

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 управление¹ (ит. Ванникова², Завенягина³, 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.

¹ 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].

² Б.Л. Ванников — начальник Первого главного управления.

³ А.П. Завенягин — в это время первый заместитель начальника Первого главного управления.

объект Ю.Б. Харитона⁴ в июне 1949 г. *"Ночью в душином 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. Берии⁵ 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 состояние 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"⁶). 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.

⁴ 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.

⁵ 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.

⁶ 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 Лаврентьева⁷. 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].

⁷ 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 МГУ⁸ Лаврентьева, записки и предложения которого по заявлению т. Сахарова явились толчком для разработки магнитного реактора (записки эти были в Главке у гг. Павлова и Александрова⁹).

Я принимал т. Лаврентьева. Судя по всему, он человек весьма способный. Вызовите т. Лаврентьева, выслушайте его и сделайте совместно с т. Кафтановым С.В.¹⁰ 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 иницирующей 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*

⁸ 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.

⁹ А.С. Александров — заместитель начальника Первого главного управления.

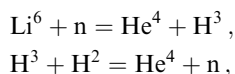
¹⁰ С.В. Кафтанов — Министр высшего образования СССР.

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."

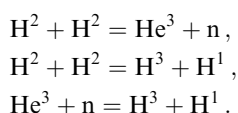
Как писал О.А. Лаврентьев, конструкция литиево-водородной бомбы "довольно проста. Она состоит из детонатора (обычная атомная бомба), окруженного слоем дейтерида лития-6, т.е. соединением изотопов Li⁶ и H². Количество этого "взрывчатого вещества" определяется желательной силой взрыва." О.А. Лаврентьев 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 Li⁶ и H². Это потребует значительно большей затраты средств и времени, но гарантирует успех, так как, во-первых, ядерная реакция между ядрами Li⁶ и H² имеет примерно в 30 раз больший выход (из английских источников), во-вторых, она более энергоемка, в-третьих, будет иметь место реакция между ядрами Li⁶ и нейтронами (правда, эта реакция дает примерно в четыре раза меньше энергии, чем Li⁶ + H² = 2He⁴)."

А.Д. Сахаров в своем отзыве назвал предложение О.А. Лаврентьева, касающееся литиево-водородной бомбы, предложением об использовании "ядерных реакций Li⁷ + H¹ = 2He⁴ и Li⁶ + H² = 2He⁴ 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 Li⁶ + H² = 2He⁴ и Li⁷ + H¹ = 2He⁴ 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).

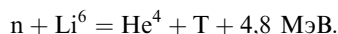
Отметим, что в соответствии с Постановлением СМ СССР № 827-303сс/оп от 26 февраля 1950 г., принятым в ответ на директиву Президента США Г. Трумэна о продолжении работ над водородной бомбой, в СССР в 1950 г. разворачивались работы по созданию отечественной водородной бомбы, приоритет в которых был отдан "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.

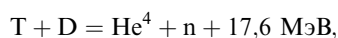
В этом препринте О.А. Лаврентьев писал:

"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 Li⁶, 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 ≈ 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 Li^6D , 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 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 Li^6D . 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 иницирующей 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 U^{235} во избежание преждевременной детонации должны сблизиться 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. Сербину¹¹. 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

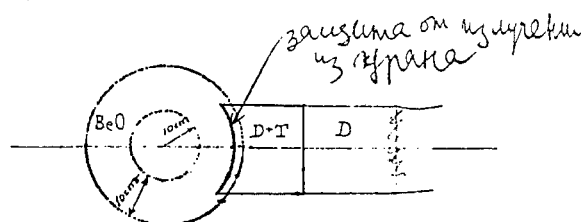
Картина событий, предшествовавших выдвижению А.Д. Сахаровым идеи магнитной термоизоляции плазмы, была бы неполной, если не отметить следующий, ставший известным только в последние годы, факт.

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, содержащий 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"¹² (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 D¹³.



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-

¹¹ 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.

¹² Условное обозначение урана-235.

¹³ 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