



РОСАТОМ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»

Р Ф Я Ц  
ВНИИЭФ

## История отечественного атомного проекта

Доклад научного руководителя РФЯЦ-ВНИИЭФ  
академика РАН Р.И. Ильяева на Общем собрании  
ОФН РАН

17 декабря 2012 года, РАН

# Основные этапы Атомного проекта

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

1943-1949 гг. – создание Лаборатории № 2 под руководством И.В.Курчатова, научно-технической и промышленной инфраструктуры атомной отрасли, создание и испытание первой атомной бомбы РДС-1.

1948-1953 гг. – реализация идеи 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.

# Игорь Васильевич Курчатов



Его решения оказали определяющее влияние на облик ядерного оружия нашей страны и были исключительно правильными, имевшими поистине провидческий характер.

Игорь Васильевич руководил формированием всего облика атомной отрасли, начиная от научных исследований до создания промышленных технологий и производств. Его могучему научному и организационному таланту обязаны появление ядерной энергетики и ядерных энергетических установок, создание самих возможностей для масштабных исследований физики атомного ядра и термоядерных процессов.

# Довоенные основы Атомного проекта

## Развитие научных представлений:

- общие формулировки идей о возможности создания атомной бомбы из урана-235;
- формулировки понятий критической массы и элементов теории ядерной цепной реакции.

## Высокий уровень советских исследований:

- развитие теории атомного ядра;
- открытие ядерных изомеров и спонтанного деления урана;
- создание первого в Европе циклотрона;
- проведение Всесоюзных и международных конференций по ядерной физике;
- создание Комиссии по атомному ядру АН СССР;
- создание сети физических, в том числе физико-технических, институтов во многих городах страны;
- развитие физики процессов детонации взрывчатых веществ.

# Основатели и лидеры Атомного проекта



**Абрам Федорович Иоффе** – создатель и директор Ленинградского физико-технического института (ЛФТИ), ставшего базовой организацией для образования сети физико-технических институтов СССР и развертывания работ в различных областях физики (в том числе, Институт химической физики, Харьковский физико-технический институт). Академик с 1920 года, активный участник первых стадий Атомного проекта. Член технического совета Спецкомитета. Герой Социалистического Труда. К его школе относится ряд выдающихся научно-технических руководителей Атомного проекта: И.В.Курчатов, Ю.Б.Харитон, И.К.Кикоин, А.П.Александров, А.И.Алиханов.

*Ю.Б.Харитон о А.Ф.Иоффе «У Абрама Федоровича была вера в могущество физики... Очень много идей рассыпал он вокруг себя... Иоффе глубоко понимал, что ядерная физика – это тот раздел физики, который не может не дать выхода».*

# Основатели и лидеры Атомного проекта



**Николай Николаевич Семенов** – крупнейший ученый, создатель теории цепных реакций, академик с 1932 года. Начало творческого пути связано с ЛФТИ и А.Ф.Иоффе. Создатель и директор Института химической физики. Лауреат Нобелевской премии 1956 года за общую теорию цепных реакций. Участник Атомного проекта и руководитель работ ИХФ по исследованию физики взрывных процессов. С 1949 года – заместитель Председателя Совета при Президенте АН СССР по координации работ академических и отраслевых институтов по атомной проблеме. К его школе относятся выдающиеся участники Атомного проекта – Ю.Б.Харитон, Я.Б.Зельдович, Д.А.Франк-Каменецкий. За вклад в работы по созданию РДС-1 (участие в разработке новейших приборов и методик измерения атомного взрыва) в 1949 году он награжден орденом Ленина и ему присуждена Сталинская премия II степени. Дважды Герой Социалистического Труда.

*Ю.Б.Харитон о Н.Н.Семенове «Директором Николай Николаевич был совершенно необычайным. Если у кого-нибудь появлялась свежая идея, он радовался этому и всячески помогал ее реализовывать – это его качество много давало делу... Н.Н.Семенов был одним из тех, кто predetermined наш успех в решении урановой проблемы».*

# Принципиальные особенности Атомного проекта СССР

## Новизна

### **НОВЫЕ ЗНАНИЯ:**

- ядерная физика
- физика взрыва и гидродинамика высоких плотностей энергии
- радиохимия
- специальное материаловедение

### **НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ:**

- ядерный реактор
- выделение плутония из облученного ядерного топлива
- газодиффузионное и электромагнитное разделение изотопов

### **НОВЫЕ ПРОИЗВОДСТВА:**

- предприятия по добыче и переработке урана
- комбинат по производству плутония
- комбинаты по производству высокообогащенного урана

# Принципиальные особенности Атомного проекта

- развитие вычислительной математики;
- создание базы для развития атомной энергетики и ядерных силовых установок;
- создание основ физики высоких плотностей энергии, включая средства диагностики взрывных процессов;
- развитие ускорительной техники и физики атомного ядра;
- развитие радиохимии и физико-химии получения высокочистых и специальных материалов;
- создание радиационной биологии.
- решение сложнейших научно-технических задач по разработке РДС-1, созданию технологий получения ключевых ядерных материалов;
- создание новой атомной промышленности;
- создание ядерного оружейного центра;
- создание полигона для ядерных испытаний;
- создание системы кооперации предприятий, организаций, институтов СССР, направленной на достижение общей цели – реализацию Атомного проекта;
- развитие фундаментальных и прикладных исследований в новых областях.



