

Основные этапы атомного проекта*

Р. И. ИЛЬКАЕВ

1. Введение

Атомный проект (1943–1955 гг.) заложил основы безопасности нашей страны во второй половине XX в., ликвидировал атомную и термоядерную монополию США.

К основным этапам Атомного проекта относятся:

1943–1949 гг. – создание Лаборатории № 2 под руководством И. В. Курчатова, научнотехнической и промышленной инфраструктуры атомной отрасли, создание на основе принципа газодинамической имплозии первой атомной бомбы РДС-1 и ее испытание;

1948–1953 гг. – реализация идей А. Д. Сахарова и создание прототипа термоядерного модуля РДС-6с – впервые осуществлено зажигание и горение термоядерного вещества;

1954–1955 гг. – разработка и реализация принципа радиационной имплозии, создание РДС-37 – прототипа современного термоядерного оружия.

В докладе рассмотрены основные научные особенности реализации каждого из трех этапов Атомного проекта.

2. Предыстория атомного проекта

Среди довоенных работ, которые оказали значительное влияние на реализацию Атомного проекта СССР, отмечу исследования по механизмам процессов взрывчатых превращений, устойчивости динамических состояний – горения и детонации ВВ, способам возбуждения и передачи детонации. Важный вклад в эти работы внес основатель ВНИИЭФ (ныне – Российского федерального ядерного центра – Всероссийского научноисследовательского института экспериментальной физики) и научный руководитель разработок ядерных и термоядерных зарядов Атомного проекта академик Юлий Борисович Харитон.

В 1939–1940 гг. Ю. Б. Харитон совместно с другим нашим замечательным ученым, много

сделавшим для становления и развития ядернооружейных работ, – Яковом Борисовичем Зельдовичем – выполнил ряд пионерских работ по изучению развития цепной реакции в урановых материалах. Уже тогда Ю. Б. Харитон и Я. Б. Зельдович определили, что экспоненциальное возрастание скорости цепной реакции имеет порядок 10^7 с^{-1} , и отметили принципиальную необходимость решения проблемы быстрого перехода из подкритической области состояния делящегося материала в надкритическую.

Одним из важных событий в истории советского Атомного проекта явились предложения, выдвинутые Г. Н. Флеровым в письме И. В. Курчатову в марте-июне 1942 г. В этих предложениях был сделан вывод об осуществимости цепной реакции деления на быстрых нейтронах для U-235. Вероятное количество вторичных нейтронов при делении ядер этих изотопов быстрыми нейтронами было оценено как ~2–3; вероятное эффективное сечение деления ядер этих изотопов для быстрых нейтронов оценивалось величиной $\sigma_f \sim 36$.

В предложениях Г. Н. Флерова отмечалось, что существенным препятствующим фактором для реализации мощного взрывного процесса деления ядер является естественный нейтронный фон, который складывается из трех компонентов:

- нейтронов космического излучения;
- нейтронов спонтанного деления;
- нейтронов, нарабатываемых в процессе α -распада ядер в реакции α, n .

Г. Н. Флеров отметил важность влияния на энерговыделение ядерного взрыва уровня надкритичности системы в момент взрыва и времени разлета активного материала в процессе взрыва.

3. Лаборатория № 2 Академии наук СССР

Первое решение, определившее развертывание работ по советскому Атомному проекту было принято 28 сентября 1942 г. в виде распоряжения Государственного Комитета Обороны (ГКО) «Об организации работ по урану».

*Доклад на научной сессии общего собрания отделения физических наук РАН. 17.12.2012 г. // УФН. Т. 183. № 5. С. 528.



И. В. Курчатов

Ю. Б. Харитон

Я. Б. Зельдович



А. Д. Сахаров

И. Е. Тамм

К. И. Щелкин

В распоряжении ГКО от 11 февраля 1943 г. говорилось: «В целях более успешного развития работы по урану возложить на тт. Первухина М. Г. и Кафтанова С. В. обязанность повседневно руководить работами по урану и оказывать систематическую помощь спецлаборатории атомного ядра АН СССР. Научное руководство работами по урану возложить на профессора Курчатова И. В.».

Существенным шагом в укреплении организационной структуры работ по Атомному проекту явилось назначение Игоря Васильевича Курчатова начальником Специальной лаборатории по атомному ядру (Лаборатория № 2 АН СССР). Это назначение было оформлено 10 марта 1943 г. распоряжением № 122 по АН СССР.

