующей историей перед Второй Женевской конференцией по мирному использованию атомной энергии. Эта конференция дала старт широкому международному сотрудничеству.

#### 4. УТС перед Женевской конференцией-58 и после нее

Перед Второй Женевской конференцией (1958 г.) статьи по УТС в Курчатовском институте были рассекречены и опубликованы в сборниках *Физика плазмы и проблемы управляемых термоядерных реакций* (четыре зеленых тома, под редакцией М.А. Леонтовича).

На конференции (сентябрь 1958 г.) были представлены многочисленные подходы к удержанию плазмы ("ярмарка идей", по выражению Л.А. Арцимовича). "Гвоздем" программы Женевской конференции был стелларатор Л. Спитцера. Это действительно была концепция стационарной магнитной системы для удержания плазмы — идеал для УТС (!).

Стеллараторы повлияли и на наши исследования:

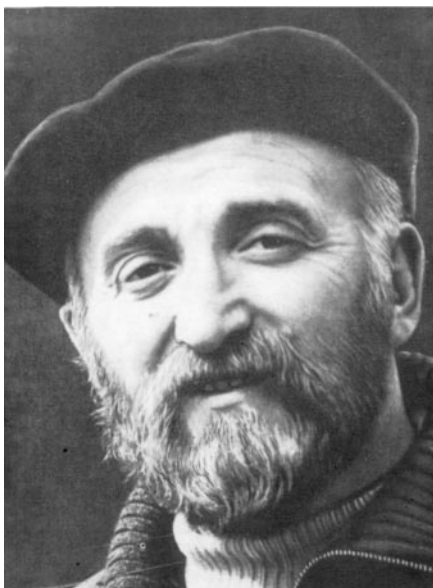
1. Осознавая важность предложения Л. Спитцера, И.В. Курчатова подталкивал Н.А. Явлинского к переходу на стеллараторное направление вместо конструирования нового токамака (это был, как раз, токамак Т-3). Н.А. Явлинский попросил С.И. Брагинского и меня провести сравнение токамака (этот термин еще не употреблялся, здесь он используется для краткости) со стелларатором. Мы привели в пользу токамака примерно следующие соображения. В токамаке при одинаковой длине камеры ее малый радиус больше, чем в стеллараторе; отсюда меньше влияние стенок на разряд. Далее, при одном только омическом нагреве (в то время другие методы не были развиты) преимуществом обладают системы с большим током. Это помогло сохранить линию токамаков в то время.

2. Казавшаяся универсальной, усиленная бомовская диффузия, обнаруженная как на стеллараторе типа "восьмерки", так и позже на комбинированном двух- и трехзаходном стеллараторе С (в форме рейстрека), была дамочным мечом над УТС. Она приводила в уныние исследователей. Но теоретики, пытаясь раскрыть механизм этой диффузии, "прочесали" уйм потенциальных неустойчивостей, развили теорию турбулентности и тем самым способствовали развитию физики плазмы.

3. Соревнование токамак–стелларатор заставляло интенсифицировать работы по УТС.

#### 5. Преодоление пессимизма

В 60-е годы в исследованиях по УТС начинаются положительные сдвиги. Появилась надежда, что поведением плазмы можно управлять.



Герш Ицкович Будкер



Михаил Соломонович Иоффе



Борис Борисович Кадомцев



1961 г. На Первой конференции МАГАТЭ (Зальцбург, Австрия) доложены эксперименты М.С. Иоффе по стабилизации плазмы в открытых ловушках. Объяснение Б.Б. Кадомцевым экспериментов Иоффе показало отсутствие боровской диффузии (!). Следствие для тороидальных систем: средняя магнитная яма,  $((B^2) + 2\mu_0 p)' > 0$ , в замкнутой системе с изменяющимся знаком кривизны линий магнитного поля является реальным стабилизирующим фактором<sup>10</sup>.

1962 г. Объявлен первый успех токамаков: коррекция положения плазмы вертикальным магнитным полем привела к улучшению параметров плазмы.

1965 г. Проходит Вторая конференция МАГАТЭ в Калэме (Великобритания). Из доклада Л.А. Арцимовича: "Время удержания в наших экспериментах почти в 10 раз превышает боровское." Л. Спитцер, выступавший с обзором экспериментальных работ, счел, что такой коэффициент — еще не доказательство отсутствия боровской диффузии.

1968 г. Третья конференция МАГАТЭ проходит в Новосибирске. Доложено, что на токамаке Т-3 средняя температура электронов  $\langle T_e \rangle$  близка к 1 кэВ, боровская диффузия определенно отсутствует (!). Но не все верят этим данным. Тогда Арцимович приглашает физиков из Калэма с их лазерной диагностикой (5 тонн оборудования) для измерения локальной температуры электронов методом томсоновского рассеяния.

1969 г. Проходит Второе рабочее совещание по тороидальным системам в г. Дубне. Д. Робинсон докладывает о локальных измерениях температуры электронов  $T_e$  на токамаке Т-3. Это триумф токамаков!



Борис Борисович Кадомцев и Андрей Дмитриевич Сахаров в зале токамака Т-15 в Институте атомной энергии им. И.В. Курчатова, 1987 г. (фотография Ю.Е. Макарова).

<sup>10</sup> По ходатайству американских физиков М.С. Иоффе была присуждена премия Форда. Это привело к драматическому исходу. По указанию "сверху" М.С. Иоффе вынужден был отказаться от этой премии, что не могло не сказаться на отношении к нему зарубежных коллег.

1970 г. Направление "токамак" становится международным. Проходит закрытие других направлений УТС в ряде американских и европейских лабораторий.

1975 г. Ввод в строй токамака Т-10 в Курчатовском институте и токамака РЛТ (Принстон, США), на котором через три года получена плазма с температурой около 8 кэВ.

На смену этим токамакам приходят еще более крупные, предреакторного масштаба. В настоящее время заканчивается работа над международным проектом опытного реактора-токамака ITER-FEAT.

**Основные результаты первого периода истории УТС в Курчатовском институте:**

1. Продемонстрирована возможность удержания высокотемпературной плазмы.

2. Токмак, как достаточно простая система с омическим нагревом, становится лидером, открывающим путь к УТС другим системам, прежде всего, стационарным системам стеллараторного типа.

**Современное состояние исследований по УТС в Институте ядерного синтеза РНЦ "Курчатовский институт"** (директор — чл.-корр. РАН В.П. Смирнов):

1. Работает токамак Т-10 (главная область исследований — так называемые транспортные барьеры) [11].

2. Разрабатывается проект токамака Т-15М, моделирующего ITER-FEAT в качестве мобильного помощника в выборе режимов работы, в проявлении неожиданных явлений в термоядерной плазме и т.д.

3. Обновляется программа по пинчам.

4. Изучаются некоторые поисковые направления для малонейтронного ядерного топлива  $D-^3He$ .

5. Продолжаются многоплановые теоретические исследования по ключевым вопросам физики плазмы и УТС.

## 6. Заключение

Первые 20 лет истории исследований по управляемому термоядерному синтезу были годами неопределенности. Последующие пять лет устранили эту неопределенность: ледоколом, расчищающим путь другим магнитным системам удержания плазмы, стал токамак. Теперь уже не возникает сомнений в осуществимости управляемой термоядерной реакции в плазме, удерживаемой магнитным полем. На повестку дня выступают (и решаются) проблемы технологии и материаловедения.

Исследования по УТС представляют жизнеспособную ветвь современной науки. Они внесли большой вклад в фундаментальные научные проблемы.

Нелинейные явления в непрерывных средах, включая двумерные и трехмерные солитоны, процессы стохастичности и возникновения структур (самоорганизация) — вот примеры развивающихся научных направлений, во многом стимулированных развитием физики высокотемпературной плазмы.

Исследования по УТС стимулировали развитие вакуумной технологии больших объемов, технологии сверхпроводящих магнитных систем, создание мощных микроволновых генераторов и т.д.

Жизнеспособность проблемы управляемого термоядерного синтеза является объективной гарантией ее развития.

**Благодарности.** Я хотел бы поблагодарить директора NIFS, Япония, проф. М. Фудживара (M. Fujiwara), проф. Т. Като (T. Kato) и проф. Ч. Намба (Ch. Namba)

— руководителей Центра по сбору данных и планированию этого института — за гостеримство и поддержку, позволившие подготовить этот материал по начальной истории УТС. Я приношу также благодарности А.В. Тимофееву, обратившему мое внимание на эпизод с Н.И. Бухариным; А.Б. Кукушкину и В.А. Ранцеву-Картину за работу над фотографиями; В.И. Ильгисонису и М.И. Михайлову за прочтение рукописи и сделанные замечания.

## Список литературы

1. Carruthers R *Plasma Phys. Cont. Fus.* **30** 1993 (1988)
2. Blackman M *Proc. Phys. Soc. London Ser. B* **64** 1039 (1951)
3. Cousins S W, Ware A A *Proc. Phys. Soc. London Ser. B* **64** 159 (1951)
4. Controlled Release of Thermonuclear Energy *Nature* **181** (4604) 217 (1958)
5. Bishop A S *Project Sherwood* (Addison-Wesley, 1958)
6. Гамов Дж *Моя мировая линия: Неформальная автобиография* (Пер. с англ. Ю И Лисневского) (М.: Наука, 1994) с. 102 [Gamov G *My World Line: an Informal Autobiography* (New York: The Viking Press, 1970)]
7. Сахаров А Д "Теория магнитного термоядерного реактора" Ч. II, в сб. *Физика плазмы и проблема управляемых термоядерных реакций* (Отв. ред. М А Леонтович) Т. 1 (М.: Изд-во АН СССР, 1958) с. 20; Тамм И Е, там же, с. 3 и с. 31
8. Головин И Н, в сб. *Он между нами жил... Воспоминания о Сахарове* (М.: Практика, 1996) с. 263
9. Bennett W H *Phys. Rev.* **45** 890 (1934)
10. Муховатов В С "Токамаки", в сб. *Итоги науки и техники. Сер. Физика плазмы* (Ред. В Д Шафранов) Т. 1, Ч. 1 (М.: ВИНТИ, 1980) с. 6
11. Разумова К А *УФН* **171** 329 (2001)

## Роль О.А. Лаврентьева в постановке вопроса и иницировании исследований по управляемому термоядерному синтезу в СССР

Б.Д. Бондаренко

### 1. Введение

При изложении пятидесятилетней истории исследований по термоядерному синтезу в СССР представляется интересным вначале коротко рассказать о роли молодого солдата Советской Армии О. А. Лаврентьева, проходившего в 40-е–50-е годы воинскую службу на острове Сахалин, в иницировании и развитии исследований по управляемому термоядерному синтезу (УТС) в СССР, а также о его предложении по конструкции водородной бомбы.

Отцом водородной бомбы в Советском Союзе по праву считается А.Д. Сахаров. Среди создателей атомной и водородной бомб в первой шеренге стоят также имена И.В. Курчатова (научного руководителя ядерных

программ), И.Е. Тамма, Ю.Б. Харитона, Я.Б. Зельдовича, К.И. Щелкина, Е.И. Забабахина, а в последнее время также и В.Л. Гинзбурга [после рассекречивания его предложения об использовании в водородной бомбе (H-бомбе) дейтерида лития ( ${}^6\text{LiD}$ )].

Следует отметить, что предложение об использовании в водородной бомбе в качестве основного ядерного горючего твердого химического соединения (брикета)  ${}^6\text{LiD}$  вместо ранее предполагавшегося сжиженного дейтерия, явилось одним из важнейших факторов, позволивших в дальнейшем создать достаточно компактное транспортабельное термоядерное оружие практически неограниченной мощности. Использование в качестве основного горючего сжиженного дейтерия требовало применения громоздкой криогенной технологии, что делало это оружие практически не транспортабельным.

Об истории создания в Советском Союзе ядерной и термоядерной бомб написано достаточно много обзоров [1–6] и даже монографии [7]. Роль советских ученых, если отвлечься от заимствований секретных западных сведений, отражена в них достаточно объективно. Этого не скажешь об истории работ по УТС в нашей стране. Отцами идеи УТС с магнитным удержанием горячей плазмы в термоядерных реакторах считаются А.Д. Сахаров и И.Е. Тамм. Да, это так, но то, что при этом практически никогда не упоминается имя О.А. Лаврентьева, — это, безусловно, большая несправедливость.

В настоящей статье я постарался устранить эту несправедливость и рассказать о роли О.А. Лаврентьева как в проблеме иницирования и развития работ по УТС, так и в проблеме создания водородной бомбы в нашей стране.

Проблема УТС представляет колоссальную научно-техническую задачу всемирного масштаба; решением этой проблемы заняты теперь огромные коллективы многих стран. Я не собираюсь рассказывать о них и тем более о достижениях в этой области на сегодняшний день.

Хочу начать с того, что впервые в СССР такую задачу сформулировал и предложил некоторое ее конструктивное решение в середине 1950 г. молодой солдат Олег Александрович Лаврентьев, проходивший в то время службу в воинской части на острове Сахалин.

29 июля 1950 г. его предложение, состоявшее, в основном, из двух идей, было отправлено секретной почтой в Москву в адрес ЦК ВКП(б).

Первая идея являлась предложением по физической схеме водородной бомбы. Вторая идея была предложением использовать в промышленной энергетике управляемый термоядерный синтез. В предложении была представлена конкретная схема реактора, в которой термоизоляция высокотемпературной плазмы достигалась созданием высоковольтного электрического поля.

В Москве работа была передана на рецензирование ведущим ядерщикам<sup>1</sup>. В их отзывах об этой работе были отмечены приоритет, оригинальность и смелость мыслей автора. Под влиянием этой работы появились новые проекты других авторов: МТР (магнитные термоядерные реакторы), ТОКАМАКи (ТОроидальные КАмеры с МАгнитными Катодками), магнитные "бутылки" — "пробкотроны" и др. О.А. Лаврентьев, уже будучи в Москве и затем в Харькове, продолжает совершенство-

Б.Д. Бондаренко. Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (РФЯЦ – ВНИИЭФ) 607190 г. Саров, Нижегородская обл., просп. Мира 37, Российская Федерация  
Тел. (831) 30-457-78, (831) 30-511-39, (095) 465-17-76  
Факс (831) 30-427-29; E-mail: bondarenko@vniief.ru

Статья поступила 29 ноября 2000 г.

<sup>1</sup> См. отзыв А.Д. Сахарова, публикуемый в разделе "Из Архива Президента Российской Федерации" [*УФН* **171** 902 (2001) с. 908].

вать свою модель так называемой "электромагнитной ловушки".

## 2. Рассказ Я.Б. Зельдовича об О.А. Лаврентьеве и его предложении по УТС

Впервые я услышал фамилию О.А. Лаврентьева на Семипалатинском полигоне в 1958 г. Министерство среднего машиностроения (МСМ) и Всесоюзный научно-исследовательский институт экспериментальной физики (ВНИИЭФ) проводили тогда серию испытаний ядерных зарядов, которые разрабатывались, в теоретической части, в секторе № 2 Я.Б. Зельдовича в моем отделе № 3.

Мы с академиком Яковом Борисовичем Зельдовичем — моим шефом — представляли тогда научную часть Государственной комиссии по испытаниям.

В то время на Семипалатинском полигоне функционировала школа офицеров по обучению искусству технического обслуживания боевых ядерных зарядов (боеприпасов) в течение всего цикла их эксплуатации, от серийного изготовления на заводе до боевого дежурства на стартовой позиции.

По предложению командования полигона (И.Н. Гуреев, В.М. Барсуков) Я.Б. Зельдович взялся прочесть популярную лекцию о ядерном оружии и ядерной энергетике для всего офицерского состава гарнизона.

Он любил популяризировать науку и делал это с большим удовольствием и высоким мастерством.

Яков Борисович был прекрасным лектором, весьма эрудированным и остроумным. Зал в Доме офицеров был полон. Мне кажется, было человек 300.

Так вот, среди прочих вопросов он затронул вопрос о том, как возникла у Андрея Сахарова в 1950 г. идея магнитного термоядерного реактора. (Я лично услышал об этом впервые.) Вот что рассказал тогда Я.Б. Зельдович:

*В пятидесятых годах на Сахалине проходил действительную службу солдат с семиклассным образованием, Олег Александрович Лаврентьев. В начале 1950 г. он написал письмо И.В. Сталину с предложением об использовании термоядерной реакции синтеза тяжелых изотопов водорода — дейтерия и трития для мирной энергетики. Принципиальным моментом в его предложении была идея удержания ионов высокотемпературной термоядерной плазмы от попадания на стенки реактора электрическим полем.*

Далее Яков Борисович сказал, что предложение Лаврентьева из ЦК ВКП(б) было направлено в середине 1950 г. на рецензию А.Д. Сахарову, тогда еще кандидату наук, который отозвался о нем весьма высоко. Как он выразился, предложение действительно было интересное, смелое и оригинальное.

Сам солдат О.А. Лаврентьев был приглашен в Москву. Он был тогда уже в чине младшего сержанта и они<sup>2</sup> помогли ему получить высшее образование.

Идея О.А. Лаврентьева об удержании высокотемпературной плазмы от попадания на стенки реактора электрическим полем навела А.Д. Сахарова на мысль об удержании высокотемпературной плазмы магнитным

полем. Откуда и появилось предложение А.Д. Сахарова и И.Е. Тамма (1950 г.) о разработке тороидальной модели магнитного термоядерного реактора (МТР), впоследствии трансформировавшегося в "токамак". Такая точка зрения была изложена Я.Б. Зельдовичем в его популярной лекции.

Разработка и исследования МТР начались в ЛИПАНе (ныне Российский научный центр "Курчатовский институт") в 1951 г. под руководством первого заместителя И.В. Курчатова И.Н. Головина и под научным руководством (наездами из г. Сарова) А.Д. Сахарова. Экспериментальную часть работ по УТС возглавлял Л.А. Арцимович, теоретическую — М.А. Леонтович.

Впоследствии мне пришлось несколько раз встречаться с О.А. Лаврентьевым, иметь с ним длительные, приятные беседы. Его рассказы о том, как все это происходило тогда и как события развивались впоследствии, были очень интересными, и в ряде моментов поучительными. Мы беседовали часами, вспоминая былые дни. Олег Александрович Лаврентьев в настоящее время в добром здравии проживает в Харькове, работает в Институте физики плазмы Харьковского физико-технического института (ХФТИ), опубликовал свыше 100 научных работ на разных языках, на его счету несколько десятков изобретений. Он также рассказал о своей роли в проблемах водородной бомбы и УТС в препринте ИОФ РАН № 8 за 1993 г. [8].

