

Сахаров в КБ-11. Путь гения

Р.И. Илькаев

21 мая 2011 г. исполнилось 90 лет со дня рождения Андрея Дмитриевича Сахарова — выдающегося учёного и гуманиста XX в. Его идеи, разработки и жизненный пример оказали огромное влияние на историю второй половины XX в., и прежде всего на историю нашей страны. Творческий подход, свобода духа, свобода мысли и свобода действий характерны как для научной деятельности А.Д. Сахарова, так и для его индивидуальности в целом, включая его общественную деятельность и исключительное отношение к ценностям личности человека. Без сомнения, его творческое наследие будет одной из важных основ для развития науки и общества в XXI в., а сам он будет для многих эталоном учёного и гражданина. В статье приводится ряд примеров его выдающихся идей и научно-технических достижений во время работы в КБ-11, а также отмечается, как они влияют на научные исследования и технологические разработки настоящего времени, в том числе проводимые в интересах обеспечения национальной безопасности.

PACS numbers: 01.60.+q, 01.65.+g, 28.70.+y

DOI: 10.3367/UFNr.0182.201202i.0195

Содержание

1. Работа над "сложкой" (195).
 2. Создание "сложки" РДС-6с (196).
 3. Атомное обжатие (198).
 4. Создание сверхбомбы и разработка новых видов термоядерного оружия (199).
 5. Фундаментальные физические идеи А.Д. Сахарова, выдвинутые во время работы КБ-11 (199).
 6. Инициативы в области ограничений ядерных испытаний и ядерных вооружений (200).
- Список литературы (201).

1. Работа над "сложкой"

Осенью 1948 года А.Д. Сахаров сформулировал новый принцип осуществления импульсной термоядерной реакции, который стал важнейшим вкладом в разработку термоядерного оружия нашей страны. Вот как он об этом писал впоследствии: «По истечении двух месяцев я сделал крутой поворот в работе: а именно, я предложил альтернативный проект термоядерного заряда, совершенно отличный... по происходящим при взрыве физическим процессам и даже по основному источнику энерговыделения. Я называю ниже это предложение "первой идеей"» [1, с. 9].

Р.И. Илькаев. Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, 607190 Саров, Нижегородская обл., Российская Федерация
E-mail: ilkaev@vniief.ru

Статья поступила 15 сентября 2011 г.

Физические принципы своего предложения А.Д. Сахаров охарактеризовал следующим образом [2]:

«1) В "сложке" осуществляется локальное температурное равновесие вещества и излучения. Вопросы о существовании такого детонационного режима не встаёт (он, несомненно, существует)... Ширина зоны детонационной волны не очень велика.

2) В результате тепловых реакций в D возникают быстрые нейтроны, способные вызывать деление ядер ^{238}U , что значительно повышает калорийность.

3) Малая прозрачность урана по отношению к фотонам обеспечивает умеренную ширину зоны ударной волны, идущей впереди зоны горения.

4) ...Температура в соседних фазах выравнивается теплопроводностью излучения, поэтому из равенства давлений в соседних фазах следует равенство числа частиц в единицах объёма U и D; ионизованный уран "разбухает", сжимая D своим электронным давлением...».

Радикальное решение А.Д. Сахарова состояло, прежде всего, в переходе к зажиганию и горению обжатого термоядерного горючего, сначала ударной волной детонационного режима, а затем процессом, получившим название "сахаризации", условия для которых создавала гетерогенная структура системы из термоядерного материала и урана.

Первоначально А.Д. Сахаров предполагал создание сферической необжатой слойки большого размера, в центре которой размещалась бы инициирующая атомная бомба. После посещения в июне 1949 г. КБ-11 (Конструкторское бюро № 11)¹ и знакомства с разработ-

¹ Позднее — Всесоюзный научно-исследовательский институт экспериментальной физики, с 1992 г. — Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (РФЯЦ – ВНИИЭФ).

кой "изделия" РДС-1, обсуждений с Ю.Б. Харитоном, Я.Б. Зельдовичем и Е.И. Забабахиним он предложил более эффективную схему слоики на принципе имплозии. В центре "слоики" располагался атомный детонатор, вокруг которого размещались слои термоядерного горючего и урана. Вся система обжималась взрывчатим веществом (ВВ), размещённым снаружи многослойной системы, а инициирование слоики обеспечивалось имплозией и взрывом атомного детонатора.

Это было исключительно плодотворное и прагматичное объединение фундаментальных физических идей слоики и имплозии.