В начале 1944 г. А. И. Алиханов, по видимому, впервые в СССР рассмотрел вопрос о возможности противодействия атомному оружию. В записке от 4 января 1944 г., представленной И. В. Курчатову, в качестве такого способа А. И. Алиханов предлагал облучение атомного заряда, работающего по принципу сближения, сильным потоком нейтронов, что должно вызвать преждевременное нейтронное инициирование заряда и снижение его энерговыделения на несколько порядков.

В указанной записке отмечается, что в атомной бомбе могут быть предприняты специальные меры защиты от такого воздействия – окружение бомбы слоем богатого водородом вещества или помещение ее в грунт на глубину в несколько метров.

В марте 1945 г. И. В. Курчатов после рассмотрения и анализа новой информации разведки об атомной программе США отметил, что атомная бомба может быть приведена в действие двумя способами:

- быстрым сближением двух половин заряда урана-235 или плутония-239, находящихся первоначально на расстоянии 0,5–1,0 м друг от друга;

- уплотнением зарядов урана-235 или плутония-239 мощным взрывом тротила, окружающего эти вещества (газодинамическая имплозия).

Величина критической массы делящегося материала не могла быть определена с необходимой точностью, и по разным оценкам она составляла от 1 до 10 кг. По предварительным расчетам общий вес содержащей от 5 до 10 кг урана-235 или плутония атомной бомбы, эквивалентной по своему действию от 10000 до 50000 т тротила, мог составить от 3 до 5 т.

7 апреля 1945 г. И. В. Курчатов отмечал, что «мы только что узнали о методе имплозии и начинаем над ним работу, однако его преимущества перед методом пушечного сближения уже ясны». В полученных материалах этому методу посвящен основной объем. В частности, были даны:

- схема распространения детонации во взрывчатом веществе и процесс деформации материала, окружающего ядерный заряд;
- описание процессов сжатия тела взрывом и самого взрыва;
- указания на условия (что являлось особенно существенным), при которых можно получить симметричность эффекта взрыва, необходимую по самому существу метода;
- описание явлений неравномерного действия взрывной волны и способов устранения этой неравномерности;
- описание техники экспериментов с ВВ и оптики взрывных явлений.

4. Создание первой атомной бомбы РДС-1

9 апреля 1946 г. Совет министров СССР принял закрытое Постановление № 806-327 о создании Конструкторского бюро № 11 (КБ-11). Так была названа организация, призванная создать атомную бомбу. Этим постановлением определялось руководство КБ-11, начальником был назначен Ю. Б. Харитон.

Создание атомной бомбы требовало решения исключительно широкого круга физических и технических вопросов, связанных с проведением обширной программы расчетно-теоретических исследований, проектно-конструкторских и экспериментальных работ. Прежде всего предстояло провести исследования физико-химических свойств делящихся материалов, разработать и апробировать методы их литья и механической обработки. Необходимо было создать радиохимические методы извлечения различных продуктов деления, организовать производство полония и разработать технологию изготовления источников нейтронов. Требовались методики определения критической массы, разработка теории эффективности или коэффициента полезного действия, а также теории ядерного взрыва в целом.

Особый раздел обширных работ был связан с теорией сходящейся детонационной волны, вопросами детонации ВВ и процессами, происходящими с фронтом детонационной волны при переходе детонации из одного ВВ в другое, при столкновении детонационных волн, исходящих из различных точек, изучением сжимаемости металлов при больших давлениях.

Экспериментальные исследования свойств веществ, входящих в состав физической схемы заряда, создавали фундамент для верификации физических представлений о процессах, происходящих в заряде на его газодинамической стадии.

Нужны были лабораторные методы исследования газодинамических процессов, протекающих при взрыве сферического заряда ВВ, и методы определения параметров ядерного взрыва при полигонных испытаниях.

Для разработки РДС-1 важное значение имела физическая теория ядерного взрыва, в основе которой лежали уравнения газодинамики, диффузии теплового излучения и переноса нейтронов. Решение этих задач требовало использования методов приближенных вычислений.