# Поиск технологического пути

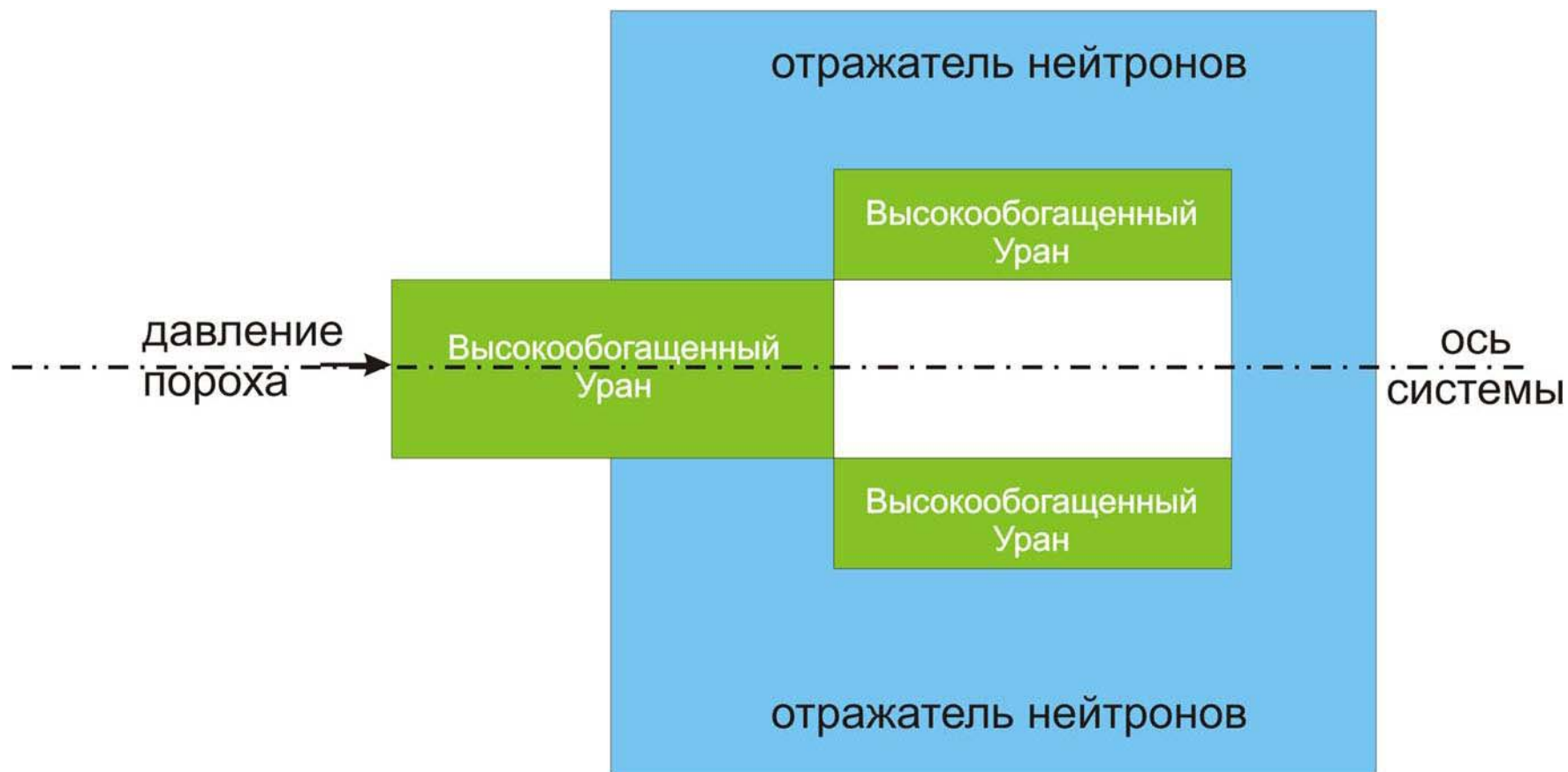
## Урановая бомба

- тип атомной бомбы – заряд на принципе сближения
- основной материал – уран, обогащенный по изотопу U-235
- принцип разделения – газовая диффузия молекул  $UF_6$

## Основная проблема

- создание конкретной промышленной технологии обогащения урана, требовавшей огромное количество новых устройств – газодиффузионных машин

# Схема атомной бомбы на принципе сближения



# Поиск технологического пути

## Плутониевая бомба

- тип атомной бомбы – заряд на принципе имплозии
- основной материал – оружейный плутоний
- принцип получения – наработка плутония в ядерном реакторе и его радиохимическое выделение из ОЯТ

## Основная проблема

- создание технологий и установок принципиально нового типа
- отсутствие достоверной информации о физических и конструкционных свойствах плутония

# Схема атомной бомбы на принципе имплозии



# Стратегическое решение по реализации Атомного проекта

25 декабря 1946 года в Лаборатории № 2 был осуществлен пуск уран-графитового реактора Ф-1, являвшегося моделью промышленного реактора-наработчика плутония.

## Экспериментально продемонстрированы:

- возможность управления реактором;
- безопасность реактора;
- получение облученного ОЯТ и отработка технологии выделения и металлургии плутония.

Реактор содержал ~ 45 тонн урана и ~ 400 тонн высокочистого графита. Максимальная мощность реактора ~ 4 МВт.

# Получение плутония

**Создание  
промышленного  
реактора –  
наработчика  
плутония – реактора  
«А» Комбината № 817**

- 19 июня 1948 года под руководством И.В. Курчатова был начат запуск реактора «А» с нулевой отметки.
- 22 июня мощность реактора «А» достигла проектного значения – 100 МВт.
- Реактор содержал 150 тонн урана и более 1000 тонн высокочистого графита.
- Реактор «А» стал первой в Европе ядерной промышленно-энергетической установкой и проработал с модернизацией до 16 июля 1987 года.
- Руководителем разработки конструкции реактора «А» является Н.А.Доллежалъ.

# Получение плутония для РДС-1

- 22 декабря 1948 года состоялся пуск завода «Б» для радиохимического выделения плутония, содержащегося в ОЯТ реактора «А».
- Радиохимические процессы для завода «Б» были разработаны в Радиевом институте под руководством В.Г. Хлопина
- В августе 1949 года на заводе «В» были изготовлены полусферы из металлического плутония для РДС-1.
- Технология получения чистого металлического плутония была разработана в НИИ-9 под руководством А.А.Бочвара, научного руководителя завода «В».

# Предложения Президента АН СССР С.И.Вавилова



**Сергей Иванович Вавилов** – академик с 1932 года, директор ФИАН, президент Академии наук СССР, в 1940 году – член Урановой комиссии.

Участник Атомного проекта с 1946 года.

Председатель Ученого совета АН СССР по координации работ академических и отраслевых институтов по изучению атомного ядра и использованию атомной энергии

- Реорганизация математических работ; создание специального института «машинной математики» и приближенных вычислений.
- Использование атомной энергии для исследований свойств материалов при высоких давлениях, плотностях и температурах; исследования распространения излучения при высоких интенсивностях.
- Создание новых методов физических измерений различных физических величин и характеристик явлений.
- Исследования фотохимических процессов под действием интенсивной световой радиации, химических процессов под действием нейтронов, химических реакций при очень больших давлениях и высоких температурах.
- Использование методов сейсмологии и сейсмических приборов для изучения мощных взрывов.
- Исследования использования ядерной энергии для искусственного изменения климата.
- Исследования действия радиации на человека, животных и растения и развитие в этих целях физиологии, генетики, медицины и агрономии.



# Развитие научно-исследовательских работ по изучению атомного ядра и использованию атомной энергии

- поисковые работы по прямому преобразованию энергии радиации в другие формы энергии;
- развитие методов измерения акустических волн, сопровождающих взрыв на больших расстояниях;
- сжимаемость металлов при высоких и сверхвысоких давлениях;
- радиохимические исследования;
- 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;
- действие радиоактивных излучений на органы человека;
- действие радиоактивных излучений на элементарные биологические процессы;
- терапевтическое применение новых видов радиации и радиоактивных веществ;
- разработка методов и проведение машинно-вычислительных работ;
- конструирование типовых приборов для исследований радиации;
- изучение оптики световых потоков большой интенсивности.