Но его рассказ несколько отличается от повествования Я.Б. Зельдовича. Об этом и о тех впечатлениях, которые я вынес из бесед с ним, я и расскажу ниже.

Рассказ Якова Борисовича на его лекции остался у меня в долгоживущей памяти. Конечно, интересно и не совсем обычно: солдат действительной службы с семиклассным образованием пишет письмо И.В. Сталину с острова Сахалин, приглашен в Москву, дает толчок Сахарову и Тамму в их изобретении МТР, и это же было только самое начало!

## 3. Рассказ О.А. Лаврентьева о себе и о своих предложениях с комментариями автора статьи

Олег Александрович Лаврентьев родился 7 июля 1926 г. в г. Псков в семье выходцев из крестьян, переехавших после Октябрьской революции в город. Отец Александр Николаевич работал на разных должностях, а мать — Александра Федоровна — была медсестрой. В 18 лет О.А. Лаврентьев ушел добровольцем на фронт. Участвовал в боях за освобождение Прибалтики (1944–1945 гг.), награжден медалями "За победу над Германией" и "XXX лет Советской Армии". После окончания войны был переведен в Сахалинский военный округ. С ядерной физикой познакомился в 1941 г., когда учился в 7-м классе. Знакомился по научной литературе и учебным пособиям по ядерной физике, выходившим в СССР перед войной. В то же время узнал об урановой проблеме, о возможности осуществления цепной ядерной реакции на изотопе  $^{235}\text{U}$ , о необходимости разделения изотопов  $^{238}\text{U}$  и  $^{235}\text{U}$  и способах их разделения. Все это настолько его увлекло, что он решил посвятить этому всю свою жизнь.

Помешала война, которая на несколько лет оторвала его от этих занятий. Однако после перевода на

<sup>2</sup> Надо понимать, Я.Б. Зельдович и А.Д. Сахаров.

Сахалин для него сложилась более благоприятная обстановка. Его переводят на сержантскую должность радиотелеграфистом. Он стал получать денежное довольствие, выписывать журнал *Успехи физических наук* (УФН) и ряд других научных и учебных пособий и пользоваться технической литературой из библиотеки воинской части. Изучает механику, молекулярную физику, электричество и магнетизм, ядерную физику, готовит доклады по новинкам военной техники для офицерского состава.

Идея об использовании термоядерного синтеза в промышленных целях, рассказывал Олег Александрович, впервые зародилась у него зимой 1948 г. при подготовке к лекции для офицерского состава по атомной проблеме. В это время ему и еще двоим военнослужащим разрешили посещать вечернюю школу рабочей молодежи. В мае 1949 г. он получил аттестат зрелости, закончив три класса за один год.

В январе 1950 г. президент США Г. Трумэн, выступая перед Конгрессом, призвал ученых США к форсированию работ по водородной бомбе<sup>3</sup>. Это послужило толчком для действий О.А. Лаврентьева.

Как сказал О.А. Лаврентьев, он был уже тогда уверен, прочитав и проанализировав много соответствующих открытых публикаций, что знает, как сделать водородную бомбу, и был уверен, что она обязательно сработает. Тогда он пишет короткое письмо Сталину, в котором сообщает, что ему известен секрет водородной бомбы. Ответа на это письмо О.А. Лаврентьев *не получил* и, как он прокомментировал это в нашем разговоре, его письмо, вернее всего, утонуло в потоке поздравлений в связи с 70-летием И.В. Сталина 21-го декабря 1949 г.

Через несколько месяцев он пишет письмо такого же содержания в ЦК ВКП(б). Реакция на это письмо была быстрой. Из Москвы позвонили в Сахалинский обком партии и ему, по распоряжению обкома, выделили отдельную охраняемую комнату в воинской части, где он получил возможность написать свою первую работу по термоядерному синтезу.

Работа содержала в основном две ключевые идеи.

Первая идея представляла описание принципа действия водородной бомбы с дейтеридом лития-6 в качестве основного термоядерного горючего и урановым детонатором на принципе пушечного сближения двух подкритических масс делящегося материала. Урановый детонатор располагался в центре сферы, заполненной <sup>6</sup>LiD.

Вторая идея содержала предложение устройства термоядерного реактора для промышленных целей. Реактор представлял собой систему из двух сферических, концентрически расположенных электродов. Внутренний электрод предлагалось выполнить в виде прозрачной сетки, внешний электрод должен был являться источником ионов. На сетку предполагалось подавать высокий отрицательный потенциал. В предлагаемой схеме плазма создается инъекцией ионов с поверхности сферы и эмиссией вторичных электронов с сетки. Термоизоляция плазмы осуществляется путем торможения ионов во внешнем электрическом поле. В результате фокусировки ионов дейтерия в центре сферы там достигается наибольшая плотность плазмы и происходит



Младший сержант срочной службы (радиотелеграфист) Олег Александрович Лаврентьев. Остров Сахалин, 1950 г.

интенсивное термоядерное "горение". Вблизи сетки плотность плазмы падает на несколько порядков. Там термоядерная реакция идет слабо, тепловые потери незначительны и не приводят к разрушению сетки.

Таким образом, по представлениям О.А. Лаврентьева, достигалась термоизоляция плазмы.

Все это было еще на Сахалине. Работа была написана в одном экземпляре (черновик уничтожили) и отправлена секретной почтой 29 июля 1950 г. в ЦК ВКП(б) на имя заведующего отделом тяжелого машиностроения И.Д. Сербина (см. раздел "Из Архива Президента Российской Федерации").

По просьбе О.А. Лаврентьева он был досрочно демобилизован в июле 1950 г. и направился через г. Южно-Сахалинск в Москву для поступления в Московский государственный университет, куда уже раньше отправил заявление в Приемную комиссию.

В обкоме, в Южно-Сахалинске, его встретили приветливо. В ожидании самолета на Хабаровск ему дали почитать отчет Г.Д. Смита *Атомная энергия для военных целей* [9], из которого он почерпнул много сведений об американском Манхэттенском проекте. Это дало ему идею для новой компоновки водородной бомбы импловивного типа с <sup>6</sup>LiD в центре. Схемы конструкций водородной бомбы и энергетического промышленного термоядерного реактора приведены в препринте ИОФ РАН № 8, 1993 г. [8].

В Москву О.А. Лаврентьев приехал 8 августа 1950 г. Экзамены в МГУ сдал и прошел по конкурсу без чьей-либо помощи. В сентябре, будучи уже студентом МГУ,

<sup>3</sup> Это был ответ на наше первое испытание 29 августа 1949 г. атомной бомбы РДС-1 или ДЖО-1, как ее называли американцы.

встретился с И.Д. Сербиным. Тот попросил его написать свои соображения по термоядерному синтезу. Он написал эту работу (писал в секретной комнате) и через экспедицию ЦК направил И.Д. Сербину<sup>4</sup>.

В то время О.А. Лаврентьев жил в студенческом общежитии на Стромьнке, дом 32, комн. 603. Третьего января 1951 г. вечером, когда он пришел в общежитие, ему передали, чтобы он позвонил по такому-то телефону. Позвонил. В ответ представляется абонент — Министр измерительного приборостроения В.А. Махнев. Как потом он узнал, Махнев был секретарем Специального комитета, председателем которого был Л.П. Берия. Махнев предложил прямо сейчас приехать к нему в Кремль. Пропуск был заказан. В бюро пропусков у Спасских ворот был еще один человек. Они прошли вместе. Махнев вышел из кабинета и представил их друг другу. Это был Андрей Дмитриевич Сахаров.

В кабинете Министра О.А. Лаврентьев увидел на столе свою вторую работу<sup>5</sup>, уже написанную в Москве. Она была напечатана и прекрасно оформлена. Махнев спросил Сахарова, читал ли он эту работу. Тот ответил, что еще не читал, но читал предыдущую работу, которая произвела на него сильное впечатление. Махнев порекомендовал Сахарову прочесть также и вторую работу.

Через несколько дней они встретились снова на том же месте. Махнев сказал, что их примет председатель Специального комитета.

Далее рассказывает О.А. Лаврентьев:

*Через некоторое время, правда не очень малое, в кабинет председателя пригласили Сахарова, потом меня.*

*Из-за стола поднялся грузный мужчина в пенсне и пошел навстречу, подал руку, предложил садиться. Далее последовали вопросы о родственниках, в том числе осужденных и т.д. О делах ничего. Это были смотрины. О моих документах ему уже было известно заранее. Ему хотелось, как я понял, посмотреть на меня и, возможно, на А.Д. Сахарова, что мы за люди. По-видимому, мнение оказалось благоприятным<sup>6</sup>.*

<sup>4</sup> Заведующий отделом тяжелого машиностроения ЦК ВКП(б) И.Д. Сербин пишет в Совет Министров тов. Махневу В.А.: "... направляю предложение Лаврентьева и отзыв Сахарова для принятия необходимых мер". (Подпись: "Сербин, 27 сентября 1950 г.") [Архив Президента Российской Федерации (АП РФ), ф. 93, д. 30/51 л. 87].

<sup>5</sup> В Архиве Президента Российской Федерации ф. 93, д. 30/51 на листах 88–94 представлены написанные рукой О.А. Лаврентьева дополнительные расчеты по системе УТС (на 7 листах). Сербин направляет этот материал с сопроводительным письмом (лист 95 архива) Махневу 2 января 1951 г. как дополнение к 1-му предложению.

<sup>6</sup> В Архиве Президента Российской Федерации ф. 93, д. 30/51 на листах 98, 99 имеется докладная на имя Л.П. Берия: "По Вашему поручению [см. письмо Л.П. Берия от 14 января 1951 г., цитируемое в статье Г.А. Гончарова *УФН* 171 894 (2001) с. 897] сегодня нами был вызван в ПГУ студент 1-го курса Физ. фака МГУ Лаврентьев О.А. Он рассказал о своих предложениях и своих пожеланиях. Считаем целесообразным: 1. Установить персональную стипендию — 600 руб. 2. Освободить от платы за обучение в МГУ. 3. Прикрепить для индивидуальных занятий квалифицированных преподавателей МГУ: по физике Телеснина Р.В., по математике — Самарского А.А. (оплату производить за счет Главка). 4. Предоставить О.А.Л. для жилья одну комнату площадью 14 м<sup>2</sup> в доме ПГУ по Горьковской набережной 32/34, оборудовать ее мебелью и необходимой научно-технической библиотекой. 5. Выдать О.А.Л. единовременное пособие 3000 руб. за счет ПГУ". Подписана: Б. Ванников, А. Завенягин, И. Курчатова, Н. Павлов. 19 января 1951 г.

*Через некоторое время посыпались какие-то блага: повышенная стипендия, Постановлением Совета Министров СССР была выделена вместо общежития меблированная комната в Москве близко к центру (набережная М. Горького, дом 32/34), организована доставка любой необходимой литературы, назначены оплачиваемые Первым главным управлением (ПГУ) дополнительные преподаватели. Когда вышли из Кремля вместе с Сахаровым, он сказал, что теперь будет все хорошо, будем работать вместе.*

*Вскоре произошло новое событие. Вечером в общежитии меня разыскал молодой человек спортивного вида и предложил ехать с ним. Мы поехали. Приехали к зданию на Новой Рязанке, недалеко от Комсомольской площади. После оформления пропусков, а это была длительная процедура, поднялись в кабинет Н.И. Павлова на втором этаже. Оказывается, меня там уже давно ждали. Прошли в другой кабинет. Я прочел табличку — Б.Л. Ванников. В кабинете оказались два генерала — Б.Л. Ванников и Н.И. Павлов, а также штатский с черной окладистой бородой. За все время моей службы я не видел ни одного генерала, а тут сразу два, да этот бородатый штатский. Начался разговор. Вопросы задавал бородатый. Впоследствии я узнал, что это был И.В. Курчатова.*

*В разговоре Павлов вставил реплику: "Он хочет в это устройство вставить атомную бомбу". Это меня настолько насторожило, что я невольно подумал: "Могу ли я рассказывать им об устройстве водородной бомбы без санкции сверху?", и у меня невольно вылетело вслух, что я был у Берии.*

*Дальше моим трудоустройством занялся Павлов<sup>7</sup>. Я приходил к нему, рассказывал о своих идеях, излагал их письменно и отдавал ему. Он прятал все записки в сейф. Своим добрым отношением к моим работам он вдохновлял меня на новое творчество. Он познакомил меня с Д.И. Блохинцевым, который в то время руководил в Обнинске строительством первой в мире атомной электростанции.*

<sup>7</sup> В Архиве Президента Российской Федерации ф. 93, д. 30/51 на листах 102, 103 находится докладная записка Б.Л. Ванникова, А.П. Завенягина, И.В. Курчатова от 26 февраля 1951 г.

"Товарищу Берия Л.П. В соответствии с Вашим Указанием об участии, по возможности, в научно-исследовательских работах, проводимых по МТР, в беседах с О.А. Лаврентьевым в последнее время выяснилось, что он хотел бы сосредоточить свое внимание на математической проверке своей идеи создания установки по непосредственному превращению ядерной энергии в электрическую с использованием <sup>7</sup>Li и водорода. Однако требующиеся колоссальные электрические мощности (порядка сотен миллионов киловатт) для пуска установки на легких ядрах заставляют его обратиться прежде всего к разработке "СТАРТЕРА", производящего электроэнергию за счет деления тяжелых ядер <sup>239</sup>Pu и <sup>235</sup>U или их смеси. В связи с тем, что разработка вопросов получения промышленной энергии посредством "атомных" агрегатов сосредоточена в лаборатории "В" ПГУ, полагали бы целесообразным поручить Д.И. Блохинцеву организовать в лаборатории небольшую теоретическую группу, на которую возложить задачу математического обчета предлагаемой О.А. Лаврентьевым идеи. На время выполнения этой работы прикомандировать тов. Лаврентьева без отрыва от учебы к лаборатории "В" в качестве внештатного сотрудника. Тов. тов. Блохинцев и Лаврентьев, который имеет возможность в течение месяца пять дней бывать в Обнинской, с таким предложением согласны. Просим Вашего указания." Подписано: Б.Л. Ванников, А. Завенягин, И. Курчатова. 26 февраля 1951 г.

Затем Н.И. Павлов познакомил меня с И.Н. Головиным, одним из руководителей работ по МТР в ЛИПАНе. Меня пригласили поработать у И.Н. Головина<sup>8</sup>.

Кроме того мне была предоставлена возможность заниматься дополнительно с преподавателями: физики (Телеснин Роман Владимирович, физик, закончил в 1926 г. Киевский государственный университет), математики (Самарский Александр Андреевич, в настоящее время академик РАН) и английского языка.

С А.А. Самарским у меня сложились очень хорошие отношения. Я ему обязан не только конкретными знаниями в области математической физики, но и в области методологии, в умении четко поставить задачу.

Цитирую из [8]:

"С А.А. Самарским я провел расчеты "магнитных" сеток. Были составлены и решены дифференциальные уравнения, позволившие определить величину тока через витки сетки, при котором сетка защищалась магнитным полем этого тока от бомбардировки высокоэнергетическими частицами плазмы. Эта работа, законченная в марте 1951 г., дала начало идее электромагнитных ловушек.

В мае 1951 г. я получил допуск в ЛИПАН для работы в группе И.Н. Головина. Здесь мне рассказали об идее термоизоляции высокотемпературной плазмы магнитным полем, предложенной А.Д. Сахаровым и И.Е. Таммом. Я думал, что они предложили эту идею независимо от моей работы июля 1950 г. Но, как рассказал потом Сахаров, на эту идею его натолкнула моя работа, которую он рецензировал."

В качестве комментария к рассказу О.А. Лаврентьева можно добавить следующее.

Отметим, что А.Д. Сахаров возвращается к вопросу о роли О.А. Лаврентьева в проблеме УТС не один раз. Первый официальный отзыв написан 18 августа 1950 г. и имел гриф "Совершенно секретно, особая папка", второй отзыв написан 24 ноября 1973 г. по просьбе О.А. Лаврентьева для Государственного комитета по делам изобретений и открытий при СМ СССР, "не секретно", третий отзыв написан в книге А.Д. Сахарова *Воспоминания* (1989 г.) [10], где А.Д. Сахаров описывает свою деятельность по УТС и указывает значение в ней пионерских предложений О.А. Лаврентьева.

В отзыве-справке, датированном 24 ноября 1973 г. [8, с. 88], А.Д. Сахаров пишет, что в июне или июле 1950 г. он рецензировал работу О.А. Лаврентьева, которая произвела на него сильное впечатление своей оригинальностью и смелостью мысли, далее он отмечает, что в этой работе автор:

1. Выдвинул предложение об использовании УТС для промышленных целей.

<sup>8</sup> В Архиве Президента Российской Федерации ф. 93, д. 30/51, лист 104: "Товарищу Берия Л.П. (докладная). Предлагается в качестве практиканта в отделе электроаппаратуры ЛИПАНа: 1. Ознакомить О.А.Л. с работами по МТР. 2. Посещать семинары по МТР. 3. Прикрепить к О.А. Лаврентьеву консультанта по газовым разрядам тов. Андрианова. 4. Посещать по вторникам и пятницам ЛИПАН без ущерба для занятий в МГУ. (Лаврентьев согласен)." Подписали: А. Завенягин, И. Курчатов, Н. Павлов. 24 апреля 1951 года.

Лист 105: небольшая записка на отдельном маленьком листочке бумаги, (примерно 4x4 см), в ней написано только одно слово: "СОГЛАСЕН" (и поставлена личная подпись.) "Л. Берия 12 мая 1951 г." На этом переписка по Лаврентьеву в архивном деле Российской Федерации ф. 93, д. 30/51 заканчивается.

2. Предложил конкретную схему, основанную на термоизоляции высокотемпературной плазмы электрическим полем.

Эти предложения, как отмечает Сахаров [8, с. 88], выдвинуты О.А. Лаврентьевым самостоятельно, независимо от других авторов, и до каких-либо публикаций по этой проблеме.

В книге *Воспоминания* [10, с. 186] Андрей Дмитриевич Сахаров пишет:

"В своем отзыве я написал, что выдвигаемая автором идея управляемой термоядерной реакции является очень важной. Автор поднял проблему колоссального значения, и это свидетельствует о том, что он является очень инициативным и творческим человеком, заслуживающим всяческой поддержки и помощи.

По существу конкретной схемы Лаврентьева я написал, что она представляется мне неосуществимой, так как в ней не исключен прямой контакт горячей плазмы с сетками, и это неизбежно приведет к огромному отводу тепла и, тем самым, к невозможности осуществления таким способом температур, достаточных для протекания термоядерных реакций. Вероятно, следовало также написать<sup>9</sup>, что, возможно, идея автора окажется плодотворной в сочетании с какими-то другими идеями, но у меня не было никаких мыслей по этому поводу, и я этой фразы не написал. Во время чтения письма и писания отзыва у меня возникли первые, неясные мысли о магнитной термоизоляции."