Большинство математических расчетов в то время проводилось в четырех специализированных математических подразделениях:

- в отделе приближенных вычислений Математического института им. В. А. Стеклова АН СССР под руководством К. А. Семендяева;
- в расчетном бюро Института физических проблем во главе с Л. Д. Ландау и Н. Н. Мейманом;
- в математическом отделе Института геофизики АН СССР под руководством А. Н. Тихонова;
- в отделе приближенных вычислений Ленинградского отделения Математического института им. В. А. Стеклова под руководством Л. В. Канторовича.

Создание инфраструктуры производства оружейного плутония представляло собой главный технологический этап реализации ядерной оружейной программы СССР. Еще 22 марта 1943 г. в записке заместителю председателя Правительства М. Г. Первухину по анализу данных разведки И. В. Курчатова, в частности, писал: «...Кроме того, указано, что, может быть, продукты сгорания ядерного топлива в "урановом котле" могут быть использованы вместо урана-235 в качестве материала для бомбы... Перспективы этого направления необычайно увлекательны...».

С пуском в конце 1944 г. в Лаборатории № 2 первого циклотрона (в его создание большой вклад внесли Л. М. Немёнов и В. П. Джелепов) появились возможности получения микроскопических количеств плутония. Пуск первого ядерного реактора Ф-1 25 декабря 1946 г. значительно расширил эти возможности. В то время уже твердо было установлено, что плутоний, накопленный в процессе нейтронного облучения в уране, может быть, действительно, выделен доступным химическим способом.

23 августа 1946 г. вышло постановление Правительства о строительстве первых очередей комбината № 817 по производству плутония (Челябинск-40; производственное объединение



Н. Б. Боголюбов



Л. В. Канторович



К. А. Семендяев



А. Н. Тихонов



М. В. Келдыш



Л. Д. Ландау



Л. А. Арцимович



А. И. Алиханов



В. П. Дзелепов



М. А. Садовский



С. И. Вавилов



Н. Н. Семенов

«Маяк»). 19 июня 1948 г. под руководством И. В. Курчатова был начат запуск реактора «А» с нулевой отметки, и 22 июня мощность этого реактора достигла проектного значения – 100 МВт. Строительство реактора заняло 1,8 года, столько же времени заняли его разработка и проектирование.

Радиохимические процессы по выделению плутония были разработаны под руководством В. Г. Хлопина в Радиовом институте Академии наук в Ленинграде. Разработка технологии получения чистого металлического плутония была осуществлена под научным руководством А. А. Бочвара.

В 7 часов утра 29 августа 1949 г. был произведен взрыв РДС-1, который ознаменовал успешное завершение разработки и проведение испытания первой атомной бомбы в СССР. Использувавшаяся в опыте аппаратура позволила провести оптические наблюдения и измерения теплового потока, параметров ударной волны, характеристик нейтронного излучения и гамма-излучения, определить уровень радиоактивного загрязнения местности в районе взрыва и вдоль следа облака взрыва, изучить воздействие поражающих факторов ядерного взрыва на биологические объекты. Энерговыведение первой советской атомной бомбы составило 22 кт тротилового эквивалента.

СССР стал обладателем технологии создания ядерного оружия и сумел подготовить его промышленное производство. Следует отметить принципиальную важность того обстоятельства, что, несмотря на аналогичность схемы заряда американской, его конструкция, отработка, обоснование определяющих физических процессов, производство и технология были советскими.

История разработки первой атомной бомбы СССР являет собой образец вы-

сокой организованности всех служб самой разной направленности, самоотверженной работы всех участников ее создания, четкости взаимодействия и высокой ответственности за порученное дело. Ю. Б. Харитон писал: «Я поражаюсь и преклоняюсь перед тем, что было сделано нашими людьми в 1946–1949 гг. Было нелегко и позже. Но этот период по напряжению, героизму, творческому взлету и самоотдаче не поддается описанию...».

5. Влияние Атомного проекта на научные и технологические программы СССР

С атомным проектом были связаны масштабные научные программы, реализация которых привела к интенсивному развитию ядерной физики в СССР.

4 марта 1946 г. было принято постановление Совнаркома СССР «О мерах развития исследований космических лучей». В рамках этих работ, в частности, предполагалось:

- выяснение природы космических лучей,



РДС-1

их состава и процессов воздействия на атомные ядра частиц сверхвысоких энергий;

- выяснение механизма ядерных превращений, вызываемых космическими лучами;
- проведение работ по решению проблемы искусственного получения потоков частиц с энергией, сравнимой с энергией космических лучей.