Принципиальные особенности слоики позволяют широко варьировать особенности её конструкции и входящие в её состав материалы. Первое такое предложение было сделано практически сразу же после формулировки А.Д. Сахаровым основных идей. Вот как он писал об этом: «Вскоре моё предложение существенно дополнил В.Л. Гинзбург, выдвинув "вторую идею"» [1, с. 9]. 3 марта 1949 г. в отчёте «Использование ${}^6\text{LiD}$ в "слоике"» В.Л. Гинзбург отметил: «Указывается на преимущества, связанные с использованием в "слоике" в качестве дейтеросодержащего вещества ${}^6\text{LiD}$. При этом в результате реакции ${}^6_3\text{Li} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^3_1\text{H}$ возникает тритий ${}^3_1\text{H} \equiv \text{T}$, который в результате реакций $\text{D} + \text{T} \rightarrow {}^4_2\text{He} + \text{n}$ и $\text{T} + \text{T} \rightarrow {}^4_2\text{He} + 2\text{n}$ даёт нейтроны, делящие уран» [3].

Эти принципы явились основополагающими для всего термоядерного оружия, а их практическая реализация определялась сначала их совмещением с принципом газодинамической имплозии (РДС-6с), а затем с принципом атомного обжата (РДС-37), осуществлённым А.Д. Сахаровым и коллективом сотрудников под его руководством. Всё это определило базовые особенности и свойства термоядерных модулей нескольких поколений боевого оснащения нашего ядерного арсенала на протяжении десятилетий, вплоть до настоящего времени.

Работы по слоике А.Д. Сахаров проводил в составе теоретической группы И.Е. Тамма, созданной для работ по термоядерной проблеме в Физическом институте им. П.Н. Лебедева Академии наук СССР (ФИАН) летом 1948 г. и позднее, в начале 1950 г., переведённой в КБ-11. Отношение А.Д. Сахарова к И.Е. Тамму характеризуют замечательные слова: "Я хочу выразить свою благодарность И.Е. Тамму, который никогда не жалел ни времени, ни сил для того, чтобы поставить меня на правильный научный путь" [4].

"... Для всех нас было большим счастьем, что Игорь Евгеньевич оказался рядом с нами... За доской в служебном кабинете мы получали урок методике теоретической работы. На совещании у начальства мы получали урок деловой, человеческой и научной принципиальности. И в любой обстановке — урок добросовестности, трудолюбия и вдумчивости" [5].

Этот стиль научной работы был глубоко усвоен А.Д. Сахаровым и передан им в дальнейшем своим более молодым коллегам в нашем институте. Он явился важной основой для эффективного научного поиска и практической реализации идей по созданию многих образцов ядерного и термоядерного оружия.

Перед А.Д. Сахаровым и его соратниками стояли задачи исключительной сложности. Отмечу только некоторые из них. В начальный период работы ни А.Д. Сахаров, ни И.Е. Тамм, ни В.Л. Гинзбург не знали об уни-

кальном качестве трития как термоядерного горючего, связанном с тем, что скорость тритий-дейтериевой (ТД) реакции на два порядка превосходит скорость дейтерий-дейтериевой (ДД) реакции. Эти данные были засекречены и недоступны для них вплоть до мая 1949 г. Отсутствовали необходимые данные о нейтронно-ядерных процессах для ТД-нейтронов и процесса конверсии нейтронов в тритий на изотопе литий-6. Было понятно, что в условиях слоистой системы будут развиваться гидродинамические неустойчивости, масштаб которых представлялся весьма неопределённым. Отсутствовали данные о газодинамической имплозии слоистых систем. Определение процессов горения ядерного и термоядерного материала в слоике и её энерговыделения требовало сложных математических расчётов, аналогов которых не существовало. Требовалось определить, каким образом нужно провести ядерные испытания, чтобы можно было сделать исчерпывающее заключение о качестве реализации термоядерного горения.

К лету 1953 г. все эти вопросы были решены. Ответы на многие из них были получены в рамках фундаментальной физики, а их значение состоит в том, что они заложили целый ряд основ для развития термоядерного оружия нашей страны.

2. Создание "слоики" РДС-6с

15 июля 1953 г. (до испытания оставалось меньше одного месяца) было выпущено расчётно-теоретическое обоснование работы модели изделия РДС-6с, подписанное И.Е. Таммом, А.Д. Сахаровым и Я.Б. Зельдовичем.

Отчёт назван "Модель изделия РДС-6с", хотя испытываемая модель "ничем не отличается от боевого изделия", "кроме большей в 2–3 раза массы активных материалов в боевом изделии". Ниже мы следуем оригинальному тексту А.Д. Сахарова [6].

Отчёт содержал четыре основных части:

I. Принципы действия и основные показатели изделия РДС-6с.

II. Исследования процессов, происходящих при действии изделия РДС-6с.

III. Анализ надёжности изделия РДС-6с.

IV. Задачи и методы испытания РДС-6с.

В части I рассматриваются основные принципы физической схемы РДС-6с, термоядерные реакции, вопросы регенерации трития на изотопе Li-6 и деления ядер урана термоядерными нейтронами.

Процесс работы изделия делился на ряд стадий. Первая стадия представляет собой имплозию изделия сферически-симметричным сходящимся взрывом ВВ и заканчивается срабатыванием нейтронного инициатора, подобного инициатору в первой атомной бомбе РДС-1.