Как отмечает в своих воспоминаниях И.Н. Головин, в то время первый заместитель И.В. Курчатова, работы по проблеме мирного использования термоядерных реакций (ТЯР) начались по инициативе И.Е. Тамма и А.Д. Сахарова, ознакомившихся с полученным летом 1950 г. письмом солдата Олега Лаврентьева.

В своем отзыве [8, с. 53, 54], датированном 02.04.75 г. и направленном в Государственный комитет по делам открытий и изобретений при СМ СССР, И.Н. Головин пишет: "В октябре 1951 года произошло детальное обсуждение с участием д.ф.-м.н. С.Ю. Лукьянова. Никаких дефектов в модели О.А. Лаврентьева обнаружено не было. По окончании МГУ он начал в Харьковском физико-техническом институте опыты в развитие своей идеи. Пока еще рано подводить окончательный итог, но опыты успешно развиваются."

Сахаров обсуждал содержание письма Лаврентьева с Таммом. В результате этих обсуждений ими была сформулирована концепция термоизоляции высокотемпературной плазмы магнитным полем и рассчитаны первые модели магнитного термоядерного реактора тороидальной формы [11, 12], развившиеся впоследствии в "токамаки" [13, 15].

Письмо О.А. Лаврентьева послужило катализатором рождения советской программы исследований по УТС.

И.Е. Тамм и А.Д. Сахаров привлекли к разработке идеи группу теоретиков ФИАНа, результаты были доложены И.В. Курчатову.

Игорь Васильевич Курчатов горячо поддержал это направление исследований. Со свойственной ему энер-

<sup>9</sup> Андрей Дмитриевич упрекал себя зря. В отзыве он *написал*: "Однако не исключены какие-либо изменения проекта которые исправят эту трудность". [Подчеркнуто в оригинале А.Д. Сахаровым, см. раздел "Из Архива Президента Российской Федерации" (*УФН* 171 902 (2001) с. 908).]

гией, целеустремленностью и обаянием он привлек к этой работе крупных советских физиков. После докладов в Правительство была разработана государственная программа научно-исследовательских работ по МТР.

5 мая 1951 г. вышло Постановление СМ СССР, подписанное И.В. Сталиным, положившее начало государственной, видимо первой в мире, программе термоядерных исследований. Был создан совет по МТР: председатель И.В. Курчатов, заместитель А.Д. Сахаров, члены совета Д.И. Блохинцев, И.Н. Головин, Я.Б. Зельдович, М.Г. Мещеряков, И.Я. Померанчук, Ю.Б. Харитон (см. раздел "Из Архива Президента Российской Федерации").

Работы по УТС как в СССР, так и в других странах были засекречены, поскольку они могли иметь отношение к решению определенных военных задач.

Так, в оптимальном сахаровском МТР можно было получать, согласно расчетам, до 100 г (!) трития в сутки. [13]. Хорошая начинка для водородной бомбы!

Инициатива рассекречивания работ по УТС принадлежит СССР. В поездке лидеров Советского Союза Н.С. Хрущева и Н.А. Булганина в Англию в 1956 г. принял участие И.В. Курчатов, который выступил в Британском ядерном центре в Харуэлле с докладом об исследованиях, ведущихся в СССР по УТС. Это была сенсация. Ученые Англии не были готовы к обсуждению предложений И.В. Курчатова о проведении совместных работ, очевидно, не имея соответствующего разрешения своего правительства.

Однако глава британских ядерных исследований в то время, Джон Кокфорт, был так увлечен работами по УТС в Курчатовском институте (ЛИПАНе) и готовностью советских физиков поделиться результатами и сотрудничать, что убедил Британское правительство рассекретить термоядерные исследования в Великобритании. Толчок к рассекречиванию был дан [13, 14, 16].

В настоящее время работы по УТС ведутся по многим направлениям в разных странах, они стали ареной широкого международного сотрудничества. Есть ощутимые результаты. Так, на крупнейшем токамаке JET (Joint European Torus) в Калэме, большой радиус которого составляет  $R = 3$  м, в 1997 г. были получены следующие рекордные характеристики термоядерной плазмы: температура термоядерной плазмы  $T = 300$  млн градусов; время жизни энергии — 1,2 с; термоядерная мощность  $P_{\text{fus}} = 16$  МВт; отношение выходной мощности к мощности, подводимой извне, составило  $Q = 0,65$ , то есть мы подошли уже к порогу положительного баланса энергии.

Инициированный Р. Рейганом и М.С. Горбачевым проект Международного термоядерного экспериментального реактора на основе токамака, который первоначально был развит в Советском Союзе, должен был обладать следующими основными параметрами реактора (ITER): большой радиус  $R = 8,1$  м; малый радиус  $a = 2,8$  м; энергетическое время жизни  $\tau_E = 6$  с; термоядерная мощность  $P_{\text{fus}} = 1,5$  ГВт. А это уже очень большая мощность [15]!

Как же на самом деле развивались исследования в области УТС? Фактически обстоятельства сложились так, и в этом есть элемент исторической случайности, что форсирование работ по исследованию термоядерных реакций синтеза легких элементов оказалось связанным, в первую очередь, с разработкой атомных и водородных

бомб. Тому причиной явилась Вторая мировая война и последовавшая за ней "холодная война" и вынужденная грандиозная гонка вооружений. Создание мощного ядерного оружия явилось главным фактором в атомной проблеме.

При этом оказалось, что концентрация энергии в атомной бомбе в результате развития быстротечной цепной реакции деления в активной зоне такова, что там достигаются звездные температуры в сотни миллионов градусов, достаточные для поджига термоядерного горючего. Таким образом получалось, что атомная бомба может являться спичкой-детонатором для поджига термоядерного горючего — тяжелых изотопов водорода — в водородной бомбе. Усилия ученых были сосредоточены, главным образом, на развитии этого направления.

Однако заметим, что термоядерная реакция синтеза тяжелого изотопа водорода (D) была открыта раньше (1934 г.), чем реакция деления урана (1939 г.). Работы и исследования, связанные с термоядерной энергетикой на базе УТС, могли бы происходить независимо от работ, связанных с реакциями деления. Если бы реакция деления еще не была открыта или ее вообще в природе не существовало, термоядерная энергетика могла бы успешно развиваться самостоятельно по своему сценарию.

Предпосылкой к изучению ядерных реакций синтеза легких элементов и возможному началу научно-исследовательских работ по УТС можно считать открытие Резерфордом, Олифантом и Хартеком в 1934 г. элементарной реакции ядерного синтеза, в которой два атома тяжелого водорода D образуют атом гелия с попутным выделением гигантской энергии. С помощью ускорителя частиц указанные авторы разгоняли ионы дейтерия и направляли их на мишень, также содержащую атомы дейтерия.

Далее, в 1938 г. в журнале "Физикал ревью" (*Physical Review*) появилась знаменитая статья Ханса Бете "Генерация энергии в звездах" [17]. В этой статье он приводит некоторые расчеты по термоядерным реакциям, протекающим внутри звезд. Согласно расчетам получалось, что для достижения заметной интенсивности протекания термоядерных реакций, например, в дейтериевой плазме, необходимо нагреть ее до температуры порядка миллиарда градусов.

Теперь оставалось только найти технически приемлемые способы нагрева плазмы до таких температур и ее термоизоляции от стенок реактора. Оставалось совсем немного: сформулировать основную идею осуществления УТС — сказать, как с помощью электромагнитной энергии и электромагнитного поля можно разогреть дейтериевую плазму до температур порядка миллиарда градусов и термоизолировать ее от стенок реактора на время протекания термоядерных реакций в земных условиях.

Но прошло еще более десяти лет, и такие предложения, насколько нам известно, не появились; таким образом не исключено, что впервые в СССР такую задачу сформулировал и предложил некоторое ее конструктивное решение в середине 1950 г. младший сержант О.А. Лаврентьев. Ему тогда было 24 года, и он находился на практически "необитаемом" острове Сахалин. Дальше события развивались уже более бурными темпами.

#### 4. О первой части предложения О.А. Лаврентьева по схеме водородной бомбы

Как указывалось, секретная работа О.А. Лаврентьева, отправленная с острова Сахалин на имя И.Д. Сербина, содержала две идеи. О второй идее (УТС) сказано выше. Первая идея являлась предложением физической схемы конструкции водородной бомбы (Н-бомбы).

Следует отметить, что если предложения О.А. Лаврентьева по УТС были пионерскими даже в самой постановке вопроса, то, хотя к 50-му году еще не были полностью разработаны и испытаны водородные бомбы, но секретные работы по ним уже велись в больших закрытых научных коллективах как в США, так и в СССР.

На первый взгляд представляется странным, что вопрос о первой части предложения О.А. Лаврентьева как-то ни разу не возникал на нашем горизонте.

С февраля 1952 г., по прибытии в г. Саров в теоретический отдел ВНИИЭФа после окончания Физфака МГУ, я занимаюсь подобными вопросами и завесы секретности внутри нашего коллектива практически никогда не возникало. Приходилось много раз писать рецензии на конструкции ядерных зарядов, поступающие от разных изобретателей за пределами ВНИИЭФ, однако фамилия О.А. Лаврентьева ни мне, ни моим сослуживцам, научным работникам, ни разу не встречалась.

Теперь, поразмыслив, я могу только предположить, что вопрос этот, как бы за ненадобностью, был закрыт еще до 1952 г. и потом просто не возникал; документы, возможно, есть где-то в архивах или за давностью уничтожены. Слова, косвенно подтверждающие это мое предположение, находим и в препринте [8, стр. 19].

Тем не менее принципиальные схемы Н-бомб, предлагавшиеся разными авторами в 50-х годах, могут представлять определенный исторический интерес. Поэтому беру на себя смелость высказаться по поводу схем водородных бомб, приведенных в [8], предполагая с достаточной вероятностью, что подобные принципиальные схемы уже были известны официальным разработчикам атомной и водородной бомб в СССР и обсчитывались уже более подробно, с привлечением обширной информации о ядерных и термоядерных реакциях и их сечениях, в том числе и из разведанных.

Отметим, что с позиций 2001 г. схемы водородных бомб уровня 50-го года в настоящее время не являются секретными, имеется много публикаций на эту тему даже с подробным описанием их устройства [6, 7].

Они не могут быть также достаточно совершенными в современном понимании. Наука, техника и всякие тонкие ядерные технологии за это время продвинулись далеко вперед.

Эти схемы следует рассматривать как принципиальные схемы, в которых заложены определенные физические идеи уровня 1950 г., и не более.

С точки зрения истории развития науки и техники безусловно интересно знать, кто и что впервые и независимо предлагал, изобретал тогда, в 50-х годах, когда водородных бомб не было еще ни в США, ни в СССР и все было строго засекречено.

Схема водородной бомбы, приведенная в предложении О.А. Лаврентьева (полный текст предложения О.А. Лаврентьева от 29 июля 1950 г. см. в разделе "Из

Архива Президента Российской Федерации" с. 905), представляет собой сферическую оболочку, внутри которой расположено термоядерное горючее  ${}^6\text{LiD}$ , в центре которого расположена атомная бомба, работающая на принципе пушечного сближения двух подкритических полусфер  ${}^{235}\text{U}$  или  ${}^{239}\text{Pu}$ . Атомная бомба является детонатором и служит для зажигания термоядерного горючего [8].

Надо сказать, что для начального рассмотрения это вполне разумная схема.

Интересно сравнить эту схему со схемами, уже опубликованными в открытой печати, которые рассматривали А.Д. Сахаров и В.Л. Гинзбург в 1948 и 1949 гг.

Приведем цитату из статьи Г.А. Гончарова [1], в которой содержатся данные из уже рассекреченных архивных материалов атомного проекта СССР: "Обратившись в отчете<sup>10</sup> к системам, которые могут представлять практический интерес, В.Л. Гинзбург изложил оценки эффективности конструкции, состоящей из атомной бомбы, окруженной слоем дейтерия, заключенным в оболочку. Он отметил возможность успешной замены жидкого дейтерия в такой системе на тяжелую воду, а также сделал важное замечание: "Можно обсудить также "выгорание" смесей, содержащих литий-6 (с целью использования тепла реакции  ${}^6\text{Li} + n = \text{T} + {}^4\text{He} + 4,8 \text{ МэВ}$ ), уран-235, плутоний-239 и т.д." Так В.Л. Гинзбург пришел к идее применения в качестве термоядерного горючего дейтерида лития-6."

Подчеркнем справедливости ради, что использование твердого химического соединения (брикета)  ${}^6\text{LiD}$  в качестве термоядерного горючего предложено В.Л. Гинзбургом в марте 1949 г., а О.А. Лаврентьевым — в июле 1950 г. Этим расставлены приоритеты. По понятным причинам можно утверждать, что оба автора пришли к этой идее независимо. Американцы пришли к использованию  ${}^6\text{LiD}$  вместо жидкого дейтерия значительно позднее.

Как приведено в [1], в июне 1951 года Э. Теллер и Ф. Де-Гоффман выпустили отчет, посвященный эффективности применения дейтерида лития-6 в новой схеме сверхбомбы. Впервые американцы применили твердое химическое соединение  ${}^6\text{LiD}$  в испытании "Браво" 1 марта 1954 г. Еще в испытании "Майк" 1 ноября 1952 г. на острове Энвиеток в качестве основного термоядерного горючего использовался жидкий дейтерий. Взрывное устройство было не транспортабельно, весило около 80 тонн и дало мощность 10 млн тонн тротилового эквивалента.

Что касается схемы водородной бомбы "имплозивного" типа с дейтеридом лития-6 в центре сферы, приведенной О.А. Лаврентьевым в [8, стр. 18], то о ней можно сказать следующее. Ее, видимо, следует отнести к категории "атомных бомб с термоядерным усилением".

Приведенная в [8] схема, конечно, недостаточна для оценки ее значимости в тот период (1950 г.).

Дело в том, что в приведенной схеме не хватает многих деталей, от которых существенно зависит, насколько она может быть работоспособной и эффективной. Не приведены характерные размеры, массы, радиусы; не рассмотрена последовательность физических ядерных процессов, происходящих в результате

<sup>10</sup> Отчет датирован 2 декабря 1948 г.



имплозии взрывчатых веществ. А ведь режимы работы подобной системы могут быть совершенно разными в зависимости от заложенных исходных параметров.

Следует сказать, что с позиций сегодняшнего дня, при наличии быстродействующих ЭВМ и соответствующих математических программ, эффективность подобных простейших систем может быть определена в считанные минуты (раньше на это требовалось несколько месяцев ручной работы большого коллектива математиков-лаборантов). Теперь в короткий срок можно провести оптимизацию такой системы на ЭВМ, проварьировав множество параметров: размеры, массы, расположение сферических оболочек, наличие других конструктивных элементов и т.д.

Заметим, что физические идеи, заложенные в приведенных принципиальных физических схемах [8], и сейчас используются во многих боеприпасах, находящихся в ядерных арсеналах. Другой вопрос, что в зависимости от конкретных военно-технических задач, поставленных различными родами войск, внутренняя и внешняя дополнительная начинка может меняться, да и последовательность физических процессов, протекающих при взрыве водородной бомбы, тоже может меняться. Здесь уже авторам-разработчикам не обойтись без дополнительных тонкостей, хитростей, научной интуиции и смекалки. И это приводит иной раз к поразительным результатам!

Поэтому оценку новизны и значимости приведенных схем водородных бомб в тот период (50-е годы) можно сделать только при конкретном и более подробном рассмотрении первоисточников.

Как было сказано выше, если смотреть с позиций 2001 г., то, конечно, приведенные в 1950 г. О.А. Лаврентьевым физические схемы водородных бомб можно считать относительно примитивными. Однако подчеркнем, что на ряд перспективных физических идей О.А. Лаврентьевым все же было указано в его схемах 1950 г. с острова Сахалин независимо от других авторов и достаточно прозрачно.

Прежде всего это относится к использованию твердого химического соединения (брикета)  ${}^6\text{LiD}$  в качестве основного горючего в водородных бомбах, хотя приоритет в этом вопросе принадлежит В.Л. Гинзбургу. Кстати, в своих предложениях О.А. Лаврентьев называет термоядерную бомбу не водородной, а литиево-водородной, что, по-видимому, более точно отражает ее содержание.

Не мог, конечно, отдельный, изолированный на острове Сахалин человек знать великое множество термоядерных реакций на изотопах лития и водорода и их сечений в зависимости от температуры! Лишь некоторые, и не самые главные, реакции в то время были опубликованы.

Экспериментальные сведения о конкретных термоядерных реакциях и их сечениях взаимодействия в зависимости от температуры (энергии) могли быть получены только в больших научных коллективах физиков на дорогостоящих экспериментальных физических установках. В то время, конечно, все это было засекречено. Эти обстоятельства следует принимать во внимание при оценке и первой, и второй идеи из предложений О.А. Лаврентьева 1950 г.

Удивительно, конечно, что эти принципиальные схемы по УТС, водородной бомбе и использованию

дейтеридом лития-6 в качестве основного термоядерного горючего предложил молодой человек, находившийся в то время (1950 г.) на практически "необитаемом" острове.

## 5. Заключение

В настоящей статье сделана попытка на основе некоторых открытых публикаций и архивных материалов дать анализ исторических событий в их хронологической последовательности, касающихся возникновения первых идей и предложений по исследованию и созданию энергетических промышленных установок в СССР, использующих в своей основе управляемую термоядерную реакцию синтеза тяжелых изотопов водорода — дейтерия и трития, а также дать анализ некоторых событий, связанных с историей создания водородной бомбы.

В положительных отзывах А.Д. Сахарова и И.Н. Головина о работах О.А. Лаврентьева 1950 г. отмечается его приоритет в постановке вопроса в СССР о создании энергетических промышленных установок, использующих УТС. Архивные материалы только подтвердили рассказы О.А. Лаврентьева, А.Д. Сахарова, Я.Б. Зельдовича и И.Н. Головина.

О принципиальных схемах водородных бомб, приведенных в [8] О.А. Лаврентьевым, следует сказать, что для начального рассмотрения они вполне разумны и в них заложены определенные физические идеи и возможности. Однако оценку их новизны и значимости в тот период (50-е годы) можно сделать только при конкретном и более подробном рассмотрении первоисточников.