Руководство выполнением этих задач было возложено на С. И. Вавилова, А. И. Алиханова и Д. В. Скобельцына. В этих целях предписывалось создать высокогорные Памирскую и Эльбрусскую и подземную Московскую (метрополитен) постоянно действующие станции по изучению космических лучей.

В августе 1946 г. к И. В. Сталину поступило письмо с представлением на утверждение проекта постановления Совета министров (СМ) СССР «О проектировании и сооружении мощного резонансного ускорителя электронов» по проекту В. И. Векслера. Целью создания ускорителя с энергией электронов до 1 ГэВ явилось исследование взаимодействия таких электронов с атомными ядрами и получение мезонов. Проект связывался с проблемой ядерного оружия. Соответствующее постановление СМ СССР было утверждено 13 августа 1946 г.

В то же время И. В. Сталину было направлено письмо с представлением на утверждение проекта постановления СМ СССР «О строительстве мощного циклотрона» с энергией до 0,25 ГэВ, близкой к энергии космических лучей. Предполагалось, в частности, что установка позволит «перейти к открытию новых физических явлений (открытию новых элементов, новых способов получать атомную энергию из более дешевых источников, чем уран)». Инициатива предложения исходила от С. И. Вавилова, И. В. Курчатова, А. И. Алиханова, Д. В. Скобельцына и Л. А. Арцимовича. Постановление было утверждено 13 августа 1946 г.

22 апреля 1946 г. президент АН СССР С. И. Вавилов направил руководству страны за-

писку об организации исследований в связи с проблемой использования атомной энергии. В этой записке фактически идет речь о взаимном влиянии атомной проблемы и развития фундаментальных научных исследований. В записке, в частности:

- предлагалось мобилизовать и реорганизовать математическую область исследований, прежде всего за счет использования «машинной» математики, в связи с этим высказывались соображения о необходимости создания в системе АН СССР специального Института «машинной» математики и приближенных вычислений;

- отмечалось, что возможность использования атомной энергии дает способ концентрации огромной энергии в опытных установках разного рода, что позволит изучать свойства материалов при чрезвычайно высоких давлениях, плотностях и температурах, исследовать распространение излучения при огромных интенсивностях;

- отмечалась необходимость проведения исследований новых методов измерений различных физических величин и явлений;

- указывалось, что большое значение приобретают исследования фотохимических процессов под действием интенсивной световой радиации химических процессов, под действием нейтронов и других частиц, химических реакций и кинетики при очень больших давлениях и температурах;

- говорилось о необходимости широкого использования сейсмологии и сейсмических приборов для изучения мощных взрывов, сопровождающих быстрое освобождение ядерной энергии;

- отмечалось, что огромные запасы ядерной энергии могут быть привлечены для искусственного изменения климата (таяние льдов, расширение водоемов, создание плотин, центров конденсации воды);

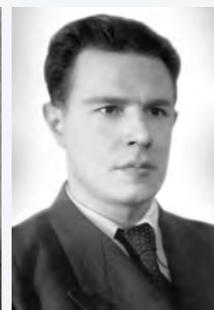
- подчеркивалась необходимость широкого проведения действия радиации на человека,



Н. А. Доллежалъ



М. А. Лаврентьев



В. С. Комельков



Д. В. Скобельцын



А. А. Бочвар



В. Г. Хлопин

животных и растения и развития в этих целях физиологии, генетики, медицины и агрономии.

В ответ на эти предложения постановлением СМ СССР от 16 октября 1946 г. предписывалось развивать научно-исследовательские работы по изучению атомного ядра и использованию ядерной энергии в технике, химии, медицине и биологии. К числу тех исследований, в частности, относились:

- поисковые работы по прямому преобразованию энергии радиации в другие виды энергии;
- развитие методов измерения акустических волн, сопровождающих взрыв на больших расстояниях;
- исследования сжимаемости металлов при высоких и сверхвысоких давлениях;
- радиохимические исследования;
- определение вещественного носителя урана в естественных рудах;
- изучение радиоактивного распада в земной коре;
- фотохимические процессы в белках при поглощении ультрафиолетовых, рентгеновских и корпускулярных лучей;
- влияние облучения ионизирующей радиацией на рост и обмен веществ растений и живых организмов;
- действие радиоактивных излучений на органы человека;
- действие радиоактивных излучений на элементарные биологические процессы;
- терапевтическое применение новых видов радиации и радиоактивных веществ.