Вторая стадия начинается с возникновения цепной реакции в делящемся веществе и представляет собой ядерный взрыв, предназначенный для возбуждения термоядерной реакции.

Третья стадия начинается с повышения температуры во внутреннем термоядерном горючем и достижения уровня, достаточного для термоядерного горения. В результате этого процесса начинается горение ядер урана и зажигание следующего слоя термоядерного горючего. На этой стадии важное значение имеет процесс "сахаризации".

В этой части отчёта приведено ожидаемое значение энерговыделения и его "раскладка" по основным энерговыделяющим слоям. В основе определения этих основополагающих значений лежал "точный" математический расчёт, проведённый группой Л.Д. Ландау.

Во второй части расчётно-теоретического обоснования отмечалось: "К моменту начала работы над РДС-6с отсутствовали количественные данные об основных процессах, определяющих протекание ядерного взрыва водородного изделия, ввиду чего не было возможности рассчитать мощность изделия и необходимое для его изготовления количество трития.

Для получения этих данных потребовалось выполнить очень обширный круг экспериментальных и теоретических исследований и существенно повысить точность ядерных измерений и математических расчётов".

Авторы отчёта отмечают, что для расчётов водородного изделия было необходимо, прежде всего, знать элементарные сечения различных реакций. "Наиболее обширные и полные исследования скорости реакции $D + T$ были проведены в Физическом институте АН СССР (лаборатория Франка И.М.)... Полученные результаты существенно уточняют и исправляют данные, опубликованные в иностранной литературе. Достигнутая точность является выдающейся для столь сложных исследований. В результате этих работ с полной достоверностью установлен фундаментальный для РДС-6с факт исключительно высокого значения скорости термоядерной реакции $D + T$ " [6].

Относительно параметров деления ядер урана термоядерными нейтронами авторы пишут: "В литературе не имеется опубликованных данных ни о величине сечения деления, ни о числе образующихся при делении вторичных нейтронов при облучении урана-238 нейтронами энергии 14 МэВ. Эти величины неоднократно и тщательно измерялись в Физическом институте АН и Институте химической физики, в Лаборатории измерительных приборов, в Гидротехнической лаборатории, в КБ-11 и найдены существенно большими, чем для нейтронов, образующихся в цепной реакции" [6].

Относительно параметров регенерации трития в отчёте говорится: "В литературе имелись лишь неточные и противоречивые данные о взаимодействии нейтронов с литием-6. Сечение реакции образования трития и рассеяния нейтронов изучалось в украинском Физико-техническом институте и Институте физических проблем. Было установлено наличие максимума сечения при энергии нейтронов около 250 кэВ, а также произведены количественные уточнения литературных данных" [6].

Важную категорию экспериментальных ядерных исследований составляли физические измерения на моделях РДС-6с. В этих экспериментах определялись числа актов деления урана-238 TD -нейтронами и их "потомками". "Модели были осуществлены в большом числе вариантов и состояли из слоёв урана и лёгкого вещества... Большая часть этих сложных и крайне трудоёмких опытов была выполнена в 1951 – 1953 гг. в КБ-11, а также в Гидротехнической лаборатории и Физическом институте АН СССР. На основании теоретической обработки этих измерений выработан метод расчёта числа актов деления в процессе взрыва" [6].

Отдельная группа модельных экспериментов была направлена на изучение параметров захвата нейтронов $Li-6$. Эксперименты в этом направлении проводились в

КБ-11 с использованием аппаратуры, разработанной в Институте физических проблем АН. Ряд экспериментов проводился также в Гидротехнической лаборатории.

Важнейшее значение для успеха разработки имело эффективное и симметричное осуществление процесса имплозии. В отчёте [6] отмечается: "Сжатие в РДС-6с протекает несколько иначе, чем в испытывавшихся ранее изделиях. Эти особенности процесса сжатия происходят вследствие наличия чередующихся лёгких и тяжёлых слоёв".

Результаты расчётов имплозии проверялись экспериментально несколькими методами. "Всего в ходе разработки конструкции было проведено более 300 опытов на моделях и около 40 опытов с зарядами натуральной величины, но представлявшими собой лишь часть шара... для удобства наблюдения и размещения измерительной аппаратуры" [6].

Относительно влияния перемешивания авторы пишут: "Перемешивание идёт в два этапа. В стадии обжата поверхности раздела слоёв становятся неровными, шероховатыми. В стадии ядерного взрыва все вещества обращаются в газ; имеющиеся неровности поверхностей раздела быстро возрастают и дают начало хаотическому, турбулентному перемешиванию.

Теория турбулентного перемешивания построена в Физическом институте АН СССР (Бельским С.З.) с использованием экспериментальных данных КБ-11 и ЛИПАН². Созданная в КБ-11 комиссия рассмотрела вопрос о возможной роли эффектов перемешивания и оценила, что они могут снизить энергетический эффект взрыва не более чем на 20–25%... Особое значение приобретает прямое и косвенное изучение роли эффекта перемешивания непосредственно при ядерном взрыве на полигоне № 2" [6].