По поводу предложений об использовании в качестве термоядерного горючего в водородной бомбе твердого химического соединения  ${}^6\text{LiD}$  укажем, что приоритет определенно принадлежит В.Л. Гинзбургу (конец 1948 г. — начало 1949 г.). О.А. Лаврентьев сделал такое предложение на полтора года позднее (независимо), а американцы, по имеющимся у нас публикациям, к этому вопросу подошли в середине 1951 года, а первое испытание водородной бомбы с дейтеридом лития-6 "Браво" провели 1 марта 1954 г.

Таким образом, по имеющимся архивным и открытым материалам можно сделать вывод, что роль О.А. Лаврентьева в инициировании работ по термоядерному синтезу в СССР вполне заслуживает соответствующего исторического упоминания.

## Благодарности

Автор выражает глубокую благодарность В.Л. Гинзбургу, В.П. Визгину, И.С. Дровеникову, Г.И. Иванову, Р.И. Илькаеву, В.Н. Михайлову, В.П. Незнамову, А.В. Певницкому, В.А. Разуваеву, А.А. Рухадзе, Л.Д. Рябеvu, В.А. Терехину, В.Д. Шафранову, принимавшим участие в обсуждении статьи по существу и сделавшим ряд ценных и добрых советов и замечаний.

Особую признательность хочу выразить Тамаре Георгиевне Бондаренко, которая активно и творчески помогала автору на всех этапах — от появления идеи написать статью до ее выхода в свет.

## Список литературы

1. Гончаров Г А УФН 166 1095 (1996)
2. Визгин В П УФН 169 1363 (1999)

3. Гончаров Г А, Рябев Л Д *УФН* 171 79 (2001)
4. Негин Е А и др. *Советский атомный проект: Конец атомной монополии. Как это было...* (Под ред. Г Д Куличкова) (Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2000)
5. Михайлов В Н (Гл. ред.) *Создание первой советской ядерной бомбы* (М.: Энергоатомиздат, 1995)
6. *Хочешь мира — будь сильным: сборник материалов конференции по истории разработок первых образцов атомного оружия.* (Научный консультант Е А Негин) (Арзамас-16: Изд-во РФЯЦ-ВНИИЭФ, 1995)
7. Феоктистов Л П *Оружие, которое себя исчерпало* (М.: Российский комитет "Врачи мира за предотвращение ядерной войны", 1999)
8. Лаврентьев О А, Препринт ИОФ РАН № 8 (М.: ИОФ РАН, 1993)
9. Смит Г Д *Атомная энергия для военных целей. Официальный отчет о разработке атомной бомбы под наблюдением правительства США* (М.: Трансжелдориздат, 1946)
10. Сахаров А Д *Воспоминания* Т. 1 (М.: Права человека, 1996)
11. Тамм И Е "Теория магнитного термоядерного реактора" Ч. I, III, в сб. *Физика плазмы и проблема управляемых термоядерных реакций* (Отв. ред. М А Леонтович) Т. 1 (М.: Изд-во АН СССР, 1958) с. 3, 31
12. Сахаров А Д "Теория магнитного термоядерного реактора" Ч. II, в сб. *Физика плазмы и проблема управляемых термоядерных реакций* (Отв. ред. М А Леонтович) Т.1 (М.: Изд-во АН СССР, 1958) с. 20
13. Шафранов В Д *УФН* 171 877 (2001)
14. Фелл Н "В поисках ловкого хода" *Атомная техника за рубежом* (8) 22 (1999) [Fell N *Nucl. Eng. Intern.* 44 (535) 27 (1999)]
15. Кадомцев Б Б *УФН* 166 449 (1996)
16. Путвинский С В *УФН* 168 1235 (1998)
17. Bethe H A, Critchfield C L *Phys. Rev.* 54 248 (1938)

## К пятидесятилетию начала исследований в СССР возможности создания термоядерного реактора

Г.А. Гончаров

### 1. Введение

Пятьдесят лет назад, 5 мая 1951 г., И.В. Сталин утвердил Постановление Совета Министров СССР № 1463-732сс/оп "О проведении научно-исследовательских и экспериментальных работ по выяснению возможности осуществления магнитного термоядерного реактора". За месяц до этого, 5 апреля 1951 г., им было утверждено Распоряжение СМ СССР № 4597-рс о проведении работ по созданию установки МТР-Л — лабораторной модели такого реактора. Эти документы явились не только первыми в СССР, но и первыми в мире правительственными актами, которые предписывали и регламентировали проведение соответствующих работ и определяли меры по их обеспечению.

Постановление от 5 мая 1951 г. начиналось словами: "Придавая важное значение предложению т. Сахарова А.Д. об использовании внутриядерной энергии легких

элементов с помощью магнитного термоядерного реактора (установка "МТР"), Совет Министров Союза ССР ПОСТАНОВЛЯЕТ:

1. Обязать Первое главное управление<sup>1</sup> (ит. Ванникова<sup>2</sup>, Завенягина<sup>3</sup>, Курчатова) организовать научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы по выяснению возможности получения самоподдерживающейся термоядерной реакции с помощью магнитного термоядерного реактора и обеспечить проведение следующих работ:...

Предусмотренные Постановлением работы включали разработку теории магнитного термоядерного реактора и сооружение наряду с малой моделью магнитного термоядерного реактора МТР-Л большой лабораторной модели — МТР-Л2, рассчитанной на получение нейтронного излучения. Основные научно-исследовательские работы по выяснению возможности создания термоядерного реактора сосредоточивались в ЛИПАНе — Лаборатории измерительных приборов АН СССР (в настоящее время Российский научный центр "Курчатовский институт"). Научным руководителем работ по выяснению возможности создания МТР был назначен Л.А. Арцимович, его заместителем по теоретической части — А.Д. Сахаров, а заместителем по проектно-конструкторской части — Д.В. Ефремов. Научным руководителем теоретических разработок по МТР в ЛИПАНе был назначен М.А. Леонтович.

Постановление обязывало Первое главное управление и привлеченные организации представить к 1 октября 1952 г. заключение о возможности осуществления установки МТР в промышленном масштабе с указанием основных характеристик установки.

Для обсуждения вопросов, связанных с разработкой проекта МТР, при ЛИПАНе была образована научно-техническая комиссия под председательством И.В. Курчатова в составе Л.А. Арцимовича, И.Н. Головина (заместители председателя комиссии), А.Д. Сахарова, И.Е. Тамма, М.А. Леонтовича, В.В. Владимирского и Д.В. Ефремова (текст Постановления публикуется в разделе "Из Архива Президента Российской Федерации" с. 902 этого же номера УФН).

### 2. А.Д. Сахаров задумывается над проблемой создания управляемого термоядерного реактора

Представляет большой интерес история событий и возникновения идей, приведших к первым принятым на правительственном уровне постановлениям о начале работ по решению захватывающей воображение задачи создания управляемого термоядерного реактора.

А.Д. Сахаров в своих "Воспоминаниях" отметил, что впервые задумался об управляемой термоядерной реакции в вагоне поезда, во время своей первой поездки на

Г.А. Гончаров. Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (РФЯЦ–ВНИИЭФ) 607190 г. Саров, Нижегородская обл., просп. Мира 37, Российская Федерация  
Тел. (831) 30-457-78. Факс (831) 30-427-29  
E-mail: gagonch@vniief.ru

Статья поступила 15 июня 2001 г.

<sup>1</sup> Первое главное управление при СМ СССР — орган непосредственного руководства научно-исследовательскими, проектными, конструкторскими организациями и промышленными предприятиями по использованию атомной энергии и производству атомных бомб. Создано Постановлением Государственного Комитета Обороны от 20 августа 1953 г. [1, с. 11–14].

<sup>2</sup> Б.Л. Ванников — начальник Первого главного управления.

<sup>3</sup> А.П. Завенягин — в это время первый заместитель начальника Первого главного управления.

объект Ю.Б. Харитона<sup>4</sup> в июне 1949 г. *"Ночью в душном вагоне мне не спалось. Я помню, что думал не о волнующих событиях в жизни и своих ошибках, как чаще при бессоннице теперь, а о новой проблеме, которая возникла в эту ночь в моей голове — об управляемой термоядерной реакции. Но ключевая идея магнитной термоизоляции возникла у меня (и была развита и поддержана Игорем Евгеньевичем Таммом) лишь через год"* [2, с. 155].

Состоявшаяся по личному указанию Л.П. Берии<sup>5</sup> поездка А.Д. Сахарова на объект была связана с тем, что в период с 4 по 9 июня 1949 г. в КБ-11 прошла серия совещаний, на которых были обсуждены состоящие работ по подготовке к испытанию первой советской атомной бомбы РДС-1 и результаты работ по выполнению Постановлений СМ СССР № 1989-773сс/оп и № 1990-774сс/оп, принятых 10 июня 1948 г. Первое из этих постановлений предписывало провести теоретическую и экспериментальную проверку данных о возможности создания усовершенствованных атомных бомб (по сравнению с бомбой имплозивного типа РДС-1 и разрабатывавшейся в то время бомбой пушечного типа РДС-2), а также водородной бомбы; второе определяло меры, обеспечивавшие выполнение этого постановления [1, с. 494–498], [3, с. 1099], [4, с. 52, 53]. В числе этих мер была организация в Физическом институте АН СССР специальной группы под руководством И.Е. Тамма, в состав которой вошли С.З. Беленький и А.Д. Сахаров, а затем были включены В.Л. Гинзбург и Ю.А. Романов. Задачей группы, как ее сформулировал И.Е. Тамм, было проведение теоретических и расчетных работ с целью выяснения возможности создания водородной бомбы, конкретно — проверка и уточнение расчетов, которые велись в Институте химической физики АН СССР в группе Я.Б. Зельдовича (расчеты группы Я.Б. Зельдовича были модельными расчетами по проблеме дейтериевой "трубы" — аналога американского "классического супера"<sup>6</sup>). Начав с изучения отчетов группы Я.Б. Зельдовича, А.Д. Сахаров осенью 1948 г. *"сделал крутой поворот в работе"*, предложив альтернативный проект термоядерного заряда, *"совершенно отличный от рассматривавшегося группой Зельдовича по происходящим при взрыве физическим процессам и даже по основному источнику энерговыделения"*. Вскоре предложение А.Д. Сахарова существенно дополнил В.Л. Гинзбург [2, с. 149]. Предложение А.Д. Сахарова было предложением "слойки" — схемы термоядерного заряда с чередующимися слоями урана и термоядерного горючего — тяжелой воды (группа Я.Б. Зельдовича рассматривала термоядерный заряд с жидким дейтерием). Предложение В.Л. Гинзбурга состояло в использовании в качестве термоядерного горючего в "слойке" более эффективного дейтерида лития-6 [3, 4]. Оно было сформулировано, обосновано и развито им в период с декабря 1948 г. по август 1949 г. А.Д. Сахаров выпустил свой первый отчет по "слойке" в январе 1949 г., а в апреле 1949 г.

<sup>4</sup> Называвшийся тогда Конструкторским бюро № 11 (КБ-11) при Лаборатории № 2 Академии наук СССР. В настоящее время это Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики.

<sup>5</sup> Л.П. Берия являлся председателем Специального комитета при СМ СССР — правительственного органа, созданного Постановлением Государственного Комитета Обороны от 20 августа 1945 г. для руководства всеми работами по использованию атомной энергии.

<sup>6</sup> См. [3, 4] и раздел 6 настоящей статьи.

директор ФИАН СССР С.И. Вавилов официально информировал Л.П. Берия о предложении А.Д. Сахарова. В конце мая 1949 г. Л.П. Берия принял решение о командировании А.Д. Сахарова в КБ-11 для ознакомления с работами КБ-11 и участия в выработке предложений о плане дальнейших работ по водородной бомбе. Следствием этого решения и явилась поездка А.Д. Сахарова — единственного из сотрудников группы И.Е. Тамма — в июне 1949 г. в КБ-11.

Отметим, что в номере журнала *Science News Letter* от 17 июля 1948 г. была опубликована статья Ватсона Дэвиса "Сверхбомба возможна" [5]. В статье говорилось, что создание атомной сверхбомбы в тысячи раз более мощной, чем существующие плутониевые бомбы, безусловно находится в пределах возможного. Она будет, в основном, изготовлена из дейтерия. Однако в статье имелся специальный раздел, названный "Комбинированная бомба". В нем содержалось замечание о том, что, поскольку при одной из двух  $D + D$  реакций получается нейтрон, может оказаться целесообразным сделать комбинированную бомбу, в которой нейтроны  $D + D$  реакции будут делить плутоний. *"Каждый компетентный химик скажет, что материалом для такой сверхбомбы могло бы быть химическое соединение плутония и дейтерия."* Нельзя исключить, что предложение А.Д. Сахаровым "слойки" было стимулировано статьей В. Дэвиса. Ведь предложенная А.Д. Сахаровым "слойка" как раз и была комбинированной бомбой. Однако вместо химического соединения дейтерия с плутонием, т.е. гомогенной смеси дейтерия с тяжелым делящимся материалом, А.Д. Сахаров предложил использовать в ней более эффективное сочетание термоядерного горючего и делящегося материала — гетерогенную слоистую схему. В такой схеме в процессе взрыва должно происходить ионизационное сжатие термоядерного горючего, увеличивающее интенсивность термоядерного горения и, соответственно, интенсивность процесса деления урана под действием термоядерных нейтронов (коллеги А.Д. Сахарова назвали процесс ионизационного сжатия в "слойке" "сахаризацией").

Возможно, что статья В. Дэвиса стимулировала и начало размышлений А.Д. Сахарова об управляемой термоядерной реакции. Эта статья завершалась примечательными словами: *"Но даже если более мощные бомбы не будут нужны, исследования по проблеме получения ядерной энергии от дейтерия должны продолжаться. Энергетические установки будущего могут работать на ядерном горючем. Возможно, что самоподдерживающаяся (цепная) реакция невзрывного характера может быть осуществлена не только на уране, но и на дейтерии. И возможно, что дейтерия на земле больше, чем урана."*

### 3. О.А. Лаврентьев предлагает проект термоядерного реактора с электростатическим полем.

#### А.Д. Сахаров выдвигает идею магнитной термоизоляции плазмы

Обратимся к обстоятельствам, при которых А.Д. Сахаров пришел к идее магнитной термоизоляции плазмы — обнадеживающего подхода к решению проблемы управляемого термоядерного синтеза. *"Я начал думать, как я уже писал, об этом круге вопросов еще в 1949 году, но без каких-либо разумных конкретных идей. Летом 1950 года*

на объект пришло присланное из секретариата Берии письмо с предложением молодого моряка Тихоокеанского флота Олега Лаврентьева<sup>7</sup>. В вводной части автор писал о важности проблемы управляемой термоядерной реакции для энергетики будущего. Далее излагалось само предложение. Автор предлагал осуществить высокотемпературную дейтериевую плазму с помощью системы электростатической термоизоляции. Конкретно предлагалась система из двух (или трех) металлических сеток, окружающих реакторный объем. На сетки должна была подаваться разность потенциалов в несколько десятков кэВ, так чтобы задерживался вылет ионов дейтерия или (в случае трех сеток) в одном из зазоров задерживался вылет ионов, а в другом — электронов. В своем отзыве я написал, что выдвигаемая автором идея управляемой термоядерной реакции является очень важной. Автор поднял проблему колоссального значения, это свидетельствует о том, что он является очень инициативным и творческим человеком, заслуживающим всяческой поддержки и помощи. По существу конкретной схемы Лаврентьева я написал, что она представляется мне неосуществимой, так как в ней не исключен прямой контакт горячей плазмы с сетками и это неизбежно приведет к огромному отводу тепла и, тем самым, к невозможности осуществления таким способом температур, достаточных для протекания термоядерных реакций. Вероятно, следовало также написать, что, возможно, идея автора окажется плодотворной в сочетании с какими-то другими идеями, но у меня не было никаких мыслей по этому поводу, и я этой фразы не написал. Во время чтения письма и писания отзыва у меня возникли первые, неясные еще мысли о магнитной термоизоляции..." [2, с. 196, 197].

А.Д. Сахаров подчеркнул принципиальное отличие магнитного поля от электрического — замкнутость магнитных линий (или возможность образования замкнутых магнитных поверхностей), что могло сделать применение магнитного поля эффективным средством решения проблемы контакта горячей плазмы со стенками. "Замкнутые магнитные силовые линии возникают, в частности, во внутреннем объеме тороида при пропускании тока через тороидальную обмотку, расположенную на его поверхности... Именно такую систему я и решил рассмотреть. В начале августа 1950 года из Москвы вернулся Игорь Евгеньевич... Он с огромным интересом отнесся к моим размышлениям — все дальнейшее развитие идеи магнитной термоизоляции осуществлялось нами совместно... Первоначально я предложил назвать нашу тему ТТР (тороидальный термоядерный реактор), но И.Е. придумал более общее и удачное название МТР (магнитный термоядерный реактор); это название пришло, оно применяется и к другим схемам с магнитной термоизоляцией" [2, с. 197, 198].

<sup>7</sup> О.А. Лаврентьев сформулировал свое предложение при прохождении службы в 1946–1950 гг. в воинской части на Сахалине в должности старшего телеграфиста, в звании младшего сержанта. Предложение О.А. Лаврентьева было направлено в Москву 29 июля 1950 г., в адрес заведующего отделом машиностроения ЦК ВКП (б) И.Д. Сербина. 4 августа 1950 г. оно было зарегистрировано в Секретариате ЦК ВКП (б), затем поступило в Специальный комитет и через Первое главное управление было направлено в КБ-11, где его рассмотрел А.Д. Сахаров. Отзыв А.Д. Сахарова на предложение О.А. Лаврентьева датирован 18 августа 1950 г.

Первой трудностью, с которой сразу же столкнулись А.Д. Сахаров и И.Е. Тамм, была проблема дрейфа заряженных частиц из-за неоднородностей магнитного поля и влияния электрического поля, в результате которого частицы попадают на стенки тороидального объема. Выход из этой трудности А.Д. Сахаров и И.Е. Тамм увидели "в рассмотрении систем, в которых, кроме поля, созданного тороидальной обмоткой, есть еще налагающееся на него поле, созданное циркулярным током, текущим внутри тороидального объема" [2, с. 199]. "В наших первых предложениях, — писал А.Д. Сахаров, — мы рассматривали две возможности создания циркулярного тока — при помощи специального кольца с током, расположенного внутри реакторного объема, и при помощи индукционного тока, текущего непосредственно по плазме и созданного импульсными токами в расположенных вне тороидального объема дополнительных циркулярных обмотках... Мы написали отчет — предложение и, что тогда было важнее, рассказали о наших идеях И.В. Курчатову" [2, с. 200].