К этим же видам работ относились:

- разработка методов, организация и проведение машинно-вычислительных работ;
- изучение ядерного фотоэффекта на бериллии;
- изучение свойств нейтрино и его влияние на ядерные процессы;
- конструирование типовых приборов для радиоактивных исследований;

• изучение оптики световых потоков большой интенсивности;

• изучение обмена веществ в растениях с помощью меченых атомов.

Еще до создания первой атомной бомбы, в 1948 г. была поставлена задача проведения исследований по вопросу о возможности создания эффективных средств противодействия атомному оружию. С таким предложением выступил руководитель Института химической физики АН СССР Н. Н. Семенов. Смысл предложения состоял в том, что необходимо сосредоточить усилия на исследовании воздействия на делящиеся материалы потоков высокоэнергетических частиц (нейтронов, протонов, дейтронов), а также их прохождения через внешние слои атомной бомбы и атмосферу. Кроме того, отмечалась необходимость создания специальных ускорителей, которые позволяли бы получать частицы с энергиями свыше 100 МэВ. Первый этап экспериментальных работ предполагалось проводить на имевшихся в то время установках, а также с использованием естественного фона космических лучей. В августе 1948 г. было принято постановление СМ СССР, которое обязывало Институт химической физики, Физический институт АН СССР, Лабораторию № 2 и Физико-технический институт АН УССР провести необходимые научно-исследовательские работы по этой проблеме в 1948–1949 гг. Этот проект явился прообразом дальнейших разработок средств противодействия ядерному оружию.

Особое место в использовании атомной энергии в мирных целях занимала проблема создания энергетических реакторов. США уже в апреле 1946 г. предполагали начать строительство атомной электростанции с газовым теплоносителем в Окридже и ввести ее в эксплуатацию в 1948 г.

В 1946 г. И. В. Курчатов рассматривал возможность использования в СССР графитового реактора (который разрабатывался тогда для



Ю. А. Романов



Г. Н. Флеров



В. И. Векслер



С. З. Беленький



Е. И. Забахин



Ю. А. Трутнев

наработки оружейного плутония) в целях производства энергии. В 1947 г. в печати появились сообщения о начале работ по созданию атомной электростанции в США, и это обстоятельство подтолкнуло развитие аналогичных работ в СССР.

В 1949 г. в Лаборатории № 2 исследовались возможные направления создания энергетических реакторов для транспорта и атомной энергетики. 16 мая 1949 г. постановление Правительства определило начало работ по созданию первой атомной электростанции (АЭС). В качестве места строительства АЭС был определен г. Обнинск, а в ее создании ключевую роль играли Лаборатория В (ныне – Государственный научный центр (ГНЦ) «Физико-энергетический институт») и Лаборатория № 2 (ныне – Российский национальный центр (РНЦ) «Курчатовский институт»). Научным руководителем работ по созданию первой АЭС был назначен И. В. Курчатов, главным конструктором реактора – Н. А. Доллежал.

В ноябре 1949 г. на заседании Специального комитета при СМ СССР было принято решение: «В целях изыскания возможностей использования атомной энергии в мирных целях (возможности разработки проектов силовых установок и двигателей с применением атомной энергии) поручить тт. Курчатову, Александрову, Доллежалю, Бочвару, Завенягину, Первухину и Емельянову рассмотреть вопрос о возможных направлениях научно-исследовательских работ в этой области и свои соображения в месячный срок доложить Специальному комитету».

Вскоре стали проводиться исследования возможности создания ядерных энергетических установок для кораблей военно-морского флота и гражданских судов. Эти исследования стимулировались информацией из США о масштабных работах по созданию атомной подводной лодки. Эта задача требовала совершенно новых решений – создания эффективного малогабаритного ядерного реактора с учетом жестких ограничений, определяемых условиями его размещения и эксплуатации на подводной лодке.

6. Термоядерное усиление. «Слойка» Сахарова

12 августа 1953 г. на Семипалатинском испытательном полигоне прогремел первый в нашей стране термоядерный взрыв. Это было испытание знаменитой сахаровской «слойки» – термоядерного заряда с маловыразительным индексом РДС-6с. Испытание оказалось исключительно

успешным, изделие сработало «по верхнему пределу» и оправдало все возлагавшиеся на него ожидания как идеологов и руководителей проекта, ученых и конструкторов, так и руководителей страны и атомной отрасли.