*(Постановление СМ СССР от 16 октября 1946 года.)*

# Основатели и лидеры Атомного проекта



**Юлий Борисович Харитон  
(1904-1996)**

- Выдающийся физик и организатор науки, академик
- Главный конструктор КБ-11 (1946-1952)
- Главный конструктор
- и научный руководитель КБ-11 (1952-1959)
- Научный руководитель ВНИИЭФ (1959-1992)
- Почетный научный руководитель
- РФЯЦ-ВНИИЭФ (1992-1996)
- Трижды Герой Социалистического труда
- Лауреат Ленинской и трех Государственных премий

# Создание первой атомной бомбы РДС-1

## Основные элементы Атомного проекта:

- решение сложнейших научно-технических задач по разработке РДС-1, созданию технологий получения ключевых ядерных материалов
- создание новой атомной промышленности
- создание ядерного оружейного центра
- создание полигона для ядерных испытаний
- создание системы кооперации предприятий, организаций, институтов СССР, направленной на достижение общей цели – реализацию Атомного проекта
- развитие фундаментальных и прикладных исследований в новых областях

# Теоретические основы разработки РДС-1

## Исследования критического состояния и процесса переноса нейтронов:

- определение критических размеров шаров делящихся материалов с произвольным распределением делящегося вещества
- размножение нейтронов вблизи критического состояния
- размножение нейтронов в делящихся средах с пассивными оболочками
- эффективность нейтронного инициирования
- вопросы устойчивости критического состояния
- физико-математические модели процессов переноса нейтронов в различных средах
- особенности распространения быстрых нейтронов в водородосодержащей среде
- критические массы водных растворов делящихся материалов
- особенности распределения делящихся масс в зарядах на сближении

## Теория энерговыделения:

- создание физико-математических моделей ядерного взрыва делящейся среды
- проведение серий расчетов энерговыделения различных систем
- теория неполного взрыва
- вопросы установления теплового равновесия вещества с излучением
- уравнения состояния тяжелых элементов в условиях развития ядерного взрыва

# Теоретические основы разработки РДС-1

## Сопровождение экспериментальных исследований:

- исследования процессов распространения детонационных и ударных волн
- вопросы распространения возмущений в сходящейся сферической волне;
- дробление вещества под действием ударных волн
- исследования вопросов отражения детонационных волн
- способы исследования ударной адиабаты металлов
- исследования вопросов измерения плотности обжимаемых шаров с помощью гамма-излучения
- расчеты и интерпретация подкритических экспериментов по определению критических масс
- исследования влияния допусков на одновременность прихода детонационных и ударных волн в условиях имплозии