#### 4. Подготовка и принятие первых правительственных решений об исследованиях возможности создания термоядерного реактора

События, приведшие к первым правительственным решениям о работах по проблеме управляемого термоядерного реактора, развивались следующим образом.

В октябре 1950 г. А.Д. Сахаров и И.Е. Тамм изложили принцип устройства предлагаемого магнитного термоядерного реактора первому заместителю начальника Первого главного управления Н.И. Павлову [6, л. 8].

А 11 января 1951 г. И.В. Курчатов, И.Н. Головин и А.Д. Сахаров обратились с письмом к Л.П. Берии, в котором говорилось:

"Учитывая, что магнитные ядерные реакторы могут приобрести очень важное значение для ядерной энергетики, мы считаем необходимым в 1951 г. построить в ЛИПАН лабораторную модель и изучить на ней основные физические процессы, определяющие возможность создания промышленных реакторов... Коллектив экспериментаторов и группу теоретиков мы намерены собрать из числа сотрудников ЛИПАН, но во всей работе потребуются рабочий контакт с авторами модели реактора тов. Сахаровым А.Д. и Таммом И.Е. и проведем важные теоретические исследования по ядерному магнитному реактору сотрудником ФИАН тов. Гинзбургом В.Л. Просим Вашего согласия разрешить нам подготовить и представить Вам на рассмотрение проект Постановления Совета Министров Союза ССР о мероприятиях, обеспечивающих постройку модели магнитного ядерного реактора" [6, л. 3–11].

Уже 14 января 1951 г. Л.П. Берия направил Б.Л. Ванникову, А.П. Завенягину и И.В. Курчатову письмо, которое начиналось словами [6, л. 12]:

"Ведущаяся в КБ-11 по инициативе тт. Тамма и Сахарова работа над созданием нового типа реактора имеет, по моему мнению, исключительно важное значение и поэтому надо обеспечить все необходимые условия для успешного развития ее и, в первую очередь, сделать все, что нужно для того, чтобы насколько возможно скорее проверить теоретическую и техническую возможности осуществления такого реактора."

Письмо содержало следующее поручение:

*"Тов. Ванников вместе с гг. Курчатовым, Арцимовичем, Головиным и Мещеряковым выехать в КБ-11 и с участием гг. Харитона, Тамма, Сахарова, а также других основных работников КБ, которые могут быть в этом деле полезны, тщательно обсудить предложения гг. Тамма и Сахарова и подготовить проект решения о проведении необходимых научно-исследовательских и экспериментальных работ в направлении, предложенном гг. Таммом и Сахаровым..."*

Далее Л.П. Берия подчеркнул:

*"Учитывая особую секретность разработки нового типа реактора, надо обеспечить тщательный подбор людей и меры надлежащей секретности работ.*

*Подготовку проекта решения прошу не откладывать и постараться провести эту работу в течение 10, максимум 15 дней."*

В соответствии с указанием Л.П. Берии, в КБ-11 в период с 30 января по 3 февраля 1951 г. состоялась серия научно-технических совещаний по проблемам МТР с участием И.В. Курчатова, Ю.Б. Харитона, И.Е. Тамма, А.Д. Сахарова, И.Н. Головина, Л.А. Арцимовича, М.Г. Мещерякова, Н.Н. Боголюбова, К.И. Щелкина и Я.Б. Зельдовича [6, л. 17–25]. Выработанные рекомендации и план работ были рассмотрены в Первом главном управлении Б.Л. Ванниковым, А.П. Завенягиным, И.В. Курчатовым и Н.И. Павловым.

8 марта 1951 г. на рассмотрение Л.П. Берии был представлен первый проект Постановления СМ СССР об организации работ по выяснению возможности создания МТР [6, л. 17–25].

5 апреля 1951 г. И.В. Сталин утвердил уже упоминавшееся Распоряжение СМ СССР о работах по созданию лабораторной модели магнитного термоядерного реактора — установке МТР-Л (подготовленное в течение февраля — марта 1951 г. в соответствии с письмом И.В. Курчатова, И.Н. Головина и А.Д. Сахарова от 11 января 1951 г.) [6, л. 1, 2].

7 апреля 1951 г. Л.П. Берии был представлен переработанный проект Постановления СМ СССР об организации работ по выяснению возможности создания МТР [6, л. 39–85]. 14 апреля этот проект был одобрен Л.П. Берией, о чем свидетельствует его резолюция на первой странице проекта.

28 апреля 1951 г. состоялось заседание Специального комитета при СМ СССР, на котором было принято решение: "Принять представленный гг. Завенягиным, Курчатовым, Павловым и Головиным проект Постановления СМ СССР "О проведении научно-исследовательских и экспериментальных работ по выяснению возможности осуществления магнитного термоядерного реактора" и представить его на утверждение Председателя Совета Министров Союза ССР товарища Сталина И.В." [7, л. 93].

Проект Постановления СМ СССР был утвержден И.В. Сталиным 5 мая 1951 г.

## **5. О схемах управляемого термоядерного реактора и литиево-водородной бомбы, предложенных О.А. Лаврентьевым, и отзыве о них А.Д. Сахарова**

Обратимся к письму Л.П. Берии от 14 января 1951 г. Заключительная часть письма касалась О.А. Лаврентьева:

*"Кстати сказать, мы не должны забыть студента МГУ<sup>8</sup> Лаврентьева, записки и предложения которого по заявлению т. Сахарова явились толчком для разработки магнитного реактора (записки эти были в Главке у гг. Павлова и Александрова<sup>9</sup>).*

*Я принимал т. Лаврентьева. Судя по всему, он человек весьма способный. Вызовите т. Лаврентьева, выслушайте его и сделайте совместно с т. Кафтановым С.В.<sup>10</sup> все, чтобы помочь т. Лаврентьеву в учебе и, по возможности, участвовать в работе. Срок 5 дней."*

Таким образом, еще в январе 1951 г. в официальном документе со ссылкой на заявление А.Д. Сахарова было признано, что работа О.А. Лаврентьева, направленная по его просьбе в Сахалина в Москву 29 июля 1950 г., явилась толчком для начала отечественных исследований по проблеме создания магнитного термоядерного реактора.

В связи с иницилирующей ролью, которую сыграла работа О.А. Лаврентьева для начала исследований по проблеме создания управляемого термоядерного реактора в СССР, ее содержание, несомненно, представляет интерес для научной общественности. Большой интерес представляет и написанный 18 августа 1950 г. отзыв А.Д. Сахарова на эту работу. Текст работы О.А. Лаврентьева и отзыв на нее А.Д. Сахарова публикуются в разделе "Из Архива Президента Российской Федерации".

В отзыве А.Д. Сахарова акцентировано внимание на важном моменте в предложениях О.А. Лаврентьева, относящихся к установке для осуществления управляемой термоядерной реакции. Термоядерная реакция должна проходить *"в газе высокой температуры (миллиарды градусов) и такой низкой плотности, что существующие материалы могут выдержать получающееся давление."* А.Д. Сахаров проанализировал и другой существенный момент в предложениях О.А. Лаврентьева — предположение о возможности отбирать энергию ядер, получаемую ими в процессе термоядерного горения, при помощи электростатического поля, которое одновременно предназначено и для удержания ядер в зоне реакции. А.Д. Сахаров подчеркнул трудность термоизоляции газа с помощью электростатического поля, но заметил: *"однако, не исключены какие-либо изменения проекта, которые исправят эту трудность."* А.Д. Сахаров отметил необходимость детального обсуждения проекта О.А. Лаврентьева. Он подчеркнул, что *"независимо от результатов обсуждения, необходимо уже сейчас отметить творческую инициативу автора."*

Направленная летом 1950 г. в Москву работа О.А. Лаврентьева содержала не только предложение об осуществлении управляемой термоядерной реакции, но и предложение о конструкции литиево-водородной бомбы.

Сущность предложения О.А. Лаврентьева, относящегося к литиево-водородной бомбе, заключалась в подрыве атомной бомбы пушечного типа с плутонием в среде из лития и водорода. Он следующим образом описал принцип работы литиево-водородной бомбы: *"Для сообщения ядрам лития и водорода необходимой*

<sup>8</sup> В 1950 г. О.А. Лаврентьев был демобилизован из армии, приехал в Сахалина в Москву и поступил на физический факультет Московского Государственного университета им. Ломоносова.

<sup>9</sup> А.С. Александров — заместитель начальника Первого главного управления.

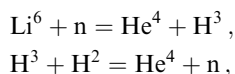
<sup>10</sup> С.В. Кафтанов — Министр высшего образования СССР.

начальной скорости можно воспользоваться цепной реакцией между ядрами плутония. Проще всего это сделать, если подорвать атомную бомбу в среде, состоящей из 87,5 % лития и 12,5 % водорода. В этом отношении очень удобен гидрид лития, как вещество твердое. Образующиеся при взрыве атомной бомбы в большом количестве быстрые частицы передадут свою энергию ядрам лития и водорода, между которыми также произойдет ядерная реакция. Реакция будет иметь характер взрыва, более сильного, чем взрыв атомной бомбы."

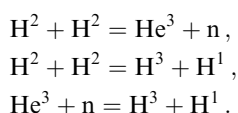
Как писал О.А. Лаврентьев, конструкция литиево-водородной бомбы "довольно проста. Она состоит из детонатора (обычная атомная бомба), окруженного слоем дейтерида лития-6, т.е. соединением изотопов  $\text{Li}^6$  и  $\text{H}^2$ . Количество этого "взрывчатого вещества" определяется желательной силой взрыва." О.А. Лаврентьев предполагал возможность использования в литиево-водородной бомбе не только дейтерида лития-6, но и гидроксида лития-7. Он отметил, однако: "Должен заметить, что первые слои, лежащие непосредственно у атомной бомбы, должны состоять из изотопов  $\text{Li}^6$  и  $\text{H}^2$ . Это потребует значительно большей затраты средств и времени, но гарантирует успех, так как, во-первых, ядерная реакция между ядрами  $\text{Li}^6$  и  $\text{H}^2$  имеет примерно в 30 раз больший выход (из английских источников), во-вторых, она более энергоемка, в-третьих, будет иметь место реакция между ядрами  $\text{Li}^6$  и нейтронами (правда, эта реакция дает примерно в четыре раза меньше энергии, чем  $\text{Li}^6 + \text{H}^2 = 2\text{He}^4$ )."

А.Д. Сахаров в своем отзыве назвал предложение О.А. Лаврентьева, касающееся литиево-водородной бомбы, предложением об использовании "ядерных реакций  $\text{Li}^7 + \text{H}^1 = 2\text{He}^4$  и  $\text{Li}^6 + \text{H}^2 = 2\text{He}^4$  в условиях теплового взрыва (под действием взрыва атомной бомбы)", а не предложением конструкции бомбы. А.Д. Сахаров подчеркнул, что эти реакции "не являются наиболее подходящими в условиях теплового взрыва, так как их эффективное сечение при тех температурах, которые осуществляются в условиях атомного взрыва, слишком малы."

Действительно, в реально созданных литиево-водородных бомбах основой процесса термоядерного горения являются цепочки ядерно-нейтронных и ядерных реакций



а также



Реакции же  $\text{Li}^6 + \text{H}^2 = 2\text{He}^4$  и  $\text{Li}^7 + \text{H}^1 = 2\text{He}^4$  из-за низких сечений играют вспомогательную роль.

Конечно, сделанное в 1950 г. совершенно независимо предложение О.А. Лаврентьева об использовании в водородной бомбе дейтерида лития-6 заслуживает внимания и восхищения, но объективная оценка этого предложения невозможна без оговорки, что, предлагая использование дейтерида лития-6 в качестве термоядерного горючего в водородной бомбе, О.А. Лаврентьев не имел в виду цепочки указанных выше нейтронно-ядер-

ных и ядерных реакций, протекание которых и определяет эффективность дейтерида лития-6 как термоядерного горючего.

Очевидная специалистам низкая эффективность предложенной О.А. Лаврентьевым схемы литиево-водородной бомбы не позволила А.Д. Сахарову рассматривать предложение О.А. Лаврентьева как предложение конструкции водородной бомбы. В этой связи необходимо дополнительно подчеркнуть, что в схеме литиево-водородной бомбы, приведенной в оригинальной рукописи О.А. Лаврентьева 1950 г., дейтерид лития-6 не был окружен какой-либо оболочкой (возможно, что конструктивная оболочка и имелась в виду, но функциональная оболочка, участвующая в протекающих при взрыве бомбы физических процессах, в схеме О.А. Лаврентьева отсутствовала и им не предлагалась).

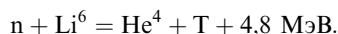
Отметим, что в соответствии с Постановлением СМ СССР № 827-303сс/оп от 26 февраля 1950 г., принятым в ответ на директиву Президента США Г. Трумэна о продолжении работ над водородной бомбой, в СССР в 1950 г. разворачивались работы по созданию отечественной водородной бомбы, приоритет в которых был отдан "слоюке". Разрабатывавшийся термоядерный заряд РДС-6с представлял собой сферическую систему из чередующихся слоев урана и дейтерида лития-6 (в состав одного из которых был введен тритий), обжимаемых взрывом химического взрывчатого вещества [3, 4].

В 1993 г. О.А. Лаврентьев опубликовал препринт "К истории термоядерного синтеза в СССР" [8]. Изложение в этом препринте его собственных предложений, относящихся к литиево-водородной бомбе, существенно отличается от описания этих предложений в оригинальной работе О.А. Лаврентьева, отправленной летом 1950 г. с Сахалина.

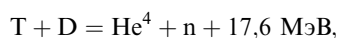
В этом препринте О.А. Лаврентьев писал:

"Идея об использовании термоядерного синтеза впервые зародилась у меня зимой 1948 г. Командование части поручило мне подготовить лекцию для личного состава по атомной проблеме. Вот тогда и произошел "переход количества в качество". Имея несколько дней на подготовку, я заново осмыслил весь накопленный материал и нашел решение вопросов, над которыми бился много лет подряд: нашел вещество, способное сдетонировать под действием атомного взрыва, многократно его усилив, — дейтерид лития-6, и придумал схему для использования ядерных реакций в промышленных целях.

К идее водородной бомбы я пришел через поиски новых цепных ядерных реакций. Последовательно перебирая различные варианты, я нашел то, что искал. Цепь с элементами литий-6 и дейтерий замыкалась по нейтронам. Нейтрон, попадая в ядро  $\text{Li}^6$ , вызывает реакцию



Тритон, взаимодействуя с ядром дейтерия по схеме



возвращает нейтрон в среду реагирующих частиц.

Дальнейшее уже было делом техники. В двухтомнике Некрасова я нашел описание гидридов, т. е. что можно химически связать дейтерий и литий-6 в твердое стабильное вещество с температурой плавления  $\approx 700$  °С. Чтобы инициировать процесс, нужен мощный импульсный поток

нейтронов, который получается при взрыве атомной бомбы. Этот поток не только дает начало многочисленным цепям в  $\text{Li}^6\text{D}$ , но и приводит к выделению огромной энергии, необходимой для нагрева вещества до термоядерных температур.

Оставался нерешенным вопрос об удержании вещества в течение времени термоядерного горения. Здесь мне помогла механика. Инерционная масса при действии на нее очень большой, но кратковременной силы не успевает сдвинуться с места. Надо сделать внешнюю оболочку массивной, из вещества с большим удельным весом. Эта оболочка будет служить также отражателем для потока нейтронов, увеличивая эффективность взрыва..." [8, с. 3, 4].

Описывая в препринте [8] содержание своей работы, направленной в июле 1950 г. в Москву, О.А. Лаврентьев дополнил это изложение следующим описанием конструктивных особенностей предложенной им схемы литиево-водородной бомбы: "Урановый детонатор представлял собой ствольную конструкцию с двумя подкритическими полушариями из  $\text{U}^{235}$ , которые выстреливались навстречу друг другу. Симметричным расположением зарядов я хотел увеличить скорость схлопывания критической массы вдвое, чтобы избежать преждевременного разлета вещества до взрыва. Урановый детонатор располагался в центре сферы, заполненной  $\text{Li}^6\text{D}$ . Массивная оболочка должна была обеспечить инерционное удержание вещества в течение времени термоядерного горения. Были приведены оценки мощности взрыва, способ разделения изотопов лития, экспериментальная программа осуществления проекта..." [8, с. 12]. Он снабдил это описание и схемой литиево-водородной бомбы, в которой над слоем дейтерида лития-6 размещена массивная (судя по геометрическим размерам) оболочка [8, с. 13].

В действительности, как уже отмечалось выше, схема литиево-водородной бомбы в оригинальном предложении О.А. Лаврентьева не предусматривала наличия в конструкции бомбы оболочки. Предлагая использование в этой бомбе дейтерида лития-6, он не рассчитывал и на протекание нейтронно-ядерных реакций, в которых "цепь с элементами литий-6 и дейтерий замыкалась по нейтронам", и не упоминал о таких реакциях. Отметим также, что в оригинальной схеме О.А. Лаврентьева 1950 г. полусферы из активного делящегося материала в инициирующей атомной бомбе пушечного типа сближались не встречным, а односторонним выстрелом. В качестве материала полусфер предлагался не уран-235, а плутоний-239.

Наряду с рассмотренной схемой водородной бомбы, в препринте О.А. Лаврентьева 1993 г. приведена и обсуждается еще одна схема водородной бомбы — схема бомбы имплозивного типа, в которой шар из дейтерида лития-6 окружен оболочками из плутония-239 и сферическим слоем взрывчатого вещества [8, с. 17, 18]. Так же как и первая, она датирована июлем 1950 г. В препринте сказано, что эта схема также была предложена О.А. Лаврентьевым на Сахалине, но уже после того, как его работа была отправлена в Москву. Пояснено, что идея новой схемы возникла у О.А. Лаврентьева, когда он направлялся в Москву для поступления в Московский государственный университет. В Сахалинском обкоме ВКП (б), куда он обратился за помощью в разрешении транспортных проблем, ему представилась возможность

ознакомится с книгой Г.Д. Смита [9]. О.А. Лаврентьев писал: "Досадно, что эта книга не попала мне раньше. В ней я нашел подробное описание работ по американскому атомному проекту и ответы на многие вопросы, до которых мне приходилось додумываться самому. Что особенно важно, я нашел в книге описание способа создания критической массы имплозией, т.е. кумулятивным взрывом, сжимающим тонкую сферическую оболочку из плутония внутрь к центру. Это и дало мне идею для новой компоновки водородной бомбы. Поскольку центр был уже занят дейтеридом лития-6, то я заключил его в тонкую плутониевую оболочку подкритической массы. Другая оболочка из плутония, имеющая больший диаметр, кумулятивным взрывом схлопывалась с первой, образуя надкритическую массу... Этот, Южно-Сахалинский, вариант уже не оставлял у меня никакого сомнения, что я на правильном пути."