Косвенный ответ на влияние перемешивания дали результаты испытания РДС-6с.

Исключительное значение для понимания процессов, происходящих в РДС-6с, и определения параметров изделия имели математические расчёты.

«Наличие в системе слоистой структуры не позволяет обходиться усреднёнными величинами и требует точного знания в каждом из слоёв температуры, плотности вещества, плотности нейтронов и т.д.

В группах Тихонова А.Н. и Ландау Л.Д. по заданию КБ-11 были разработаны методы "детального" расчёта процессов взрыва...

Разработка математических методов детального расчёта, выполненная по заданиям КБ-11, потребовала серьёзной исследовательской и большой вычислительной работы. В ходе поисков оптимального варианта РДС-6с и методических изысканий было проведено 12 детальных расчётов водородных изделий (7 расчётов — в бюро Тихонова А.Н., 3 расчёта — в бюро Ландау Л.Д., 2 расчёта — в бюро Семендяева К.А. – Гельфанда И.М.). Количество произведённых при этом арифметических операций исчисляется многими десятками миллионов.

Отметим некоторые принципиальные моменты. Был выработан такой метод расчёта, в котором неизбежные в столь громоздких вычислениях малые ошибки не нака-

² Лаборатория измерительных приборов АН СССР, сегодня — Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт" (Примеч. ред.)

пливаются и не приводят к существенной погрешности в конечном результате. Решение этой проблемы открывает, в частности, возможность применения электронных вычислительных машин взамен медленного и трудоёмкого ручного счёта» [6].

Главной задачей испытания РДС-6с являлось осуществление ядерного взрыва с использованием термоядерной реакции. К основным задачам измерений, кроме определения полного энерговыделения, относилось получение данных о скорости и условиях протекания термоядерной реакции. Предполагалось, что «эти сведения дадут возможность уверенного проектирования изделий типа РДС-6с любой мощности и габаритов» [6].

Полигонные измерения включали в себя:

- определение полного энерговыделения взрыва;
- радиохимические измерения состава веществ, образовавшихся при взрыве РДС-6с, в том числе измерения активации специальных детекторов, размещённых в изделии;
- временные характеристики процесса взрыва;
- исследования воздействия ударной волны и параметров гамма-излучения и нейтронного излучения.

Испытание РДС-6с 12 августа 1953 г. полностью подтвердило физические и конструкторские принципы водородной бомбы, а также методы её расчета. Измеренный различными методами полный тротиловый эквивалент составил 400 кг, что в пределах точности измерений совпало с расчётной мощностью. Был создан первый термоядерный модуль, значение которого трудно переоценить в свете дальнейшей разработки термоядерного оружия.

Выдающиеся успехи специалистов в период 1948–1953 гг. по созданию и испытанию усовершенствованных атомных бомб и первой термоядерной бомбы имели важное научно-техническое и политическое значение и были высоко оценены Правительством СССР.

Основные разработчики были отмечены Сталинской премией различных степеней и высшими наградами страны. Особо был выделен вклад А.Д. Сахарова. Ему была присуждена Сталинская премия I степени (с денежным вознаграждением, эквивалентным десятилетней зарплате), он был отмечен званием Героя Социалистического Труда СССР и избран действительным членом АН СССР, минуя ступень член-корреспондента АН.

3. Атомное обжатие

Успешное испытание слойки решало поставленную практическую задачу. Однако два вопроса оставались нерешёнными:

- исключение из состава термоядерного заряда мощностью ~ 1 Мт больших количеств трития;
- создание многомегатонных термоядерных зарядов в существовавших габаритно-массовых ограничениях, определявшихся носителями.

Первоначально А.Д. Сахаров и его коллеги предприняли ряд усилий, чтобы решить эти задачи в рамках оптимизации слойки в условиях газодинамической имплозии. Однако вскоре стало ясно, что необходимо достижение существенно более высоких уровней сжатия термоядерного материала, чем те, которые можно было получить обжатием обычными ВВ.

«Уже в первые месяцы нового 1954 года нам, теоретикам объекта, стало ясно, что мои предложения... не

обещают ничего хорошего... Между тем у нас возникла новая идея принципиального характера, названная условно "третья идея". В некоторой форме, скорее в качестве пожелания, "третья идея" обсуждалась и раньше, но в 1954 году пожелания превратились в реальную возможность» [1, с. 10, 11].

Речь идёт о замене гидродинамической имплозии слойки атомным обжатием. Первоначально, в январе 1954 г., А.Д. Сахаров и Я.Б. Зельдович рассмотрели принципиальную возможность обжатия слойки газодинамическими продуктами ядерного взрыва.

При этом за основу физической схемы вторичного модуля было решено взять аналог внутренней части заряда РДС-6с, т.е. "слоёную" систему сферической конфигурации. Следует отметить, что это была исключительно сложная система с точки зрения реальных вычислительных возможностей того времени. Основная проблема состояла в том, каким образом в подобном заряде можно было бы обеспечить близкое к сферически симметричному режиму сжатие вторичного модуля.