# Проведение испытания РДС-1

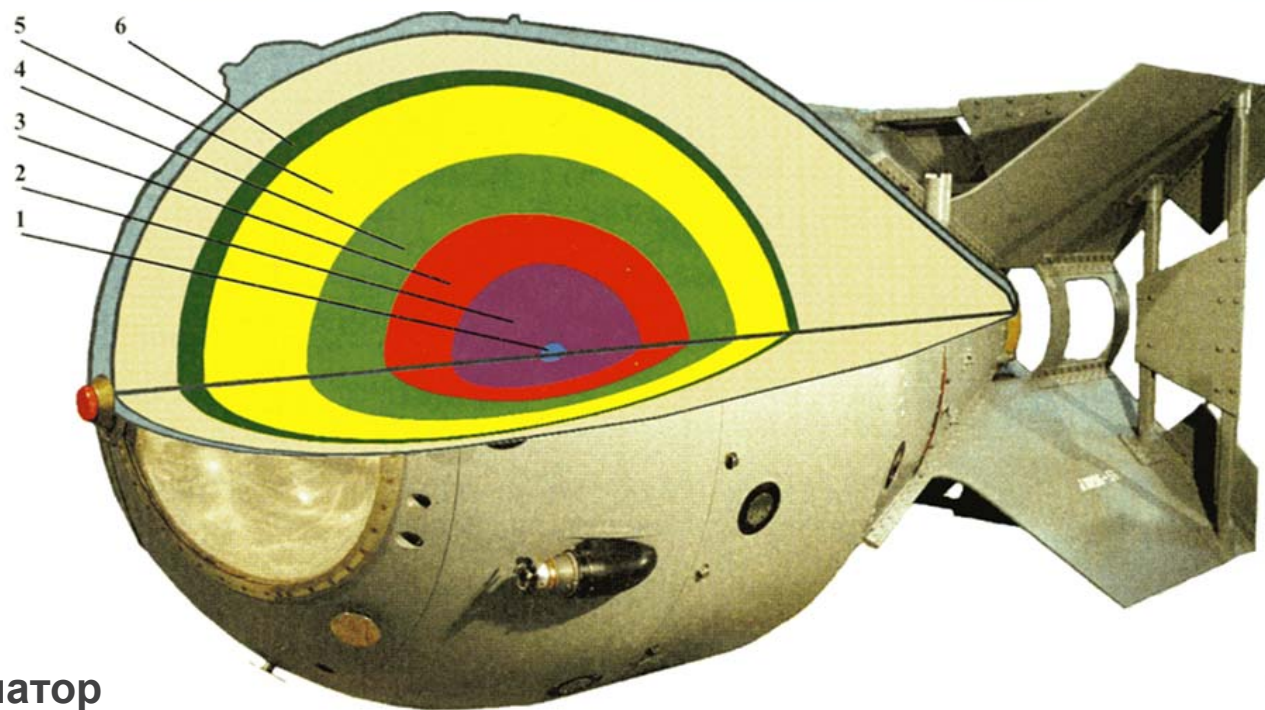
**Руководство  
испытаниями**

**Атомный взрыв**

**Измерения параметров  
натурного взрыва**

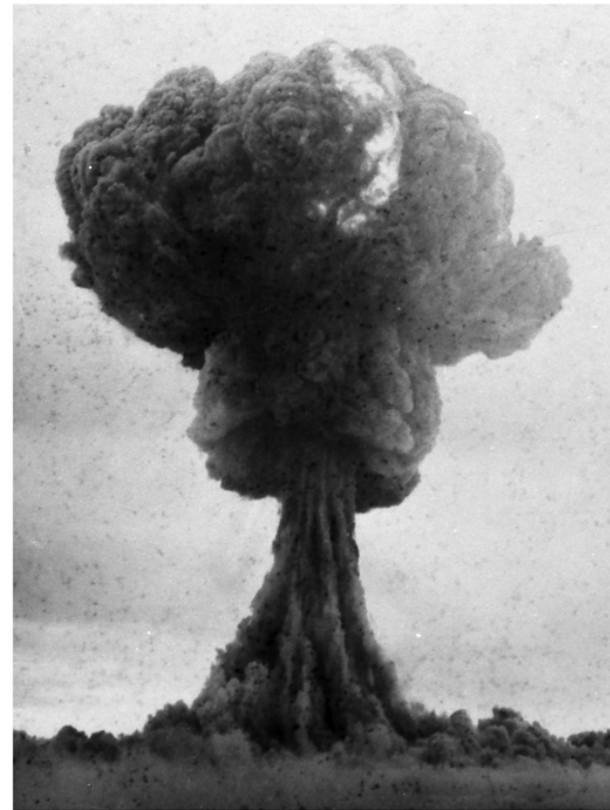
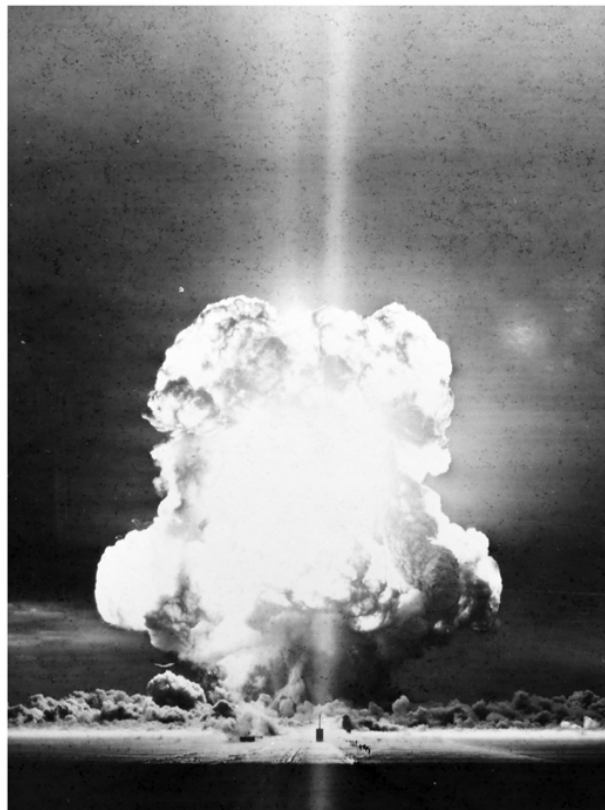
- Руководитель испытания – Председатель Спецкомитета Л.П.Берия.
- Научный руководитель испытания – академик И.В.Курчатов.
- Атомный взрыв РДС-1 произведен в 7 часов 29 августа 1949 года. Энерговыделение взрыва составило 22 кт.
- Определение параметров ударной волны.
- Определение характеристик потока теплового излучения.
- Определение характеристик нейтронного и гамма-излучений.
- Определение уровней радиационного загрязнения местности в районе взрыва и вдоль следа облака взрыва.
- Определение параметров воздействия ПФЯВ на элементы военной техники и гражданских сооружений.
- Определение воздействия ядерного взрыва на биологические объекты.

# Схема первой советской атомной бомбы



- 1 – нейтронный инициатор
- 2 – делящийся материал – плутоний
- 3 – металлический уран-238
- 4 – алюминий
- 5 – взрывчатое вещество и фокусирующая система
- 6 – дюралюминиевый корпус

# Фазы атомного взрыва РДС-1





# Основные итоги создания РДС-1

## Основные результаты испытания

- Получена прямая экспериментальная информация об исключительных последствиях воздействия ядерного взрыва созданного боеприпаса на элементы военной техники и промышленных сооружений.
- Создана практическая основа для учета возможностей использования ядерного оружия в военных операциях.
- Подтверждена правильность разработанной системы научных представлений об особенностях работы ядерных зарядов.
- Открыта возможность для дальнейшего совершенствования ядерного оружия.
- Подтверждена достоверность полученной разведкой информации, заложенной в реализацию советского атомного проекта.

# Основные направления исследований имплозии. Фундаментальные достижения

- Определение уровней кумуляции энергии взрыва ВВ в условиях сферически-симметричных, осесимметричных и трехмерных нагружений металлов и выводы о степени устойчивости такой кумуляции.
- Реализация точности схождения ударной волны в центре сферических и осесимметричных систем на уровне тысячных долей размера системы.
- Достижение уровней сжатия металлов в имплозивных системах  $\geq 7$  раз по отношению к их начальной плотности.
- Определение уравнений состояния многих веществ в области ударно-волновых нагружений, в том числе до уровней давления  $\sim 10$  ТПа.
- Характеристики кумуляции энергии в выраженных несимметричных условиях газодинамических течений.
- Критерии возбуждения детонации, устойчивость/затухание ее распространения, передача детонации через инертные экраны, сенсбилизация и десенсбилизация детонации.
- Методы исследования развития гидродинамических неустойчивостей.
- Процессы нейтронной кинетики в имплозивных средах.

Ю.Б.Харитон писал: *«Я поражаюсь и преклоняюсь перед тем, что было сделано нашими людьми в 1946-1949 годах. Было нелегко и позже. Но этот период по напряжению, героизму, творческому взлету и самоотдаче не поддается описанию...*

*...Ядерное оружие своей невиданной разрушительной силой, применение которой угрожает жизни на Земле, удерживало мировые державы от войны, от непоправимого шага, ведущего к всеобщей катастрофе...*

*Самое изощренное оружие массового уничтожения до сих пор содействует миру на Земле, являясь мощным сдерживающим фактором...».*



# Начало работ А.Д.Сахарова по термоядерному оружию



**Андрей Дмитриевич Сахаров**  
(1921-1989)

Выдающийся физик-теоретик,  
академик. Создатель первых образцов  
термоядерных зарядов  
Работал во ВНИИЭФ (1950 – 1968)  
Трижды Герой Социалистического  
Труда Лауреат Ленинской и  
Государственной премий,  
Лауреат Нобелевской премии мира

Через несколько месяцев после начала работ группы И.Е. Тамма А.Д. Сахаров в 1948 г. начал рассмотрение возможности решения проблемы создания водородной бомбы на пути возбуждения атомным взрывом ядерной детонации в гетерогенной плоской системе с чередующимися слоями термоядерного горючего и урана-238

АКАДЕМИЯ НАУК СОВЕТАМИК СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК  
ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ имени П.Н.ЛЕБЕДЕВА.

Юл.л.	06.09.089
ЛНР.	
Классификация	указанная 14.08.89
Фом.л.л.л.	сб. 1 Дата

СОВ. СЕКРЕТНО.  
СВЯ. ПАПКА № 3.  
РАЗРЕШЕНО

А. Д. С А Х А Р О В.