Комментируя рассказ О.А. Лаврентьева о второй предложенной им схеме литиево-водородной бомбы, необходимо, прежде всего, отметить, что в книге Г.Д. Смита [9] принцип имплозии не описан и какие-либо упоминания о нем полностью отсутствуют. Из соображений секретности этот принцип в то время не мог обсуждаться ни в каком-либо другом открытом источнике. В книге Г.Д. Смита говорилось, что "бомба должна состоять из некоторого числа отдельных частей, каждая из которых меньше критической (или по малости геометрических размеров, или вследствие неподходящей формы). Чтобы вызвать детонацию, отдельные части бомбы нужно сблизить достаточно быстро вместе. Из-за присутствия блуждающих нейтронов цепная реакция может начаться уже во время этого сближения, еще до момента, как бомба достигла наиболее компактной, т.е. наиболее благоприятной для реакции формы. В этом случае взрыв будет мешать бомбе достигнуть этой наиболее компактной формы. Может случиться, что он будет совсем неэффективен. ... Ввиду того, что скорости, с которыми субкритические массы  $\text{U}^{235}$  во избежание преждевременной детонации должны сближаться в одно целое, по оценкам очень велики, потребовалось много усилий для практического осуществления этого. Очевидным методом быстрого сближения частей атомной бомбы был выстрел одной частью бомбы, как снарядом, в другую часть бомбы, как мишень" [9, с. 222-223]. Видно, что это описание далеко от описания принципа имплозии. В то же время в книге Г.Д. Смита была подробно рассмотрена роль оболочки: "Критические размеры уран-графитового котла могут быть значительно уменьшены, если он окружен слоем графита, так как эта оболочка "отражает" много нейтронов обратно в котел. Подобную оболочку можно применить и для уменьшения критических размеров бомбы, однако здесь она играет еще дополнительную роль: ее собственная инерция задерживает расширение реагирующего материала. Применение ее приводит к более длительному, более энергичному и эффективному взрыву. Наиболее эффективной является оболочка, имеющая максимальную плотность; высокая прочность на разрыв оказывается несущественной. Благодаря счастливому совпадению, материалы высокой плотности одновременно являются и превосходными отражателями нейтронов" [9, с. 221].

Не обнаружено никаких документальных свидетельств, которые подтверждали бы, что схема литиево-водородной бомбы имплозивного типа, приведенная

О.А. Лаврентьевым в [8, с. 18], как и схема, предложенная им в 1950 г., действительно может быть датирована 1950 г. По свидетельству О.А. Лаврентьева он, уже будучи студентом физического факультета Московского государственного университета, в сентябре 1950 г. был принят И.Д. Сербиным, которому с Сахалина была направлена работа О.А. Лаврентьева. "И.Д. Сербин попросил меня подробно рассказать о моих предложениях по водородной бомбе. Слушал меня внимательно, не перебивал, вопросов не задавал, а в конце нашей беседы сказал мне, что известен другой способ создания водородной бомбы и над этим другим способом работают наши ученые. Тем не менее, он предложил поддерживать контакт, сообщать ему о всех новых идеях, которые у меня появятся" [8, с. 19]. После встречи с И.Д. Сербиным О.А. Лаврентьев написал свою вторую работу и в самом конце 1950 г., через экспедицию ЦК ВКП (б) направил ее И.Д. Сербину<sup>11</sup>. В этой работе нет описания литиево-водородной бомбы импловзивного типа (вторая работа О.А. Лаврентьева посвящена усовершенствованию его схемы термоядерного реактора с электростатическим полем: в новой схеме вместо одной сетки, создающей такое поле, используются две или три) [6, л. 88–95]. Кроме двух работ О.А. Лаврентьева, о которых говорилось выше — посланной 29 июля 1950 г. с Сахалина и написанной в конце 1950 г. в Москве, никаких других работ или предложений О.А. Лаврентьева, относящихся к рассматриваемому периоду времени, в Архиве Президента Российской Федерации не найдено.

## 6. Несколько слов о начале исследований возможности создания термоядерного реактора за рубежом

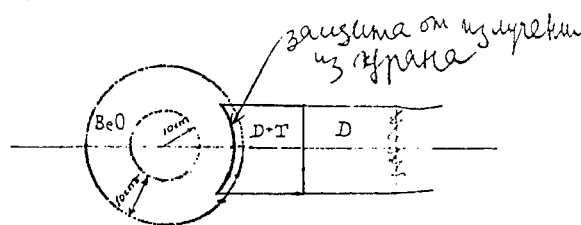
Картина событий, предшествовавших выдвижению А.Д. Сахаровым идеи магнитной термоизоляции плазмы, была бы неполной, если не отметить следующий, ставший известным только в последние годы, факт.

Физик немецкого происхождения Клаус Фукс, работавший в 1944–1946 гг. в составе английской миссии в Лос-Аламосе и сотрудничавший с советской разведкой, передал для СССР 19 сентября 1945 г. через Гарри Голда, во время встречи с ним в Санта Фэ, конспект лекций Энрико Ферми, содержавший теоретические основы американского проекта водородной бомбы, известного как "классический супер", и отражавший ранние подходы ученых Лос-Аламоса к проблеме создания водородной бомбы [3, 4]. В качестве основной схемы "классического супера" рассматривалась комбинация из атомной бомбы пушечного типа, промежуточной камеры с дейтериево-тритиевой смесью и цилиндра с жидким дейтерием. Интересной особенностью этого документа было то, что в качестве одного из вариантов решения проблемы инициирования ядерного горения рассматривалось применение для уменьшения теплопроводности магнитного поля [10, с. 108]. Конспект лекций Э. Ферми содержал раздел "Применение магнитного поля для уменьшения теплопроводности". В нем отмечалось, что поскольку масштаб времени для воспламенения очень велик, теп-

лопроводность может вызвать серьезные потери. Их можно уменьшить с помощью магнитного поля. Заключительный раздел документа гласил:

"Все проекты в отношении возбуждения в сверхбомбе, представленные до сих пор, весьма неопределенны. Один из них, заслуживающий наибольшего предпочтения, состоит в следующем: в центре находится бомба с "25"<sup>12</sup> (около 100 кг "25") пушечного типа. Она окружена заполнителем из BeO, хорошо отражающим нейтроны и пропускающим излучение. Часть поверхности из BeO покрывается металлическим ураном в качестве предохранителя от действия излучения. За этим предохранителем находится смесь D+T, подогреваемая нейтронами, исходящими из бомбы.

Если применяется магнитное поле, то смесь D+T может иметь кольцеобразную (т.е. тороидальную — Авт.) форму. При этом имеет значение лишь поперечная теплопроводность. За смесью T+D находится чистый D<sup>13</sup>.



Верно: (подпись) /Горелик/  
 Материал обработал: (подпись) /Терлецкий/  
 28 января 1946 г."

Отметим, что надпись от руки на схеме сделана Я.Б. Зельдовичем.

Мы видим, что идея магнитной термоизоляции в лекциях Э. Ферми относилась к одному из ранних проектов водородной бомбы. Возникает вопрос: рассматривали ли ученые Лос-Аламоса в то время, когда писался конспект лекций Э. Ферми, возможность создания управляемого термоядерного реактора? Если да, то выдвигалась ли ими идея магнитной термоизоляции плазмы применительно к термоядерному реактору? Рассматривалась ли ими при этом возможность осуществления термоядерного реактора в форме тороида? Ответы на эти вопросы содержатся в статье Джеймса Филлипса "Магнитный синтез", опубликованной в [11]. Приведем цитату из этой статьи:

"В военные годы, в то время как Лаборатория исследовала пути использования ядерной энергии для осуществления мощных взрывов, Улам, Ферми, Теллер и Так также задумывались над использованием синтеза легких элементов для управляемого освобождения энергии и производства полезной мощности.

С 30-х годов было понято, что источником энергии Солнца и других звезд является термоядерный синтез, происходящий в очень горячей плазме в центре звезд. Тепловая энергия ядер в такой плазме настолько велика, что положительно заряженные ядра могут проникать через кулоновский барьер и сблизиться настолько сильно, что может происходить их слияние.

Воспроизведение такого процесса в лабораторных условиях требует получения плазмы, нагрева ее до термо-

<sup>11</sup> Вторая работа О.А. Лаврентьева зарегистрирована в секретариате ЦК ВКП (б) 23 декабря 1950 г. 2 января 1951 г. И.Д. Сербин направил ее секретарю Специального комитета В.А.Махневу.

<sup>12</sup> Условное обозначение урана-235.

<sup>13</sup> В длинном цилиндрическом сосуде в жидком состоянии — Авт.



ядерных температур и удержания их в течение достаточно продолжительного времени, чтобы прошли реакции синтеза. В 1946 г. Лос-Аламосская группа пришла к заключению, что плазма должна быть нагрета до 100 миллионов градусов по Цельсию, т.е. быть в десять раз горячее, чем в центре Солнца, и иметь температуру на много порядков выше, чем температура, когда либо достигнутая на Земле.

Так как тепло плазмы будет быстро испарять вакуумный контейнер, в котором создана плазма, необходимо предпринять меры для предотвращения контакта плазмы со стенками контейнера. Возможным средством для этого может быть "магнитная бутылка", т.е. магнитное поле подходящей протяженности и геометрии. Может быть сконструирована цилиндрическая магнитная бутылка, но частицы плазмы в такой бутылке будут быстро теряться на ее концах. С другой стороны, тороидальная бутылка должна исключить концевые потери, однако, как показал Ферми, частицы в простом тороидальном магнитном поле будут быстро дрейфовать наружу и сталкиваться со стенками.

В эти ранние дни были также сделаны расчеты баланса между величиной энергии, производимой при термоядерных реакциях, и величинами радиационных потерь энергии и потерь энергии за счет других процессов. На основе балансных соображений был сделан вывод о том, что создание энергетического реактора, основанного на ядерном синтезе, невозможно."

Мы видим, что ученые Лос-Аламоса не ограничились рассмотрением возможности использования магнитной термоизоляции для инициирования водородной бомбы и рассматривали эту идею в 1946 г. применительно к возможности осуществления синтеза легких элементов в лабораторных условиях. Сделанный ими тогда вывод был отрицательным (отметим, что идея магнитной термоизоляции для инициирования "классического супера" также была оставлена).

Новые надежды появились с момента выдвижения идеи магнитного удержания плазмы путем пропускания через плазму электрического тока вдоль оси реакторной камеры:

"В 1950 г. Джим Так вернулся в Лос-Аламос (после посещения своей родины — Англии и пребывания в Чикагском университете) и начал работать над магнитным удержанием плазмы с "Z-пинчем". В этой схеме электрическое поле, приложенное вдоль оси разрядной трубки, создает электрический ток, собственное магнитное поле которого стягивает канал тока к оси трубки. Возникли соображения, что процесс стягивания может повысить плотность и температуру плазмы до таких больших величин, которые необходимы для синтеза. Так знал из работ британских ученых, что быстрое увеличение тока для получения высоких температур вызывает нестабильности в пинче. Он предположил, что нестабильности могут быть минимизированы приложением слабого электрического поля вдоль разрядной трубки и медленным увеличением тока. В дополнение к этому он хотел попытаться осуществить этот медленный Z-пинч в тороидальной разрядной трубке..."

Удивительно, к каким близким идеям приходили советские и американские (а также английские) ученые уже на самом раннем этапе работ над проблемой управляемого термоядерного синтеза.

С 1951 г. эти работы поддерживались и регламентировались в СССР специальными правительственными декретами, первые из которых, как описано выше, были приняты в апреле и мае 1951 г. История событий, приведших к их принятию, изложена в настоящей статье. После принятия этих правительственных декретов начался долгий теоретический и экспериментальный поиск путей решения грандиозной по своему потенциальному значению проблемы, оказавшейся проблемой чрезвычайной сложности. Периоды получения обнадеживающих результатов (первым из которых было обнаружение 4 июля 1952 г. на экспериментальной установке Курчатова института нейтронов, первоначально ошибочно признанных нейтронами термоядерного происхождения [12, л. 87]) сменялись длительными периодами разочарований.

История этих исследований и современное состояние вопроса рассмотрены в статье В.Д. Шафранова.

### Благодарности

Автор выражает благодарность Б.Д. Бондаренко, статья которого стимулировала работу автора над настоящей статьей. Автор благодарит первого заместителя Министра Российской Федерации по атомной энергии Л.Д. Рябева за поддержку работы над историей отечественного атомного проекта, сделавшей возможной настоящую публикацию. Автор благодарен начальнику отдела по обеспечению деятельности Архива Президента Российской Федерации В.Н. Якушеву, сотрудникам отдела А.С. Степанову, Н.И. Ротовой и Г.А. Разиной за содействие в работе с архивными документами, использованными при подготовке настоящей статьи и публикуемыми в разделе "Из Архива Президента Российской Федерации", сотрудникам РФЯЦ – ВНИИЭФ Л.А. Павловой, А.М. Петровой, Н.А. Прусаковой и Т.А. Самсоновой за помощь в подготовке к публикации указанных архивных документов.

Автор также благодарит В.Д. Шафранова за полезные обсуждения.

### Список литературы

1. *Атомный проект СССР: Документы и материалы* Т. 2 *Атомная бомба 1945–1954* Кн. 1 (Отв. ред. Л.Д. Рябев, отв. сост. Г.А. Гончаров) (М.: Наука, Физматлит; Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 1999)
2. Сахаров А.Д. *Воспоминания* (М.: Права человека, 1996)
3. Гончаров Г.А. *УФН* **166** 1095 (1996)
4. Goncharov G.A. *Phys. Today* **49** (11) 44 (1996)
5. Davis W. *Sci. News Lett.* (17 July) 35 (1948)
6. Архив Президента Российской Федерации (АП РФ), ф.93, д. 200/51
7. Архив Президента Российской Федерации (АП РФ), ф.93, д. 2/51
8. Лаврентьев О.А., Препринт ИОФ РАН № 8 (М.: ИОФ РАН, 1993)
9. Смит Г.Д. *Атомная энергия для военных целей. Официальный отчет о разработке атомной бомбы под наблюдением правительства США* (М.: Трансжелдориздат, 1946)
10. Барковский В.Б., в сб. *История советского атомного проекта. Документы, воспоминания и исследования* Вып. 1 (Отв. ред. В.П. Визгин) (М.: Янус-К, 1998)
11. Phillips J.A. *Los Alamos Sci.* **7** 64 (1983)
12. Архив Президента Российской Федерации (АП РФ), ф.93, д. 185/52

## Из Архива Президента Российской Федерации

В последнее время в Архиве Президента Российской Федерации были найдены и рассекречены некоторые материалы и первоисточники, касающиеся истории работ по управляемому термоядерному синтезу.

В настоящем разделе<sup>1</sup> представлены документы из Архива Президента Российской Федерации, отобранные и подготовленные для публикации в сборнике *Атомный проект СССР. Документы и материалы*, издаваемом Министерством Российской Федерации по атомной энергии под редакцией первого заместителя Министра Российской Федерации по атомной энергии Л.Д. Рябева. Публикуются текст Постановления Совета Министров СССР от 5 мая 1951 г. "О проведении научно-исследовательских и экспериментальных работ по выяснению возможности создания магнитного термоядерного реактора" (с сокращениями, без Приложений 3–7); текст первой работы О.А. Лаврентьева (июль, 1950 г.) и отзыв на эту работу А.Д. Сахарова (18 августа 1950 г.).

Хранить наравне  
с шифром.  
Сов. секретно  
(Особая папка)

### СОВЕТ МИНИСТРОВ СССР

#### ПОСТАНОВЛЕНИЕ

от 5 мая 1951 г. № 1463-732сс/оп

Москва, Кремль

"О проведении научно-исследовательских и экспериментальных работ по выяснению возможности осуществления магнитного термоядерного реактора"

Придавая важное значение предложению т. Сахарова А.Д. об использовании внутриядерной энергии легких элементов с помощью магнитного термоядерного реактора (установка "МТР"), Совет Министров Союза ССР ПОСТАНОВЛЯЕТ:

1. Обязать Первое главное управление (т.т. Ванникова, Завенягина, Курчатова) организовать научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы по выяснению возможности получения самоподдерживающейся термоядерной реакции с помощью магнитного термоядерного реактора и обеспечить выполнение следующих работ:

- а) разработки теории процесса газового разряда в магнитном поле;
- б) разработки теории магнитного термоядерного реактора;
- в) изучения процессов ионизации водорода и получения высокой ионной температуры на лабораторных установках;
- г) разработки методов расчета магнитных систем, схем электрического питания и регулирования, а также методов получения высокого вакуума.

<sup>1</sup> Включенные в настоящий раздел документы из Архива Президента Российской Федерации подготовлены для публикации Г.А. Гончаровым. (Сохранена орфография оригиналов.)



### СОВЕТ МИНИСТРОВ СССР

#### ПОСТАНОВЛЕНИЕ

от 5 мая 1951 г. № 1463-732сс/оп

Москва, Кремль

О проведении научно-исследовательских и экспериментальных работ по выяснению возможности осуществления магнитного термоядерного реактора.

Придавая важное значение предложению т. Сахарова А.Д. об использовании внутриядерной энергии легких элементов с помощью магнитного термоядерного реактора (установка "МТР"), Совет Министров Союза ССР ПОСТАНОВЛЯЕТ:

1. Обязать Первое главное управление (т.т. Ванникова, Завенягина, Курчатова) организовать научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы по выяснению возможности получения самоподдерживающейся термоядерной реакции с помощью магнитного термоядерного реактора и обеспечить выполнение следующих работ:

- а) разработки теории процесса газового разряда в магнитном поле;
- б) разработки теории магнитного термоядерного реактора;
- в) изучения процессов ионизации водорода и получения высокой ионной температуры на лабораторных установках;
- г) разработки методов расчета магнитных систем, схем электрического питания и регулирования, а также методов получения высокого вакуума.

2. Сосредоточить основные научно-исследовательские работы по выяснению возможности создания магнитного термоядерного реактора в Лаборатории измерительных приборов АН СССР.

3. Считать необходимым сооружение в Лаборатории измерительных приборов АН СССР в 1952 году большой лабораторной модели магнитного термоядерного реактора, с потреблением мощности около 5000 киловатт, рассчитанной на получение нейтронного излучения.

Факсимильное воспроизведение первой страницы Постановления СМ СССР от 5 мая 1951 г. "О проведении научно-исследовательских и экспериментальных работ по выяснению возможности осуществления магнитного термоядерного реактора".