Центральной фигурой проекта РДС-6с был Андрей Дмитриевич Сахаров, который за осуществление этого проекта был удостоен высших государственных наград и стал академиком АН СССР прямым избранием, минуя ступень члена-корреспондента. Можно без преувеличения сказать, что разработка РДС-6с явилась одним из знаковых событий XX в., крупным шагом на пути к созданию ядерного щита нашей страны.

В основе РДС-6с лежал принцип ионизационного сжатия термоядерного горючего («первая идея» по терминологии А. Д. Сахарова). А. Д. Сахаров отмечал: «Предлагалось, что детонационная волна, первоначально создаваемая инициатором (ядерным взрывом), обжимает тяжелую воду и уран (до ~7 раз) и нагревает их до температуры ~10 кэВ (в условиях равновесия излучения с веществом). В изотермических условиях происходит процесс выравнивания давлений в уране и тяжелой воде, что приводит к дополнительному существенному сжатию тяжелой воды (~7 раз) и соответствующему ускорению термоядерных реакций». Впоследствии этот процесс был назван «сахаризацией».

Далее А. Д. Сахаров предложил существенно более эффективную схему «слойки» на принципе имплозии: в центр помещается детонатор, на котором располагаются гетерогенные слои термоядерного горючего и урана. Вся система обжимается ВВ, расположенным снаружи «слойки». Иницирование «слойки» происходит за счет энергии взрыва атомного детонатора. Это было исключительно плодотворное и прагматичное соединение фундаментальных физических идей «сахаризации» и имплозии.

Динамика многослойного заряда рассчитывалась в рамках системы гидродинамических уравнений, которые включали в себя уравнение непрерывности среды, уравнение движения в форме Эйлера и уравнение сохранения энергии. Уравнение сохранения энергии содержало источник энергии, определяемый нейтронно-ядерными взаимодействиями. Внутренняя энергия среды включала в себя материальную энергию и энергию излучения, а перенос энергии излучения в среде определялся в рамках приближения лучистой теплопроводности.

В 1950 г. Е. С. Фрадкин уточнил уравнение состояния урана в рамках модели Томаса–Фер-



РДС-6с

ми. Для уровня температур, характерного для стадии зажигания и горения термоядерного горючего, было получено, что материальная энергия среды, согласно модели Фрадкина, оказалась примерно в два раза больше, чем в исходной модели. При этом давление в уране при одинаковой температуре и плотности в обеих моделях практически не различалось. Это был важный пример того, как уточнение физической модели может существенно влиять на описание физических параметров основных процессов.

Одним из существенных факторов, от которого зависел успех или провал разработки РДС-6с, являлся эффект перемешивания термоядерных слоев и слоев урана в процессе ядерного взрыва. А. Д. Сахаров писал: «В процессе разлета многослойного заряда развиваются большие ускорения. В результате этого становятся неустойчивыми поверхности раздела слоев... Неустойчивость поверхности раздела приводит к перемешиванию... Перемешивание является весьма неблагоприятным фактором, поскольку при этом уменьшается скорость термоядерной реакции».

Процесс перемешивания разделялся на две стадии:

- начальную стадию экспоненциального возрастания начальных возмущений;
- стадию развитого турбулентного перемешивания.

Обе стадии были исследованы С. З. Беленьким; первая – в 1949 г., вторая – в 1949–1950 гг.

Далее отмечалось, что «при косом падении ударной волны на легкий слой возникают дополнительные источники их перемешивания – тангенциальные разрывы. Влияние этого фактора, в отличие от гравитационного перемешивания, не зависит от малых начальных возмущений». Значение данного фактора также оценивалось С. З. Беленьким (1949 г.). Было показано, что

роль этого эффекта сравнима с ролью «гравитационного» перемешивания.

Работы по обоснованию конструкции РДС-6с положили начало созданию в нашей стране новой отрасли знаний – вычислительной математики и вычислительной техники. Один из ведущих разработчиков РДС-6с физик-теоретик Ю. А. Романов писал: «...В процессе разработки РДС-6с рождалась новая научная отрасль – вычислительная математика. Несмотря на примитивность вычислительных средств, благодаря творческому вкладу выдающихся ученых М. В. Келдыша, А. Н. Тихонова,

К. А. Семендяева, Л. В. Канторовича стал возможным численный расчет сложного процесса – взрыва термоядерного заряда».