О Т Ч Е Т № 2

СТАЦИОНАРНАЯ ДЕТОНАЦИОННАЯ ВОЛНА  
в ГЕТЕРОГЕННОЙ СИСТЕМЕ А-9 + <sup>238</sup>U

Инд. №: 40782

Москва, январь 1949г.

ФИАН  
Н.В.С. 1949г. 18.08.49  
К ВХ. № 178 4/18

Иванов  
26/12 48.

# Дейтерид лития-6



Виталий Лазаревич Гинзбург  
(1916-2009)

В ноябре 1948 года сотрудник группы И.Е.Тамма В.Л.Гинзбург выпустил отчет, в котором предложил использовать в слоистой системе новое термоядерное горючее – дейтерид лития-6, который при захвате нейтронов образует тритий.

Выдающийся физик-теоретик, академик. Участник разработки первых термоядерных зарядов.

Лауреат Ленинской, Государственной премий. Лауреат Нобелевской премии по физике.

АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР

ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ имени П.Н.ЛЕБЕДЕВА

РАСКРЕЩЕНО

~~СОВ.СЕКРЕТНО~~

ОСОБАЯ ПАПКА

Экв. № 1

В.Л.ГИНЗБУРГ

Инд. № 107011

О Т Ч Е Т № 3

1) ИСПОЛЬЗОВАНИЕ  $Li^6D$  в "слоёнке".

2) ВЛИЯНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ ЯДРАМИ  
урана в "слоёнке".

И.Е.Тамма

К ВХ. № 1784/6

Москва, март 1949 года

# Разработка первых термоядерных зарядов

26 .02.1950г. постановление СМ СССР

«О работах по созданию РДС», которое обязывало ПГУ, Лаборатория № 2 АН СССР и КБ-11 провести работы по созданию изделия РДС-6с («Слойка») и РДС-6т («Труба»).

Научным руководителем работ по созданию изделия РДС-6с и РДС-6т был назначен Ю.Б.Харитон, заместителями - И.Е.Тамм и Я.Б.Зельдович.

**Испытание РДС-6с 12.08.1953, E= 400 кт ТЭ**



Хранить в конверте.

РАСОВ. СЕКРЕТНО  
(освобожд. папка)  
СССР



## СОВЕТ МИНИСТРОВ СССР

ПОСТАНОВЛЕНИЕ

от „26“ февраля 1950 г. № 821-303 сс/см.

Москва, Кремль

О работах по созданию РДС-6.

Совет Министров Союза ССР ПОСТАНОВЛЯЕТ:

1. Обязать Первое главное управление при Совете Министров СССР, Лабораторию № 2 АН СССР и КБ-11 организовать расчётно-теоретические, экспериментальные и конструкторские работы по созданию изделий РДС-6с и РДС-6т, в первую очередь изделия РДС-6с с добавкой [.....] иттрия, тротиловым эквивалентом 1.000.000 тонн и весом изделия до 5 тонн.

Установить срок изготовления 1-го экземпляра РДС-6с - 1954 год.

2. У т в е р д и т ь:

научным руководителем работ по созданию РДС-6с и РДС-6т члена-корреспондента АН СССР Харитона Ю.Б.;  
первым заместителем научного руководителя по созданию РДС-6с РДС-6т доктора физико-математических наук Щёлкина К.И.;  
заместителем научного руководителя по изделиям РДС-6с члена-корреспондента АН СССР Тамма И.Е.;  
заместителем научного руководителя по расчётно-теоретической части РДС-6т члена-корреспондента АН СССР Зельдовича Я.Б.;  
заместителями научного руководителя по исследованиям ядерных процессов кандидата физико-математических наук Мещерякова М.Г. и кандидата физико-математических наук Флерова Г.Н.

Задания по разработке изделия РДС-6с.

3. Обязать Первое главное управление, Лабораторию № 2 и КБ-11:  
а) к 1 мая 1952 г. изготовить по принципу, предложенному т.Сахаровым А.Д. изделие РДС-6с с малым многослойным зарядом [.....] и в июне 1952 г. провести

# Принципы «слойки»

- «1) В «слойке» осуществляется локальное температурное равновесие вещества и излучения. Вопрос о существовании такого детонационного режима не встает (он, несомненно, существует). Ширина зоны детонационной волны не очень велика.
- 2) В результате тепловых реакций в D возникают быстрые нейтроны, способные вызывать деление ядер U-238, 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; ...из равенства давлений в соседних фазах следует равенство числа частиц в единицах объема U и D; ионизованный уран «разбухает», сжимая D своим электронным давлением».

# Значение принципов «слойки»

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.

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 радиационной имплозии (РДС-37), осуществленных А.Д.Сахаровым и коллективом сотрудников под его руководством.



# Газодинамическая имплозия «слойки»

Первоначально А.Д.Сахаров предполагал создание сферической необжатой «слойки» большого размера, в центре которой размещалась инициирующая атомная бомба. После посещения в июне 1949 года КБ-11 и знакомства с разработкой РДС-1, обсуждений с Ю.Б.Харитоновым, Я.Б.Зельдовичем и Е.И.Забабахиным он предложил более эффективную схему слойки на принципе «имплозии». В центре «слойки» располагался атомный детонатор, вокруг которого размещались слои термоядерного горючего и урана. Вся система обжималась ВВ, размещенным снаружи многослойной системы, а инициирование «слойки» обеспечивалось имплозией и взрывом атомного детонатора.

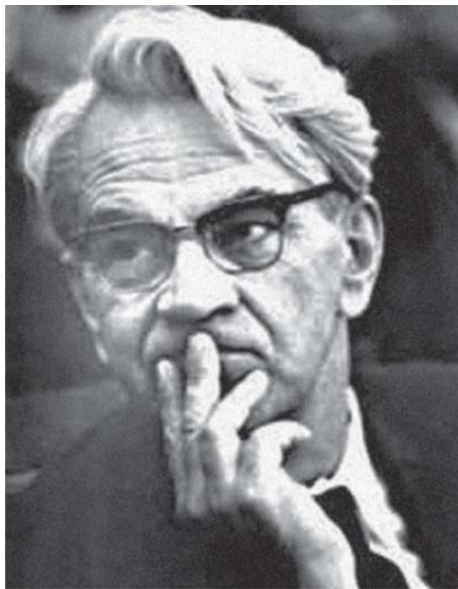
Это было исключительно плодотворное и прагматичное объединение фундаментальных физических идей «слойки» и имплозии.

# Роль математических методов в создании «слойки»

А.Д.Сахаров подчеркивал особую роль физико-математического моделирования и расчетных работ при создании «слойки». «Разработка математических методов детального расчета потребовала серьезной исследовательской и большой вычислительной работы. В ходе поисков оптимального варианта РДС-6с и методических изысканий были проведены 12 детальных расчетов водородных изделий. Количество произведенных при этом арифметических операций исчислялось многими десятками миллионов.