2. Сосредоточить основные научно-исследовательские работы по выяснению возможности создания магнитного термоядерного реактора в Лаборатории измерительных приборов АН СССР.

3. Считать необходимым сооружение в Лаборатории измерительных приборов АН СССР в 1952 г. большой лабораторной модели магнитного термоядерного реактора с потреблением мощности около 5000 кВт, рассчитанной на получение нейтронного излучения.

4. Утвердить:

Члена-корреспондента АН СССР т. Арцимовича Л.А. научным руководителем работ по выяснению возможности создания "МТР";

Кандидата физико-математических наук Сахарова А.Д. — заместителем научного руководителя по теоретической части;

Профессора Ефремова Д.В. — заместителем научного руководителя по проектно-конструкторской части;

Академика Леонтовича М.А. — научным руководителем теоретических разработок по "МТР" в Лаборатории измерительных приборов АН СССР.

Обязать т. Арцимовича в 1951 г. не менее половины своего рабочего времени заниматься работами по магнитному термоядерному реактору.

Хранить наравне  
с шифром  
РАССЕКРЕТНО  
(Особая папка)

5. Обязать Академию наук СССР (т. Несмеянова) и Физический институт им. Лебедева АН СССР (т. Скобельцына) откомандировать акад. Леонтовича М.А. для работы в Лаборатории измерительных приборов АН СССР сроком на 1,5 года.

Обязать Военное Министерство СССР (т. Василевского) освободить академика Леонтовича М.А. от работы в НИИ-108.

6. Разрешить Лаборатории измерительных приборов АН СССР (тг. Головину, Арцимовичу) сосредоточить экспериментальные работы и теоретические исследования по установке "МТР" в отделах электроаппаратуры и оптических приборов, передав часть работ по гравитационному методу разделения на базу № 9<sup>2</sup>, а все проектно-конструкторские и научно-исследовательские работы по агрегату "АМ"<sup>3</sup> — Лаборатории "В" Первого главного управления при Совете Министров СССР<sup>4</sup>.

Поручить Первому главному управлению при Совете Министров СССР (т. Завенягину) и Лаборатории измерительных приборов АН СССР (т. Курчатову) разработать и внести на утверждение Совета Министров СССР в месячный срок предложения об откомандировании на базу № 9 и в Лабораторию "В" соответствующих специалистов, сроках демонтажа оборудования и порядке передачи специальных приборов и секретной документации.

7. Обязать Лабораторию измерительных приборов АН СССР (тг. Головина, Арцимовича), Базу № 112<sup>5</sup> (т. Харитона), Физико-технический институт АН СССР (т. Комара), Физико-технический институт АН УССР (т. Синельникова), Теплотехническую лабораторию АН СССР<sup>6</sup> (т. Алиханова) и ОКБ МЭП (т. Ефремова) выполнить теоретические и экспериментальные исследования по выяснению возможности создания установки "МТР", согласно приложениям №№ 1, 2, 3.

8. Обязать Военное Министерство СССР (т. Василевского) и НИИ-108 (т. Кугушева) выполнить по техническим условиям Лаборатории измерительных приборов АН СССР теоретические и экспериментальные исследования на моделях для выяснения возможности ионизации водорода и нагрева его в магнитном поле до температуры выше миллиона градусов с помощью высокочастотных полей от  $10^5$  до  $3 \times 10^9$  периодов в секунду.

9. Утвердить проф. Калашникова С.Г. научным руководителем работ по "МТР" в НИИ-108 Военного Министерства СССР.

10. Обязать Министерство высшего образования СССР (т. Столетова) освободить проф. Калашникова С.Г. от заведования кафедрой физики в Московском государственном университете.

11. Обязать Министерство электропромышленности и ОКБ МЭП (т. Ефремова) выполнить до 1 сентября 1952 г. совместно с Лабораторией измерительных при-

боров АН СССР (тг. Арцимовичем и Головиным) научно-исследовательские работы и эскизный проект промышленной установки "МТР" для выяснения основных технических и экономических показателей установки.

12. Обязать Первое главное управление при Совете Министров СССР (тг. Ванникова, Завенягина, Курчатова), Лабораторию измерительных приборов АН СССР (тг. Арцимовича, Головина), Базу № 112 (тг. Харитона, Сахарова, Тамма) и ОКБ МЭП (т. Ефремова) представить к 1 октября 1952 г. в Совет Министров СССР заключение о возможности осуществления установки "МТР" в промышленном масштабе с указанием основных характеристик установки.

13. Организовать при Лаборатории измерительных приборов АН СССР научно-техническую комиссию для обсуждения вопросов, связанных с разработкой проекта "МТР", в составе:

Академика	Курчатова И.В.	Председателя комиссии
Члена-корреспондента АН СССР	Арцимовича Л.А.	Зам. председателя комиссии
Кандидата физико-математических наук	Головина И.Н.	Зам. председателя комиссии
Кандидата физико-математических наук	Сахарова А.Д.	Члена комиссии
Члена-корреспондента АН СССР	Тамма И.Е.	Члена комиссии
Академика	Леонтовича М.А.	—
Кандидата физико-математических наук	Владимирского В.В.	—
Профессора	Ефремова Д.В.	—

14. Обязать Министерство электропромышленности и ОКБ МЭП (т. Ефремова) спроектировать по техническим условиям Лаборатории измерительных приборов АН СССР и построить к 1 мая 1952 г. большую лабораторную модель "МТР-Л2".

15. Обязать Лабораторию измерительных приборов АН СССР (тг. Арцимовича, Головина) и ОКБ МЭП (т. Ефремова) представить до 1 ноября 1951 г. в Совет Министров СССР мероприятия по обеспечению постройки большой лабораторной модели "МТР-Л2".

16. Утвердить мероприятия по обеспечению работ, связанных с постройкой в Лаборатории измерительных приборов АН СССР установок "МТР-Л" и "МТР-Л2", согласно приложению № 4.

Председатель  
Совета Министров Союза ССР И. Сталин  
Управляющий Делами  
Совета Министров СССР М. Помазнев

<sup>2</sup> База № 9 предприятие по разделению изотопов урана в Свердловской области — Уральский электромеханический комбинат.

<sup>3</sup> Агрегат "АМ" — ядерный реактор первой атомной электростанции СССР, сооруженной в г. Обнинске.

<sup>4</sup> Лаборатория "В" — в настоящее время Государственный научный центр "Физико-энергетический институт".

<sup>5</sup> База № 112 — в настоящее время Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (РФЯЦ — ВНИИЭФ).

<sup>6</sup> Теплотехническая лаборатория — Государственный научный центр "Институт теоретической и экспериментальной физики".

Разослано: тг. Поскребышеву, Ванникову, Курчатову, Харитону, Махневу — полностью; выписки, согласно рассылке.

АП РФ. Ф. 93. Коллекция постановлений и распоряжений СМ СССР за 1951 г.

Сов. секретно  
(Особая папка)

Приложение № 1  
к Постановлению СМ СССР  
от 5 мая 1951 г. № 1463-732сс/оп

### П Л А Н

теоретических исследований по выяснению возможности осуществления магнитного термоядерного реактора

(Научные руководители: акад. Леонтович М.А.,  
чл.-корреспондент АН СССР Тамм И.Е.,  
кандидат физико-математических наук Сахаров А.Д.)

Наименование работ	Срок исполнения	Ответственный исполнитель
--------------------	-----------------	---------------------------

#### 1. Статистическая теория плазмы в магнитном поле

- |   |                   |   |
|---|-------------------|---|
| а) Вывод кинетических уравнений плазмы с учетом флуктуаций и вибрационных процессов   | 1 августа 1951 г. | База № 112<br>Боголюбов                                     |
| б) Исследование устойчивости плазмы в магнитном поле при переменных по объему значениях напряженности магнитного поля, температуры и плотности. Теория устойчивости плазмы при прохождении в ней низкочастотного и высокочастотного тока. Теория процессов турбулентности | 1 января 1952 г.  | База № 112<br>Боголюбов<br>Лаб. изм.<br>приборов<br>Давыдов |
| в) Расчет теплопередачи, степени ионизации, температуры и плотности частиц в неполностью ионизованной плазме в отсутствие теплового равновесия  | 1 июля 1951 г.    | Лаб. изм.<br>приборов<br>Давыдов                            |

#### 2. Теория элементарных процессов

- |   |                    |  |
|---|--------------------|--|
| а) Расчеты передачи энергии в плазму при замедлении быстрых ядерных частиц  | 1 сентября 1951 г. | Лаб. изм.<br>приборов<br>Мигдал<br>Полуектов |
| б) Расчет перезарядки нейтральных атомов, вероятности процессов ионизации водорода в интервале энергий от 1 эВ до 100 кэВ                         | 1 мая 1951 г.      |  |
| в) Уточненный расчет тормозного излучения электронов в плазме   | 1 октября 1951 г.  |  |
| г) Расчет излучения электронов плазмы, движущихся в магнитном поле (спектральный состав излучения, уширение линий, обратное поглощение излучений) | 15 июля 1951 г.    |  |

#### 3. Теория магнитного термоядерного реактора

- |  |                   |  |
|--|-------------------|--|
| а) Исследование возможных путей устранения магнитного дрейфа частиц плазмы | 1 октября 1951 г. | База № 112<br>Сахаров, Тамм<br>Лаб. изм.<br>приборов<br>Арцимович<br>Теплотехнич. лаб.<br>Владимирский |
| б) Исследования работы различных вариантов МТР при установленном режиме    | 1 января 1952 г.  | База № 112<br>Сахаров, Тамм<br>Теплотехнич. лаб.<br>Владимирский<br>Лаб. изм.<br>приборов<br>Мигдал    |

Наименование работ	Срок исполнения	Ответственный исполнитель
в) Разработка теории зажигания газового разряда в магнитном поле	1 сентября 1951 г.	Лаб. изм. приборов Давыдов
г) Разработка теории разогрева МТР	1 июля 1951 г.	Лаб. изм. приборов Арцимович
д) Расчеты режимов работы лабораторной модели "МТР-Л"	1 мая 1951 г.	Лаб. изм. приборов Головин
Управляющий Делами СМ СССР		М. Помазнев

Сов. секретно  
(Особая папка)

Приложение № 2  
к Постановлению СМ СССР  
от 5 мая 1951 г. № 1463-732сс/оп

### П Л А Н

проведения экспериментальных работ по выяснению возможности осуществления магнитного термоядерного реактора

(Научные руководители:  
Чл.-корреспондент АН СССР Арцимович Л.А.,  
кандидат физико-математических наук Головин И.Н.)

Наименование работ	Срок исполнения	Ответственный исполнитель
1. Изучение ионизации водорода и получение высокой ионной температуры на лабораторных установках и большой лабораторной модели "МТР-Л" при помощи: а) безэлектродного разряда в магнитном поле и без магнитного поля в режиме непрерывного горения; б) безэлектродного разряда в магнитном поле и без магнитного поля при импульсном возбуждении разряда и поля	май 1952 г. —	Лаб. изм. приборов Головин Лаб. изм. приборов Андрианов
2. Изучение возможности ионизации и нагрева плазмы в магнитном поле высокочастотными колебаниями.	—	НИИ-108 Кутушев Калашников
3. Разработка методов и приборов для измерения температуры электронов и ионов в плазме МТР	декабрь 1951 г.	Лаб. изм. приборов Лукьянов
4. Разработка конструкции высокопроизводительного низкотемпературного водородного насоса на давление ниже $10^{-8}$ мм и исследование вакуумных свойств материалов в глубоком вакууме (ниже $10^{-8}$ мм)	—	ФТИ АН УССР Синельников Лазарев
5. Проверка основных выводов теории плазмы в магнитном поле (спектр колебаний, турбулизация, обмен энергией между ионами и электронами и др.)	май 1952 г.	ДФТИ Комар Дукельский
Печать протокольной части управления делами Совета Министров СССР		Управляющий Делами СМ СССР М. Помазнев

**Предложение О.А. Лаврентьева,  
отправленное в ЦК ВКП(б)  
29 июля 1950 г.**

Органы власти, органы управления  
Всесоюзная коммунистическая партия (большевиков)  
Городской Комитет ВКП(б)  
29 июля 1950 г.  
№ 21000  
г. Пермь, Сахалинской обл.

ОСОБАЯ ПАПКА  
Ц.Н.В.Н.Д. (1) секретно  
6900  
ЦК ВКП(б) - КОЛЛЕКТИВНО-МАШИНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ОТДЕЛ Ц.Н.В.Н.Д.  
ТЕКСТОВАЯ КОПИЯ

По поручению секретаря Сахалинского обкома ВКП(б) тов. Мельник, в дополнение к полученному Записи от Лаврентьева за № 12, высылаю Вам биографическую справку и специальную работу, выполненную Лаврентьевым.

ПРИЛОЖЕНИЕ: Спецработа на 12 листах и биографическая справка.

Секретарь Горнозаводского горкома ВКП(б) / В. Седухин / г.В. Овухов /

Высылаемая работа состоит из трех отдельных предложений:

1. Методы использования энергии литиево-водородных ядерных реакций и преобразование ее в электрическую энергию.
2. Методы преобразования энергии урановых и транс-урановых ядерных реакций непосредственно в электрическую энергию.
3. Возможности применения энергии реакции ( $Li_3^6 + H_1^2 - 2\alpha$ ) в военном деле (литиево-водородная бомба).

- По содержанию работа разбита на четыре части:
- I. Основные идеи.
  - II. Опытная установка по преобразованию энергии литиево-водородных реакций в электрическую энергию.
  - III. Опытная установка по преобразованию энергии урановых и трансураниевых ядерных реакций в электрическую энергию.
  - IV. Литиево-водородная бомба (конструкция).

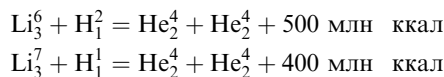
К сожалению, я не успел закончить II и III часть и высылаю лишь краткие конспекты. I часть написана также весьма поверхностно. Считаю целесообразным свое личное участие при обсуждении моего проекта.

Лаврентьев

**Содержание:**

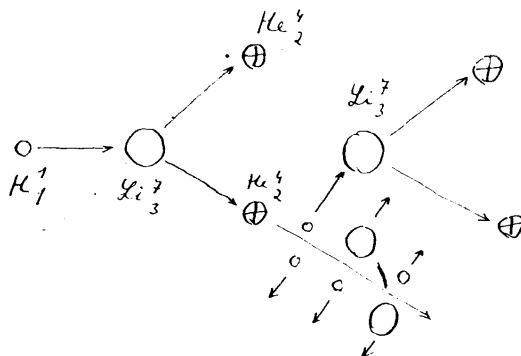
- I. Общие замечания, основные идеи.
  1. Метод свободных соударений ядер.
  2. Литиево-водородная бомба.
  3. Вопросы отбора мощности протонных ядерных реакций.
  4. Метод электростатического поглощения энергии быстрых заряженных частиц в замедляющем электрическом поле.
  5. Условия протекания протонных ядерных реакций.
- II. Опытная установка.
  1. Общие указания.
  2. Сетка, ее конструкция. Фокусировка ионного потока. Коэффициент потерь. Охлаждение сетки. Электроизоляция.
  3. Размеры установки. Факторы, влияющие на размеры.
  4. Каркас, строительные работы, вакуумная система.
  5. Пуск установки.
  6. Введение реагирующих веществ (водорода и лития).
  7. Очистка от продуктов реакции.
  8. Мощность, ее регулирование.
  9. Защита от перегрузок.
  10. Вопросы передачи энергии на расстояние. Высоковольтные линии передач постоянного тока. Преобразование постоянного тока высокого напряжения в переменный низкого напряжения.
- III. Возможности использования метода электростатического поглощения энергии быстрых заряженных частиц в урановых и транс-урановых ядерных реакциях.
- IV. Конструкция литиево-водородной бомбы.

**I часть**



1. Из всех способов использования энергии протонных ядерных реакций приведенного выше типа практически возможным является лишь один — метод свободных соударений ядер. Сущность его заключается в следующем:

В некотором, достаточно большом объеме свободно перемещаются ядра лития и водорода со скоростями порядка  $10^6 - 10^7$  м/сек. При столкновении протона с ядром лития образуется сложное неустойчивое ядро, которое распадается на две  $\alpha$ -частицы с общей энергией порядка 17 MeV.  $\alpha$ -частицы, разлетаясь в разные стороны, передают путем столкновений свою энергию соседним ядрам, которые снова взаимодействуют друг с другом. Получается следующая цепная реакция:



Условием возможности протекания этой реакции является достаточно большое количество реагирующих веществ, которое, в свою очередь, зависит от объема установки, от ее прочности. Реакция будет иметь место, если на каждые 100 ядер, пролетающих от центра установки к ее поверхности, совершается одно-два ядерных превращения.

2. Для сообщения ядрам лития и водорода необходимой начальной скорости можно воспользоваться ценной реакцией между ядрами плутония. Проще всего это можно сделать, если подорвать атомную бомбу в среде, состоящей из 87,5% лития и 12,5% водорода. В этом отношении очень удобен гидрид лития, как вещество твердое. Образующиеся при взрыве атомной бомбы в большом количестве быстрые частицы передадут свою энергию ядрам лития и водорода, между которыми также произойдет ядерная реакция. Реакция будет иметь характер взрыва, более сильного, чем взрыв атомной бомбы.

Должен заметить, что первые слои, лежащие непосредственно у атомной бомбы, должны состоять из изотопов  $Li_3^6$  и  $H_1^2$ . Это потребует значительно большей затраты средств и времени, но гарантирует успех, так как, во-первых, ядерная реакция между ядрами  $Li_3^6$  и  $H_1^2$  имеет примерно в 30 раз больший выход (из английских источников), во-вторых, она более энергоемка, в-третьих, будет иметь место реакция между ядрами  $Li_3^6$  и нейтронами (правда, эта реакция дает примерно в четыре раза меньше энергии, чем  $(Li_3^6 - \alpha - 2\alpha)$ .<sup>1</sup>

3. Протонные ядерные реакции осуществимы, по-видимому, лишь в больших масштабах (в установках порядка сотен тысяч и миллионов кВт мощностью). Поэтому отбор мощности представляет собой одну из труднейших проблем. Можно, конечно, воспользоваться старыми, давно испытанными тепловыми методами. Например, можно стенки установки сделать трубчатыми, вдувать в трубы водород под давлением, который, поглощая быстро летящие частицы и нагреваясь, выходит через соседние трубы, после чего приводит в действие газовые турбины. Однако такая система отбора мощности потребует перестройки всей энергетической

<sup>1</sup> Так в документе. По смыслу следует читать  $Li^6 + H^2 \rightarrow 2He^4$

базы, создания новых сверхмощных турбин, компрессоров, генераторов и, как следствие всего этого, больших денежных затрат.