После этого атомное обжатие получило свою каноническую форму, в которой в качестве переносчика энергии от первичного заряда к термоядерному модулю стало рассматриваться рентгеновское излучение. Для формирования направленности переноса энергии по предложению А.Д. Сахарова первичный и вторичный модули были заключены в единую оболочку, обладающую хорошим качеством для отражения рентгеновского излучения, а внутри заряда были обеспечены меры, благоприятствующие переносу рентгеновского излучения в нужном направлении.

Вот как А.Д. Сахаров описывал формирование идеи атомного обжатия:

«По-видимому, к "третьей идее" одновременно пришли несколько сотрудников наших теоретических отделов. Одним из них был я. Мне кажется, что я уже на ранней стадии понимал основные физические и математические аспекты "третьей идеи". В силу этого, а также благодаря моему ранее приобретённому авторитету, моя роль в принятии и осуществлении "третьей идеи", возможно, была одной из решающих. Но также, несомненно, очень велика была роль Зельдовича, Трутнева и некоторых других, и, может быть, они понимали и предугадывали перспективы и трудности "третьей идеи" не меньше, чем я» [1, с. 10, 11].

Третья идея появилась как фундаментальный научный ответ на практическую потребность создания качественно нового, универсального термоядерного оружия. Она позволила решить как задачу исключения больших количеств трития из термоядерных зарядов, так и задачу создания термоядерных зарядов многомегатонного класса.

"Ю.Б. Харитон, доверяя теоретикам и уверовав сам в новое направление, принял на себя большую ответственность, санкционировав переориентацию работ объекта... В курсе событий был также Курчатов... Формально, то, что мы делали, было вопиющим самоуправством... На объект приехал Малышев³... Речь его была длинной и совершенно безрезультатной. Мы все остались при своём мнении... На нашу сторону решительно встал Курчатов" [1, с. 10, 11].

³ В.А. Малышев, министр среднего машиностроения СССР в то время. (Примеч. ред.)

Путь практической реализации атомного обжигания был открыт, и работа завершилась блестящим подтверждением этого принципа в испытании РДС-37 22 ноября 1955 г.

Вклад А.Д. Сахарова в разработку принципа атомного обжигания и изделия РДС-37 был высоко оценён. Ему было присвоено (вторично) звание Героя Социалистического Труда, и он стал вместе с Я.Б. Зельдовичем, Ю.Б. Харитоном и И.В. Курчатовым одним из первых лауреатов только что учреждённой Ленинской премии, которая была ему присуждена "за разработку физических принципов и теоретических расчётов изделия РДС-37" [7].

Принцип атомного обжигания стал основой для разработки конкретных образцов боевого оснащения стратегических ядерных сил и многих комплексов нестратегического оружия, а РДС-37 по праву считается прототипом отечественного термоядерного оружия, обеспечившего ядерный паритет и гарантии ядерного сдерживания.

4. Создание сверхбомбы и разработка новых видов термоядерного оружия

Несколько слов об истории создания сверхбомбы.

Термоядерный проект возник с самого начала как проект сверхбомбы, т.е. бомбы, обладающей мегатонным энерговыделением. Таким был исходный проект, основанный на детонации жидкого дейтерия — Super в США, "Труба" в СССР. Таким был и исходный вариант "большой слойки", не использовавший имплозию.

В 1954 г. Эдвард Теллер высказал идею о возможности разработки термоядерного заряда с энерговыделением 10000 Мт. В 1956 г. Пентагон вырабатывал требования к боеголовкам с мощностью 100 Мт, а Лос-Аламосская лаборатория обосновала возможность термоядерного заряда с энерговыделением в 1000 Мт.

После создания РДС-37 к задаче сверхбомбы вернулись на совершенно ином уровне. В начале 1956 г. появилось предложение А.Д. Сахарова, Я.Б. Зельдовича и В.А. Давиденко о разработке серии сверхмощных водородных бомб на основе принципа атомного обжигания с энерговыделением вплоть до 1 млрд тонн тротилового эквивалента (ТЭ). Это было актуальное предложение в связи с гигантским возрастанием мегатоннажа термоядерного арсенала США, который достиг в 1956 г. значения ~ 9 млрд тонн ТЭ.

Первоначально разработка сверхбомбы проводилась в НИИ-1011 (Научно-исследовательский институт № 1011)⁴ с уровнем энерговыделения ~ 30 Мт (проект "202"). Однако этот проект был отменён.

После окончания моратория в 1961 г. к задаче создания сверхбомбы вернулись в КБ-11. Речь уже шла о термоядерном заряде с энерговыделением 100 Мт ("проект 602"). Оригинальные решения и накопленный опыт позволили исключительно быстро реализовать эту разработку, и заряд был успешно испытан 30 октября 1961 г. С 1961 г. рост мегатоннажа ядерного арсенала США прекратился.