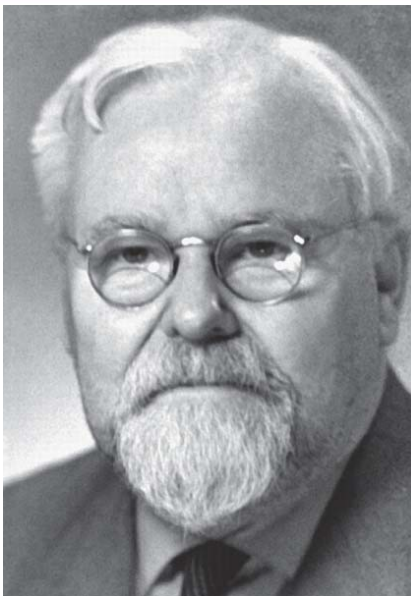
Был выработан такой метод расчетов, при котором неизбежные в столь грандиозных вычислениях малые ошибки не накапливались. Решение этой проблемы открывает, в частности, возможности применения ЭВМ вместо медленного и трудоемкого ручного счета».

# Обеспечение расчетных работ



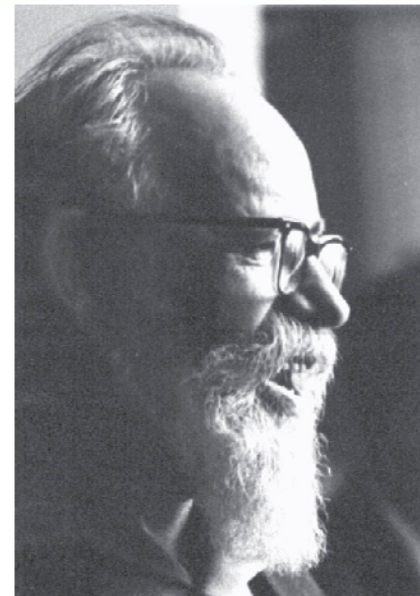
**Мстислав Всеволодович Келдыш  
(1911–1978)**

Выдающийся математик XX века, активный участник и организатор ракетно-ядерных проектов СССР, участник ядерных испытаний, автор фундаментальных работ по прикладной математике и физике, внес выдающийся вклад в развитие вычислительной математики, директор и организатор ИПМ АН СССР, Президент Академии наук СССР, трижды Герой Социалистического Труда, Лауреат Ленинской и двух Государственных премий



**Андрей Николаевич Тихонов  
(1906–1993)**

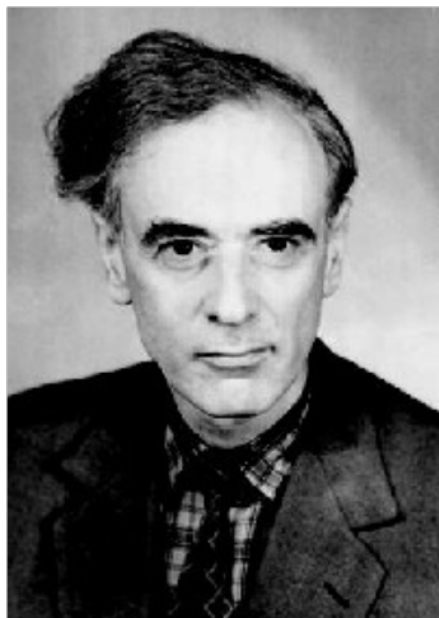
Выдающийся математик XX века, академик, основатель научной школы, один из инициаторов применения численных методов для разработки атомной и водородной бомб, директор ИПМ АН СССР, дважды Герой Социалистического труда, лауреат Ленинской и двух Государственных премий



**Константин Адольфович  
Семендяев  
(1908–1988)**

Крупный специалист в области вычислительной математики, активный участник разработки первых атомных и термоядерных зарядов, работал по Атомному и Термоядерному проектам в Математическом институте АН СССР (1946–1964), трижды лауреат Государственной премии

# Обеспечение расчетных работ



**Ландау Лев Давидович (1908–1968)** — физик-теоретик, акад. АН СССР (1946), Герой Соц. Труда (1954). Разрабатывал теорию и проводил расчеты эффективности первых атомных бомб (РДС-1—РДС-5) и водородной бомбы РДС-6 (РДС-6Т и РДС-6С). Лауреат Ленинской (1962), Сталинских (1946, 1949, 1953) и Нобелевской (1962) премий

Под руководством Л.Д.Ландау был выполнен большой объем расчетных работ по определению энерговыделения первой атомной бомбы РДС-1, созданы физико-математические модели горения делящихся веществ с учетом газодинамики и переноса рентгеновского излучения.

Под руководством Л.Д.Ландау были выполнены основные расчеты энерговыделения «слойки» РДС-6с, результаты которых адекватно предсказали величину энерговыделения, полученного впоследствии в натурном испытании.

# Роль ядерно-физических исследований в создании «слойки»

«К началу работы над РДС-6с отсутствовали количественные данные об основных процессах, определяющих протекание взрыва водородного изделия. Наиболее обширные и полные исследования скорости реакции  $D+T$  были проведены в ФИАН (лаборатория Франка И.М.)... В результате этих работ с полной достоверностью установлен фундаментальный для РДС-6с факт исключительно высокого значения скорости термоядерной реакции  $D+T$ .

Не имеется опубликованных данных ни о величине сечения, ни о числе вторичных нейтронов при облучении урана-238 нейтронами энергии 14 Мэв. Эти величины неоднократно и тщательно измерялись в ФИАН и ИХФ, в ЛИПАН, в Гидротехнической лаборатории, в КБ-11... Сечение реакции образования трития и рассеяния нейтронов (на  $Li-6$ ) изучались в УФТИ и ИФП...».

# Роль турбулентного перемешивания

«Перемешивание идет в два этапа. В стадии обжатия поверхности раздела слоев 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 (Беленьким С.З.) с использованием экспериментальных данных КБ-11 и ЛИПАН. 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%...».

# Обеспечение симметрии обжатия РДС-6с

Важнейшее значение для успеха разработки имело эффективное и симметричное осуществление процесса имплозии. «Сжатие в РДС-6с протекает несколько иначе, чем в испытывавшихся ранее изделиях. Эти особенности процесса сжатия происходят вследствие наличия чередующихся легких и тяжелых слоев».

Результаты расчетов 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».