4. Я предлагаю другой способ отбора мощности — метод электростатического поглощения энергии быстрых частиц в замедляющем электрическом поле. Этот метод позволит: во-первых, получать большую часть (ориентировочно 80–90 %) ядерной энергии в виде постоянного электрического тока высокого напряжения, во-вторых, сократить размеры установки.

Сущность этого метода заключается в том, что заряженные частицы, проходя сквозь замедляющее электрическое поле, отдают ему свою энергию. Если мы отделим некоторый объем, в котором протекают протонные ядерные процессы, двумя оболочками (внутренняя оболочка сетчатая) и подведем к ним высокое постоянное напряжение порядка 0,5–1 MV, плюсом к внешней оболочке, то положительно заряженные ядра, пролетая сквозь сетку, попадут в замедляющее электрическое поле и или будут отброшены назад и примут снова участие в ядерных процессах, если их энергия меньше энергии замедляющего поля, или достигнут внешней оболочки и отдадут ей свой заряд, если их энергия больше энергии замедляющего поля.

Так как внутри полости сетки все время происходит выделение энергии за счет реакции между ядрами лития и водорода, то средняя скорость, несмотря на потери в сетке, а также передачу части энергии замедляющему полю, остается постоянной и реакция продолжается.

5. Реакция будет протекать, если энергия, поглощаемая сеткой, меньше энергии, выделяемой в результате ядерной реакции. Так как всегда можно выбрать размеры установки такими, что энергия, поглощаемая сеткой, будет меньше общей выделенной энергии (объем увеличивается в кубе, площадь — в квадрате), то вопрос о возможности данной ядерной реакции можно считать решенным. Остается открытым лишь вопрос о размерах установки. Я полагаю, что эти размеры не выходят из рамок возможностей строительной техники: во-первых, рациональной конструкцией мы можем до известных пределов уменьшить коэффициент потерь сетки, во-вторых, мы можем увеличить плотность потока ядер (также до известных пределов) за счет увеличения прочности конструкции (учитывается прочность как внешней оболочки, так и сетки), в-третьих, первая опытная установка будет работать на изотопах  $\text{Li}_3^6$  и  $\text{H}_1^2$ , т.е. в наиболее благоприятных условиях.

**III. Метод электростатического поглощения энергии быстрых заряженных частиц в замедляющем электрическом поле с успехом может быть применен для преобразования ядерной энергии урановых и трансураниевых реакций непосредственно в электрическую.**

Принципиально метод остается таким же, как и в случае литиево-водородных ядерных реакций. Так как расщепление ядер плутония происходит в результате нейтронных столкновений, то энергию замедляющего поля можно выбрать в довольно широких пределах, тем самым регулируя плотность ядерного потока.

Для начала реакции в установку вводится плутоний (в виде ионов). После начала реакция поддерживается введением урана-238 (природного), который под действием нейтронов превращается в плутоний и участвует в реакции. Для отвода мощности необходимо также вводить в виде ионов какое-либо инертное вещество с малым зарядом ядра ( $\text{H}_1^2$ ,  $\text{H}_1^1$ ,  $\text{He}_2^4$ ).

Интересно отметить, что, по всей вероятности, столкновение перегруженных нейтронами осколков ядер с другими ядрами может сопровождаться выделением нейтронов. Если это так, то возможности моего метода возрастают в еще большей степени.

Этот метод не требует дополнительной очистки от продуктов реакции, так как осколки от деления ядер выбрасываются в первую очередь. Часть энергии превращается в тепловую энергию, и поэтому нужен корпус и сетку охлаждать.

Конструкция корпуса — цилиндр с закругленным верхом. Сетка состоит из отдельных труб, связанных снизу и сверху

соединительными трубчатыми кольцами (беличье колесо). Трубчатые кольца укреплены на изоляторах. Изоляторы имеют каналы для пропускания охлаждающей жидкости, с кольцами соединены герметически.

(Подробности изложу устно или в отдельной работе).

## Черновые заметки к работе по II–IV частям Лаврентьева

О возможности литиево-водородных ядерных реакций.

Для успешного протекания ядерных реакций типа  $(\text{Li}_3^6 - \text{H}_1^2 - 2x)$  и  $(\text{Li}_3^6 - \text{H}_1^1 - 2x)$  требуются два условия:

1) Движение ядер со скоростями, обеспечивающими протекание ядерной реакции при взаимном столкновении.

2) Достаточно большое общее число столкновений ядер.

Необходимые начальные скорости ядер достигаются с помощью электрического поля высокого напряжения, а затем поддерживаются за счет ядерной реакции. Должен заметить, что между сеткой и ядрами, находящимися в ее полости, возникает вредное электрическое поле, направленное навстречу основному. Это поле замедляет скорости ядер, поэтому при выборе напряжения ускоряющего электрического поля между сеткой и корпусом нужно учитывать также и влияние на скорость ядер поля пространственного заряда.

Факторами, определяющими второе условие, являются плотность ядерного потока, его линейные размеры.

Плотность ядерного потока зависит от скорости ядер и от прочности установки (учитывается прочность как корпуса, так и сетки). Плотность можно значительно увеличить, применяя фокусировку ядерного потока в пространстве и по времени. Нетрудно доказать, что в идеальных условиях плотность ядерного потока будет увеличиваться от поверхности установки к ее центру в квадратной зависимости по сравнению с линейными размерами взятого объема.

Фокусировка ядерного потока в пространстве достигается рациональной конструкцией корпуса и сетки. Фокусировка по времени — применением высокочастотного поля.

### II. Опытная установка

1. Конструирование опытной установки для использования ядерной энергии протонных реакций связано с решением многих больших и малых проблем, требующих привлечения квалифицированных специалистов из различных областей науки и техники, поэтому я не могу претендовать на фундаментальность и окончательность этой части моей работы. Безусловно, многие вопросы потребуют уточнения и даже переработки заново. В основном, я хочу лишь набросать план дальнейших работ, а также развить свои идеи в применении к конструктивному решению.

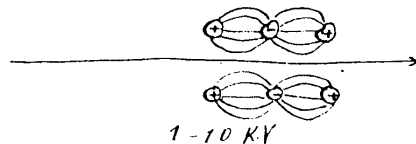
Установка состоит из каркаса, сетки, системы охлаждения, вакуумной установки, защитных приспособлений, пускового агрегата, фокусирующих устройств, аппаратуры очистки и введения новых продуктов реакции (высокочастотного генератора) и др. менее важных деталей.

#### 2. Сетка.

К сетке предъявляются следующие требования:

- а) малый коэффициент поглощения быстрых частиц;
- б) прочность и закругленность конструкции;
- в) хорошая электроизоляция от корпуса;
- г) возможность интенсивного охлаждения;
- д) отсутствие термоэлектронной эмиссии.

Пути снижения коэффициента поглощения сетки возможны следующие: во-первых, можно до известных пределов увеличить полезную площадь "окон" сетки, во-вторых, применяя ядерную фокусировку, можно направлять ядра точно в окна + 0,5 MV (электростатическая линза).



Конструктивно сетка выполнена из связанных между собой труб. Для охлаждения по трубам пропускается какая-либо жидкость, не проводящая электрического тока. Внутри корпуса сетка укрепляется с помощью стеклянных или фарфоровых подпор, служащих в то же время для подведения и отведения охлаждающей жидкости. Термоэлектронная эмиссия может быть устранена с помощью специального покрытия.

3. Размеры установки должны быть выбраны такими, чтобы:

а) величина свободного пробега ядер укладывалась несколько раз от центра установки до сетки;

б) отсутствовала утечка зарядов с сетки из-за перенапряженности поля в отдельных узлах сетки.

4. Каркас имеет шарообразную форму. Так как лишь часть ядерной энергии выделяется на каркасе в виде тепла, то возможно воздушное охлаждение внешней оболочки. В случае строительства установки под землей нужно предусмотреть водяное охлаждение внешней оболочки.

Вакуумные насосы должны обеспечить вакуум внутри установки во время работы и также удаление продуктов реакции. Хороший вакуум не обязателен. Можно применять масляные насосы.

5. Пуск установки осуществляется массовым введением в нее ядер лития и водорода с энергией в пределах от 100 до 500 тысяч электрон-вольт.

Для пуска необходима посторонняя высоковольтная установка достаточной мощности (трансформатор с газовыми выпрямителями).

Перед пуском из установки удаляется воздух, к сетке и корпусу прикладывается соответствующее постоянное напряжение (плюсом к корпусу). В пространство между сеткой и корпусом вводится водород с распыленным в нем литием, которые расщепляются на ионы под действием высоковольтного поля. Электроны поглощаются положительно заряженным корпусом, ионы же устремляются к сетке и, пролетая ее, попадают внутрь полости.

6. Для поддержания постоянства состава реагирующих веществ нужно периодически вводить внутрь установки новые вещества. Эти вещества также должны быть введены в виде ионов. Для расщепления на ионы используются небольшим, но достаточным для расщепления напряжением (порядка сотен или тысяч вольт). Положительный электрод должен быть соединен с сеткой.

С количественной стороны реагирующие вещества вводятся из расчета 10–15 г лития-6 в час на 1 миллион кВт мощности. Дейтерия вводится в 50–100 раз больше (часть ядер дейтерия выбрасывается раньше, чем они успеют прореагировать).

7. Для очистки от продуктов реакции в установке предусмотрена еще одна сетка, которая находится на небольшом расстоянии от корпуса. Ядра, преодолевающие замедляющее поле, проскакивают через эту сетку и попадают в зону нулевого потенциала. Двигаясь по инерции дальше, они достигают корпуса, отдают ему свой заряд и превращаются в нейтральные атомы, которые затем удаляются вакуумными насосами. Целесообразно в трубы вакуумных насосов вводить изолированные от корпуса электроды, на которые подавать небольшое отрицательное напряжение (по отношению к корпусу). Такая система очистки хотя и связана с некоторой потерей полезной мощности, но обеспечивает лучшую очистку от продуктов реакции.

8. Максимальная мощность определяется:

а) размерами установки;

б) плотностью ядерного потока;

в) коэффициентом потерь сетки;

г) применением того или иного реагирующего вещества.

Изменение мощности может быть достигнуто изменением процентного состава реагирующих веществ. Так как такое изменение требует определенного промежутка времени, то изменение мощности не может производиться моментально, поэтому нагрузка должна быть постоянной в течение всего времени работы установки. При перегрузке

напряжение установки садится и она выходит из нормального режима работы. При недогрузке напряжение чрезмерно возрастает и возникает опасность пробоя изоляторов. Регулирование нагрузки осуществляется автоматически включением и выключением дополнительного сопротивления. Желательно, чтобы это сопротивление было также полезным (зарядка аккумуляторов, разложение воды и т.д.).

9. Защитные приспособления осуществляют включение и выключение дополнительных сопротивлений нагрузки. Сигнал для их работы — изменения напряжения установки.

10. В этой области уже велись работы советскими учеными-энергетиками. Как я могу заключить по журнальным статьям, работы успешны. Материалами работы не располагаю.

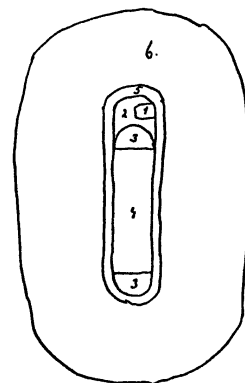
#### IV. Литиево-водородная бомба (конструкция)

Сущность устройства литиево-водородной бомбы уже описана в I части.

Ее конструкция довольно проста. Она состоит из детонатора (обычная атомная бомба), окруженного слоем дейтрида лития-6, т.е. соединением изотопов  $\text{Li}_3^6$  и  $\text{H}_1^2$ . Количество этого "взрывчатого вещества" определяется желательной силой взрыва.

Производство этой бомбы связано с значительными затратами средств (на отделение изотопов). Оба изотопа могут быть выделены из природных соединений путем длительного электролиза. ( $\text{H}_1^2$  содержится в природном водороде 0,014 %,  $\text{Li}_3^6$  содержится в природном литии 7,93 %).

1. Запал с часовым механизмом
2. Пороховый заряд
3. Полушария из плутония
4. Безвоздушное пространство
5. Слой лития-6
6. Дейтерид лития-6



1. Запал с часовым механизмом. 2. Пороховый заряд. 3. Полушария из плутония. 4. Безвоздушное пространство. 5. Слой лития-6. 6. Дейтерид лития-6.

Для окончательной разработки опытных установок предлагается создать научный коллектив в следующем составе: 2–3 специалиста в области ядерной и молекулярной физики; 1–2 специалиста в области электрорадиотехники; 1–2 специалиста по термодинамике; несколько инженеров-строителей (металлические и железобетонные конструкции); несколько инженеров-энергетиков (в частности, специалисты по высоковольтным линиям передач постоянного тока); прочий технический персонал.

Выделить в распоряжение коллектива:

— исследовательский институт;

— циклотрон на 1–2 MeV;

— установку для получения высоких напряжений от 100 до 500 kV;

— предприятие и оборудование для отделения изотопов  $\text{Li}_3^6$  и  $\text{H}_1^2$  (электролитическим путем).

Лаврентьев

**Отзыв А.Д. Сахарова на работу О.А. Лаврентьева**

Сов. секретно  
(Особая папка)

В рассматриваемой работе намечены две идеи:

- 1) Использование ядерных реакций  
 $Li^7 + H^1 \rightarrow 2He^4$  и  $Li^6 + H^2 \rightarrow 2He^4$  (1)

в условиях теплового взрыва (под действием взрыва атомной бомбы) и в условиях управляемого медленного теплового горения.

2) Осуществление управляемой ядерной реакции в большом вакуумном сосуде, причем предполагается возможность отбирать энергию при помощи электростатического поля. Это же поле предназначено для того, чтобы удерживать ядра в зоне реакции.

По п.1) необходимо отметить, что реакции (1) не являются наиболее подходящими в условиях теплового взрыва, т.к. их эффективное сечение при тех температурах, которые осуществляются в условиях атомного взрыва, слишком малы.

По п.2) я считаю, что автор ставит весьма важную и не являющуюся безнадежной проблему. Речь идет о термоядерной реакции в газе высокой температуры (миллиарды градусов) и такой низкой плотности, что существующие материалы могут выдержать получающееся давление.

В такой системе газ должен поддерживаться сравнительно длительное время, не попадая на стенки. Это обстоятельство представляет наибольшие трудности для изобретательства в данном направлении. Автор предлагает отделить газ от стенки

сеткой, с помощью которой создать тормозящее поле, не дающее ядрам долетать до стенки. Предполагается, что электроны, ускоряясь в приложенном поле, уходят из сосуда, оставляя в центре сосуда одни ядра и, тем самым, объемный положительный заряд. Наиболее быстрые ядра, уходящие из сосуда во время ядерной реакции, совершают работу против поля, благодаря чему система может работать как генератор постоянного тока высокого напряжения. Высокая температура в центре сосуда поддерживается за счет энергии термоядерной реакции.

Отмечу ряд трудностей.

1) Применяемая плотность газа лимитируется возникновением объемных зарядов и электростатических сил, действующих на сетку.

2) Благодаря низкой плотности газа пробег ядер по отношению к ядерной реакции очень велик, в десятки и сотни раз превосходя размеры сосуда. Поэтому требуется очень хорошо отражающая сетка, с большими зазорами и тонкой токнесущей частью, которая должна отражать обратно в реактор почти все падающие на нее ядра. По всей вероятности это требование не может быть совмещено с требованиями прочности (механической и по отношению к электронной эмиссии).

Однако не исключены какие-либо изменения проекта, которые исправят эту трудность.

Я считаю необходимым детальное обсуждение проекта тов. Лаврентьева. Независимо от результатов обсуждения необходимо уже сейчас отметить творческую инициативу автора.

Сов. секретно  
Особая папка  
-85-

Отзыв о работе тов. Лаврентьева О.А.

В рассматриваемой работе намечены две идеи:

- 1) Использование ядерных реакций  
 $Li^7 + H^1 \rightarrow 2He^4$  и  $Li^6 + H^2 \rightarrow 2He^4$  (1)

в условиях теплового взрыва (под действием взрыва атомной бомбы) и в условиях управляемого медленного теплового горения.

2) Осуществление управляемой ядерной реакции в большом вакуумном сосуде, причем предполагается возможность отбирать энергию при помощи электростатического поля. Это же поле предназначено для того, чтобы удерживать ядра в реакторной зоне реакции.

По п.1) необходимо отметить, что реакции (1) не являются наиболее подходящими в условиях теплового взрыва, т.к. их эффективное сечение при тех температурах, которые осуществляются в условиях атомного взрыва, слишком малы.

По п.2) я считаю, что автор ставит весьма важную и не являющуюся безнадежной проблему. Речь идет о термоядерной реакции в газе высокой температуры (миллиарды градусов) и такой низкой плотности, что существующие материалы могут выдержать получающееся давление.

-2-

В такой системе газ должен поддерживаться сравнительно длительное время, не попадая на стенки. Это обстоятельство представляет наибольшие трудности для изобретательства в данном направлении. Автор предлагает отделить газ от стенки сеткой, с помощью которой создать ~~тормозящее~~ тормозящее поле, не дающее ядрам долетать до стенки. Предполагается, что электроны, ускоряясь в приложенном поле, уходят из сосуда, оставляя в центре сосуда ~~объемный~~ <sup>один заряд и тем самым</sup> положительный заряд. Наиболее быстрые ядра, уходящие из сосуда во время ядерной реакции, совершают работу против поля, благодаря чему система может работать как генератор постоянного тока высокого напряжения. Высокая температура в центре сосуда поддерживается за счет энергии термоядерной реакции.

Отмечу ряд трудностей.

1) Применяемая плотность газа лимитируется возникновением объемных зарядов и электростатических сил, действующих на сетку.

2) Благодаря низкой плотности газа пробег ядер по отношению к ядерной реакции очень велик, в десятки и сотни раз превосходя размеры сосуда. Поэтому требуется очень хорошо отражающая сетка, с большими зазорами и тонкой токнесущей частью, которая должна отражать обратно в реактор почти все падающие на нее ядра. По всей вероятности это требование не может быть совмещено с требованиями прочности (механической и по отношению к электронной эмиссии). Однако не исключены какие-либо изменения проекта, которые исправят эту трудность.

Я считаю необходимым детальное обсуждение проекта тов. Лаврентьева. Независимо от результатов обсуждения необходимо уже сейчас отметить творческую инициативу автора.