Полномасштабное испытание заряда мощностью 100 Мт привело бы к значительному выходу радиоактивности, определяемой продуктами деления урана-238. Опасность усугублялась тем, что по условиям сброса

авиабомбы высота взрыва была недостаточной для того, чтобы исключить касание огненным шаром взрыва поверхности земли, что существенно усилило бы радиоактивное загрязнение. А.Д. Сахаровым было предложено и практически реализовано проведение неполномасштабного испытания сверхбомбы. В термоядерном модуле уран-238 был заменён пассивными, неделяющимися и слабо активируемыми материалами. Уменьшение энерговыделения до 50 Мт позволило исключить касание огненным шаром поверхности земли. Таким образом, несмотря на огромное энерговыделение, это испытание было проведено относительно безопасным с точки зрения экологии способом.

В период 1961 – 1962 гг. под руководством А.Д. Сахарова были разработаны и успешно испытаны несколько десятков термоядерных зарядов различных типов, которые составили основу нашего ядерного арсенала вплоть до середины 1970-х годов. Существенно, что все эти заряды основывались на принципах слойки и атомного обжигания. Испытания таких зарядов предоставили уникальный экспериментальный материал об особенностях импульсного термоядерного горения, который активно используется и в настоящее время в рамках различных задач сопровождения ядерного боезапаса России.

Работа А.Д. Сахарова по созданию сверхбомбы и руководству разработкой термоядерных зарядов была отмечена присвоением ему (в третий раз) звания Героя Социалистического Труда.

В этот период А.Д. Сахаров руководил теоретическим подразделением, ответственным за разработку термоядерного оружия. Приведём высказывание И.Д. Софронова, выдающегося математика и организатора математических работ в РФЯЦ – ВНИИЭФ, о стиле работы А.Д. Сахарова как руководителя.

"В начале 1961 года меня пригласил Андрей Дмитриевич. Он объяснил, что в Правительстве прорабатывается вопрос о длительном моратории... Нам нужно успеть подготовиться к этому... Подготовка должна была состоять в том, чтобы за короткое время разработать большое количество новых конструкций и провести их испытания... Сахаров перечислил примерное количество расчётов различных типов и также желательный график их проведения" [8].

«До аврала А.Д. производил впечатление довольно флегматичного человека, который, как правило, сидел у себя в кабинете и был несколько "не от мира сего". В авральный период он изменился, стал волевым и энергичным руководителем, который был полностью в курсе дел. В его голосе появились нотки металла. По утрам он... собирал участников аврала, которые получали очень чёткие указания. Сахаров производил впечатление генерала, который руководит боем» [8].

5. Фундаментальные физические идеи А.Д. Сахарова, выдвинутые во время работы КБ-11

В 1950 году А.Д. Сахаровым была сформулирована важнейшая идея для проектов термоядерной энергетики "непрерывного действия" — идея магнитного удержания плазмы — и были определены общие черты магнитного термоядерного реактора (МТР) — прообраза токамаков и проекта современного Международного термоядерного экспериментального реактора (ITER).

⁴ Сейчас — Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики им. академика Е.И. Забабахина (РФЯЦ – ВНИИТФ). (Примеч. ред.)

Исследования А.Д. Сахарова в 1950 г. в области взрывной имплозии, с одной стороны, и в области использования магнитного поля для термоизоляции плазмы, с другой, без сомнения, повлияли на появление у него новой фундаментальной идеи. Это идея магнитной кумуляции (МК) — превращения энергии взрыва взрывчатых веществ в энергию магнитного поля. А.Д. Сахаров сформулировал и саму идею "сжатия пучка магнитных силовых линий движущимися металлическими стенками цилиндра" и предложил принципиальные схемы устройств по практической реализации этой идеи [1, с. 79]: для получения сверхсильных магнитных полей мегагауссного диапазона — устройство МК-1, для получения высокоинтенсивных мегаамперных токов — устройство МК-2, основанные на взрывном воздействии на "токонесущие контуры".

Эти предложения получили в дальнейшем интенсивное развитие в РФЯЦ – ВНИИЭФ. В настоящее время взрывомагнитные генераторы (ВМГ) используются в самых различных целях — от фундаментальных исследований физических свойств веществ в экстремальных условиях до изучения процессов формирования и воздействия электромагнитных импульсов. Это крупный раздел физики, в котором наш институт вплоть до настоящего времени занимает лидирующие позиции в мире, а работы с использованием технологий ВМГ являются прямым творческим наследием А.Д. Сахарова.

А.Д.Сахаров стоит у истоков лазерного термоядерного синтеза (ЛТС).