Государственная комиссия под председательством И. В. Курчатова приняла решение провести испытания первой водородной бомбы РДС-6с 12 августа 1953 г. в 7 ч 30 мин по местному времени на Семипалатинском полигоне. Предварительный отчет по результатам испытаний, который был подготовлен через три дня после испытания, подписан И. Курчатовым, Ю. Харитоновым, К. Щелкиным, И. Таммом, А. Сахаровым, М. Лаврентьевым, Я. Зельдовичем, В. Давиденко, В. Комельковым, Н. Духовым, Е. Забабахинным, М. Садовским, Н. Боголюбовым. В отчете приведена сводка данных по физическим измерениям и общей картине взрыва. По результатам анализа делается вывод, что «полный тротиловый эквивалент изделия РДС-6с находится в пределах между 350 и 400 тыс. тонн».

Выдающийся физик Г. Бете в 1953 г. вполне искренне сказал о создании РДС-6с: «Я не знаю, как они его сделали. Поразительно, что они смогли его осуществить». Отметим, что менее чем за два месяца до проведения испытания РДС-6с, 16 июня 1953 г., в докладе президенту США Центральное разведывательное управление США сообщало, что у них «нет доказательств, что термоядерное оружие развивается в СССР».

7. Принцип радиационной имплозии. РДС-37

В основе создания РДС-37 и следующих поколений термоядерных зарядов лежат фундаментальные научные представления физики высоких плотностей энергии. Этот принцип предполагает:

- выход значительной части энергии при

взрыве ядерного заряда (первичного модуля) в виде рентгеновского излучения;

- транспортировку энергии рентгеновского излучения к термоядерному модулю;

- имплозию термоядерного модуля с помощью энергии «доставленного» рентгеновского излучения.

Еще в начале 1950-х гг. обсуждалась возможность более эффективного сжатия ядерного материала по сравнению со сжатием, обеспечиваемым взрывом химических ВВ. Первоначально эта идея была сформулирована в общем виде как идея использования ядерных взрывов одного или нескольких зарядов для обжатия ядерного горючего, находящегося в отдельном модуле, пространственно отдаленном от первичного источника (источников) ядерного взрыва.

В январе 1954 г. Я. Б. Зельдович и А. Д. Сахаров детально рассматривали схему, которая содержала принципиальное представление о двухстадийном ядерном заряде. С самого начала в отношении возможности реализации этой идеи возник ряд вопросов, которые можно объединить в две группы.

Первая группа вопросов относилась к самому понятию «ядерной имплозии». Хорошо изученная к тому времени схема работы ядерного заряда предполагала обжатие ядерного (или ядерного и термоядерного, как в РДС-6с) материала сферическим взрывом химических ВВ, в котором сферическая симметрия имплозии определялась исходной сферически-симметричной детонацией взрывчатки. Было очевидным, что в гетерогенной структуре из первичного источника (источников) и обжимаемого вторичного модуля аналогичные первоначальные возможности для реализации сферически-симметричной «ядерной имплозии» отсутствуют. Этот вопрос был тесно связан с другими вопросами: что является носителем энергии взрыва первичного источника и как осуществляется этот перенос энергии ко вторичному модулю?

Вторая группа вопросов была связана с тем, что должен представлять собой вторичный модуль, на который воздействует ядерная имплозия. Первоначально предполагалось, что перенос энергии ядерного взрыва первичного источника в двухстадийном заряде должен осуществляться потоком продуктов взрыва и создаваемой ими ударной волной, распространяющейся в гетерогенной структуре заряда. В январе 1954 г. дан-



РДС-37 на тележке

ный подход был проанализирован Я. Б. Зельдовичем и А. Д. Сахаровым. При этом за основу физической схемы вторичного модуля было решено взять аналог внутренней части заряда РДС-6с, т. е. «слоеную» систему сферической конфигурации.

Следует отметить, что это была исключительно сложная система с точки зрения вычислительных возможностей того времени. Основная проблема состояла в том, как обеспечить близкое к сферически-симметричному режиму сжатие вторичного модуля, поскольку скорости распространения ударных волн вокруг модуля и внутри него различались не слишком сильно.

Через несколько месяцев работы над проектом было найдено решение этой проблемы – разработан так называемый принцип окружения, согласно которому перенос энергии первичного модуля осуществлялся рентгеновским излучением, а для формирования направленности переноса энергии первичный и вторичный модули заключались в единую оболочку (как и в случае гидродинамической имплозии в январском проекте), обладавшую хорошим качеством для отражения рентгеновского излучения; были также обеспечены меры, способствующие переносу рентгеновского излучения внутри заряда в нужном направлении.

А. Д. Сахаров так описывает возникновение идеи радиационной имплозии («третьей идеи», как он ее называет) в КБ-11: «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 приобретенному авторитету, моя роль в принятии и осуществлении "третьей идеи", возможно, бы-

ла одной из решающих. Но также, несомненно, очень велика была роль Зельдовича, Трутнева и некоторых других, и, быть может, они понимали и предугадывали перспективы и трудности "третьей идеи" не меньше, чем я».

8 июля 1955 г. был выпущен отчет «Опытное устройство для проверки принципа окружения (расчетно-теоретические работы)», который является итоговым материалом по определению характеристик основных физических процессов, протекающих в РДС-37, его физических параметров, включая прогнозируемое энерговыделение.

Во введении этого отчета указывается: «Принцип окружения разрабатывался в теоретических секторах с 1950 г. В начале 1954 г. были достигнуты первые успехи, а именно, была выяснена принципиальная возможность получить симметричное обжатие водородной бомбы ("основного изделия") за счет лучистого теплообмена дополнительного ("первичного") изделия со слоем легкого вещества ("обмазка"), окружающего основное изделие.

В изделиях, использующих принцип окружения, важнейшую роль играет ряд процессов, которые никогда ранее не были проверены экспериментально и не исследовались теоретически.

1. Лучистый теплообмен в полости сложной формы.

2. Проникновение тепла в "обмазку" и в "кожух", сопровождающееся разлетом в вакуум.

Согласно расчетам, предлагаемая система является надежной. Ее мощность оценена как лежащая в пределах 600–1400 тыс. тонн.

Разработка принципа окружения является одним из ярких примеров коллективного творчества. Одни давали идеи (идеям потребовалось много, и некоторые из них независимо выдвигались несколькими авторами). Другие более отличались в выработке методов расчета и выяснении значения различных физических процессов».

Из заключения экспертной комиссии И. Е. Тамма от 1 июля 1955 г.: «Комиссия отмечает, что КБ-11 и ОПМ проделана весьма большая работа по исследованию новых физических принципов, положенных в основу конструкции водородных бомб с атомным обжатием».

Испытанием РДС-37 руководил И. В. Курчатов. В подготовке изделия к испытанию и в его проведении принимало участие руководство Министерства обороны СССР: заместитель министра обороны А. М. Василевский, М. И. Неделин, В. А. Болятко, заместитель председате-



Н. А. Духов

М. И. Неделин

А. П. Завенягин

ля СМ СССР – министр Министерства среднего машиностроения А. П. Завенягин с большой группой руководителей МСМ, руководители институтов, в которых разрабатывались методики измерений.

На испытаниях присутствовала большая группа выдающихся математиков: М. В. Келдыш, И. М. Гельфанд, С. К. Годунов, В. Ф. Дьяченко, О. В. Локуцкий, А. А. Самарский, А. Н. Тихонов.

Сводные материалы по результатам испытания изделия РДС-37 были подписаны И. В. Курчатовым, Ю. Б. Харитоновым, Н. Н. Семеновым, А. Д. Сахаровым, Я. Б. Зельдовичем, М. А. Садовским.

Рассмотрев результаты испытания РДС-37 на заседании 24 ноября 1955 г., комиссия отметила следующее:

- успешно испытана конструкция водородной бомбы, основанная на новом принципе;
- необходимо дальнейшее детальное исследование процессов, протекающих при взрыве бомбы этого типа;
- дальнейшую разработку водородных бомб следует проводить на основе широкого использования принципов, положенных в основу бомбы РДС-37.

Успешное испытание первого термоядерного устройства на принципе атомного обжатия позволило перейти к широкомасштабной разработке термоядерных зарядов.

Созданием заряда РДС-37 был совершен прорыв в решении проблемы термоядерного оружия, а сам заряд стал прототипом всех последующих двухстадийных термоядерных зарядов СССР.

ИЛЬКАЕВ Радий Иванович —
научный руководитель РФЯЦ-ВНИИЭФ,
академик РАН