"В 1960 – 1961 гг. я ещё раз выступил с предложением, относящимся к управляемой термоядерной реакции. В это время поступило сообщение о создании Мейманом в США первого лазера на рубине. Я выступил на объекте с докладом, в котором обосновывал возможность использования лазера для возбуждения термоядерной реакции в маленьких шариках, содержащих термоядерное горючее и обжимающихся за счёт гидродинамических эффектов при импульсном нагреве лазерным лучом внешней поверхности шариков. В докладе были даны оценки необходимых параметров этих устройств. В дальнейшем оценки были уточнены в серии численных расчётов на ЭВМ, проведённых моими сотрудниками... В качестве возможных областей использования этого принципа я назвал энергетику..." [1, с. 36].

Эти идеи получили мощное развитие в РФЯЦ – ВНИИЭФ. У нас создан ряд мощных лазерных установок, на которых проводились и проводятся уникальные эксперименты на микромишенях различных видов, в том числе на микромишенях с термоядерным горючим.

В настоящее время перспективы развития исследований свойств вещества в экстремальных условиях связываются с использованием мощных лазерных установок мегаджоульного класса. Такие установки сооружаются в США и Франции, а также в Китае. Отсутствие такой установки в России сдерживает получение уникальных результатов фундаментальных исследований. В последний год принято принципиальное решение по созданию в РФЯЦ – ВНИИЭФ мегаджоульной лазерной установки.

6. Инициативы в области ограничений ядерных испытаний и ядерных вооружений

С именем А.Д. Сахарова связан ряд важнейших этапов в ограничении ядерных вооружений.

В 1958 году он инициировал широкое обсуждение долговременной радиологической опасности, связанной с воздействием, в том числе на генетическом уровне, радиоуглерода С-14, накапливающегося в биосфере в результате атмосферных ядерных испытаний. Это явилось важным вкладом в обоснование прекращения ядерных испытаний в атмосфере.

В период 1958 – 1961 гг. СССР, США и Великобритании удалось договориться о трёхстороннем моратории на проведение ядерных испытаний.

Важен вклад А.Д. Сахарова в заключение Московского договора 1963 года о запрещении ядерных испытаний в атмосфере, космическом пространстве и под водой. Позднее он писал: "Я считаю, что Московский договор имеет историческое значение. Он сохранил сотни тысяч, а возможно, миллионы человеческих жизней — тех, кто неизбежно погибли бы при продолжении испытаний... Но, быть может, ещё важнее, что это шаг к уменьшению опасности мировой термоядерной войны. Я горжусь своей сопричастностью к Московскому договору" [9].

А.Д. Сахаров явился одним из инициаторов ограничений создания противоракетной обороны (ПРО). В 1967 г. он писал:

«Позволю себе кратко остановиться на своём понимании существа проблемы...

...Защита от удара небольшого числа ракет агрессора и провокатора... по любому, заранее не известному объекту... технически возможна, однако нужно отдавать себе отчёт, что по масштабу работ решение даже этой "упрощённой" задачи потребует очень больших вложений интеллектуальных и материальных ресурсов, сравнимых по масштабу с созданием наступательной системы массированного удара. Это постройка огромной сети станций обнаружения ракет противника и наведения противоракет, вычислительных станций и линий связи, разработка методов сепарации ложных целей, создание высокоманевренных противоракет... для действий на ближних и дальних рубежах обороны» [10].

«Хотя система ПРО не является сама по себе средством нападения или агрессии, но она может служить для агрессора средством, обеспечивающим безнаказанность, может увеличить соблазн превентивной войны. Поэтому отказ СССР и США от ПРО явился бы яркой демонстрацией готовности к сосуществованию.

Отсутствие соглашения о моратории приведёт к гонке не только оборонительных, но и наступательных систем, которые будет необходимо усилить для гарантированного прорыва обороны. Такой исход невыгоден для нас и экономически, и политически, и стратегически... уменьшает возможность "общего политического урегулирования"» [10].

«...В наступательном оружии существует так называемый "эффект насыщения" — если вы можете уничтожить противника, то дальнейшее усиление мало что меняет. В области ПРО "эффекта насыщения" нет, и исход соревнования, напротив, определяется соотношением технико-экономических потенциалов... СССР и США, заключив соглашение о моратории, тем самым отказываются от политики взаимных угроз, от соблазна нанесения превентивного удара под прикрытием, создающего иллюзию безопасности противоракетного "щита"...

Такое соглашение очень ободрило бы силы мирного сосуществования, облегчило бы дальнейшие шаги в

области разоружения и ослабления напряжённости» [10].

Выводы, сделанные А.Д. Сахаровым, фактически стали интеллектуальной основой для позиции нашей страны в отношении ПРО на протяжении многих десятилетий вплоть до настоящего времени.

Эти выводы во многом справедливы и сегодня, когда США вышли из Договора по ПРО и проводят разработку национальной и региональных систем ПРО с использованием космических технологий.

Удивительно, как много из того, что сделал А.Д. Сахаров в своей научной деятельности, живёт и развивается сегодня. В работах, развивающих его идеи, участвуют десятки институтов и лабораторий в разных странах мира. Закончу этот небольшой обзор его словами, обращёнными в будущее:

«Как известно... в СССР и в США и в других странах ведутся широкие работы по осуществлению термоядерной реакции с помощью лазерного обжатия (а также с помощью... некоторых других, инерционных методов). Для целей большой энергетики всё же мне представляются наиболее перспективными системы, основанные на магнитной термоизоляции... При этом, я думаю, что первоначально это будут бридерные системы, в которых источником энергии в конечном счёте будет реакция деления. Что касается систем, не использующих уран и торий... то в них я предполагаю "третий бридинг"... Очень возможно, что основой энергетики XXI века и последующих веков будут установки управляемого термоядерного синтеза. Участие на ранних этапах в важных для будущего человечества исследованиях управляемой термоядерной реакции является для меня источником большого удовлетворения» [1, с. 36].

Список литературы

1. Сахаров А Д *Научные труды* (Редакционная коллегия: Б Л Альтшулер, Л В Келдыш (председатель), Д А Киржниц, В И Ритус) (М.: ОТФ ФИАН – ЦентрКом, 1995)
2. Сахаров А Д "Стационарная детонационная волна в гетерогенной системе А-9 + "180", в кн. Андрушин И А, Илькаев Р И, Чернышев А К "Слойка" Сахарова. *Путь гения* (Саров: ФГУП "РФЯЦ – ВНИИЭФ", 2011) с. 144
3. Гинзбург В Л «1. Использование Li-6D в "слоейке". 2. Влияние взаимодействия между ядрами урана в "слоейке"», в кн. Андрушин И А, Илькаев Р И, Чернышев А К "Слойка" Сахарова. *Путь гения* (Саров: ФГУП "РФЯЦ – ВНИИЭФ", 2011) с. 146
4. "Стенограмма заседания Ученого Совета ФИАН СССР им. Лебедева от 3 ноября 1947 года", в сб. Сахаров А Д *Научные труды* (Редакционная коллегия: Б Л Альтшулер, Л В Келдыш (председатель), Д А Киржниц, В И Ритус) (М.: ОТФ ФИАН – ЦентрКом, 1995) с. 481
5. Сахаров А Д "Памяти Игоря Евгеньевича Тамма", в сб. Сахаров А Д *Научные труды* (Редакционная коллегия: Б Л Альтшулер, Л В Келдыш (председатель), Д А Киржниц, В И Ритус) (М.: ОТФ ФИАН – ЦентрКом, 1995) с. 420
6. Тамм И Е, Сахаров А Д, Зельдович Я Б "Модель изделия РДС-6с", в кн. Андрушин И А, Илькаев Р И, Чернышев А К "Слойка" Сахарова. *Путь гения* (Саров: ФГУП "РФЯЦ – ВНИИЭФ", 2011) с. 92–95
7. "Постановление СМ СССР № 1253-634 от 7 сентября 1956 года", в кн. Андрушин И А, Илькаев Р И, Чернышев А К *Решающий шаг к миру. Водородная бомба с атомным обжатием РДС-37* (Саров: ФГУП "РФЯЦ – ВНИИЭФ", 2010) с. 88
8. Софронов И Д "Работа с А.Д. Сахаровым", в сб. *Материалы открытого заседания НТС ВНИИЭФ, посвященного 80-летию со дня рождения А.Д. Сахарова* (Саров: РФЯЦ – ВНИИЭФ, 2003)
9. Сахаров А *Воспоминания* (Нью-Йорк: Изд-во им. Чехова, 1990) с. 309
10. Сахаров А Д "Письмо в ЦК КПСС 27 июля 1967 года", Специальный архив РФЯЦ – ВНИИЭФ

Sakharov in KB-11. The path of a genius

R.I. Ilkaev

Russian Federal Nuclear Center — All-Russian Research Institute of Experimental Physics,
607190 Sarov, Nizhny Novgorod region, Russian Federation
E-mail: ilkaev@vniief.ru

21 May, 2011 would have marked the 90th birthday of Andrei Dmitrievich Sakharov, a towering 20th-century figure in science and human thought, whose ideas, research contributions and life example exerted enormous influence on the history of the second half of the 20th century and in particular, on the history of Russia. Whether as a scientist or a person in general (including his public activities and exceptional commitment to human rights work), he always displayed creativity and the freedom of spirit, thought and action. Sakharov's life and creative work make him a model scientist and citizen for many and undoubtedly provide a legacy for the development of science and society in the 21st century. In this paper, some of Sakharov's key ideas and achievements relating to his KB-11 period are reviewed, and how they influence present day research and technology, in particular, of relevance to national security, is examined.

PACS numbers: **01.60. + q**, **01.65. + g**, **28.70. + y**

DOI: 10.3367/UFNr.0182.201202i.0195

Bibliography — 10 references

Received 15 September 2011

Uspekhi Fizicheskikh Nauk **182** (2) 195–201 (2012)

Physics – Uspekhi **55** (2) (2012)