# А.Д.Сахаров о сотрудничестве с Яковом Борисовичем Зельдовичем



**Я.Б.Зельдович**

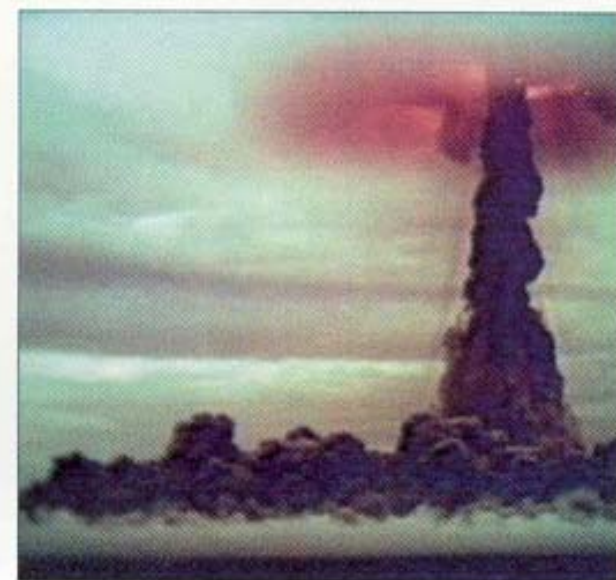
Руководитель теоретических работ КБ-11 по разработке РДС-1, член-корреспондент АН СССР с 1946 года, академик с 1958 года, внес выдающийся вклад в создание первых ядерных и термоядерных зарядов, Трижды Герой Социалистического Труда.

«Мне довелось многие годы провести бок о бок с Яковом Борисовичем. В чрезвычайно острой и напряженной обстановке тех лет – простые и товарищеские, в высшей степени доброжелательные отношения, и это при том, что мы с Игорем Евгеньевичем Таммом тогда как бы ворвались в его сферу со стороны, и требовалась незаурядная объективность, чтобы не стать в позу обиды; вместо этого от Якова Борисовича и его учеников мы получили неоценимую помощь и сотрудничество ради общего дела. А затем – плечом к плечу общий натиск 1954-1955 гг. Те, кто был участником тех событий вместе с нами..., понимают, что это значит».



# Испытание РДС-6с

12 августа 1953 года на Семипалатинском полигоне проведено испытание «слойки» РДС-6с. Испытание оказалось исключительно успешным, изделие сработало «по верхнему пределу» и оправдало все возлагавшиеся на него надежды: ожидания разработчиков и руководителей проекта, ожидания руководителей страны и атомной отрасли, ожидания А.Д.Сахарова.



# Нейтронно-ядерные и термоядерные процессы. Фундаментальные достижения разработки «слойки»

- Для первоначального нагрева термоядерного материала обеспечивался ядерный взрыв центрального ядра.
- Для зажигания термоядерного материала было важно, чтобы он также подвергался процессу имплозии.
- При установлении изотермического режима между термоядерным материалом и окружающим ураном реализуется дополнительное сжатие термоядерного материала вследствие выравнивания давлений (известно как процесс «сахаризации»).
- Горение термоядерного материала происходит в режиме термодинамического равновесия между излучением и веществом.
- Деление урана «термоядерными» нейтронами обеспечивает дополнительный рост температуры среды и ускорение термоядерных реакций, затем дополнительное деление урана и т.д.

# Развитие ядерного оружейного комплекса

25 марта 1951 года И.В.Курчатов вместе с А.П.Завенягиным и Н.И.Павловым подписал доклад И.В.Сталину о ходе работ по развитию атомной промышленности. В докладе говорилось:

- о работах по усовершенствованию и созданию новых конструкций атомных бомб;
- о производстве атомных бомб и их хранению;
- во втором квартале 1951 года в КБ-11 будет введен в действие завод № 551 производительностью 20 изделий в год;
- начато строительство складов для хранения атомных бомб;
- в работах ПГУ участвуют 112 научно-исследовательских учреждений и 2100 научных работников;
- большое место в исследовательской работе занимает изучение атомного ядра, для чего построено несколько ускорителей атомных частиц.

# Система научного руководства в атомной отрасли

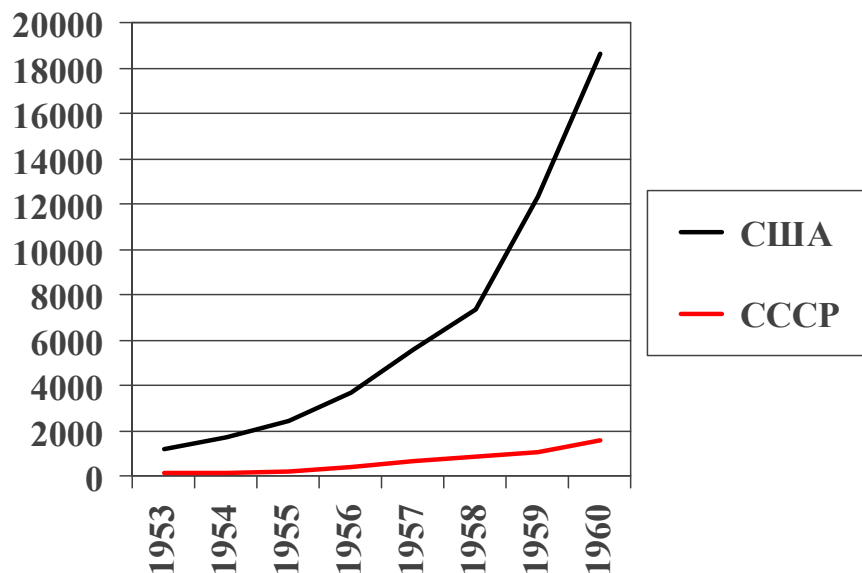
В приложении к докладу приведена созданная система научного руководства, обеспечившая огромную концентрацию научно-технической деятельности, реализованной в Атомном проекте к 1951 году.

В список ведущих научных руководителей атомных предприятий и направлений работ входили:

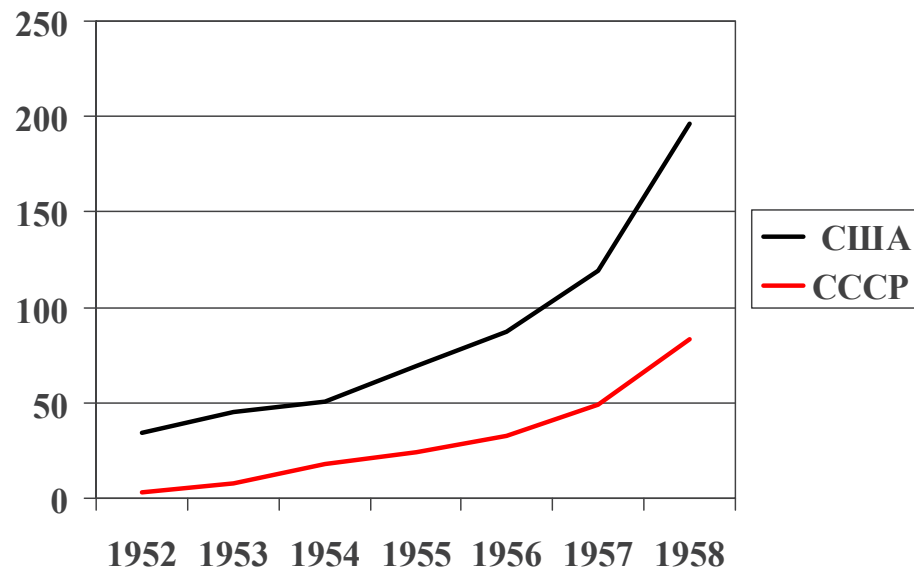
- Курчатов И.В. – академик, научный руководитель работ по атомной энергии
- Харитон Ю.Б. – член-корреспондент АН, научный руководитель по атомной бомбе
- Ландау Л.Д. – академик, научный руководитель расчетно-теоретических работ по водородной бомбе РДС-6т
- Алиханов А.И. – академик, научный руководитель атомных реакторов с тяжелой водой
- Бочвар А.А. – академик, научный руководитель металлургического производства плутония
- и еще 19 ведущих ученых Советского Союза

# Угроза термоядерной монополии США

## Ядерные арсеналы



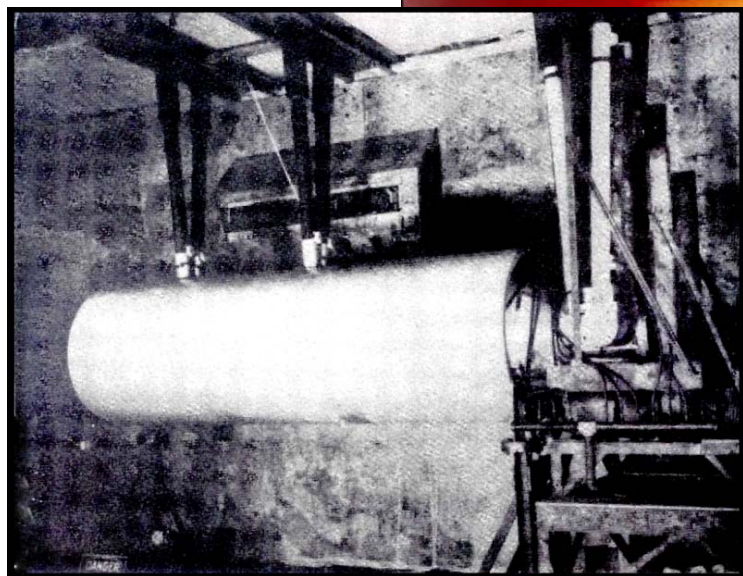
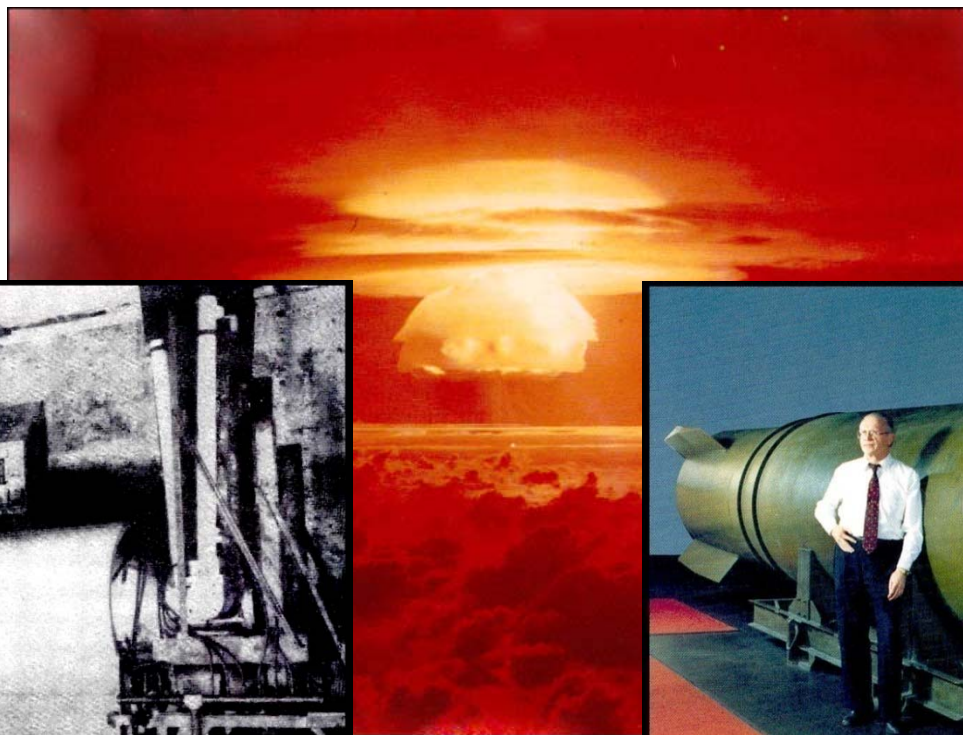
## Ядерные испытания



В середине 50-х годов ядерный арсенал США приобрел качество «тотального уничтожения». Общий мегатоннаж ЯБП США в 1956 году достиг ~ 9 тысяч мегатонн. Во время Второй мировой войны было израсходовано 4,5 Мт боеприпасов.

Это обстоятельство подчеркивает поистине историческое значение создания и успешного испытания 22 ноября 1955 года РДС-37.

# Мощные термоядерные заряды США



Термоядерный заряд для испытаний «Браво», мощность 15 Мт, масса ~ 12 т  
01.03.1954г.



Mark-17, мощность 15 Мт,  
принят на вооружение в 1954 г.  
Масса бомбы 19 т, длина 7.5 м, диаметр 1.6 м

# Первые этапы термоядерной программы США

## КОНСТРУКЦИЯ ДТВ

Детонатор представляет собой нормальную атомную бомбу пучечного типа, основанную на принципе ядерного деления. Активным веществом детонатора служит  $U^{235}$  40%-ной чистоты в количестве 71 кг. Заряд весом 43,64 кг. помещается в снаряде, выстреливаемом в мишень, которая выдает в себе остальные 22-24 кг. Заполнителем является В<sub>2</sub>O. Эта бомба имеет вычисленную эффективность, равную 5%. Заполнитель, прозрачный для излучения бомбы, окружен оболочкой, удерживающей излучение в заполнителе. Кроме того, эта оболочка экранирует промежуточный детонатор и основную заряд ДТВ от излучения.

Вышеуказанные количества  $U^{235}$ , применяемого в ДТВ, не окончательны и зависят от:

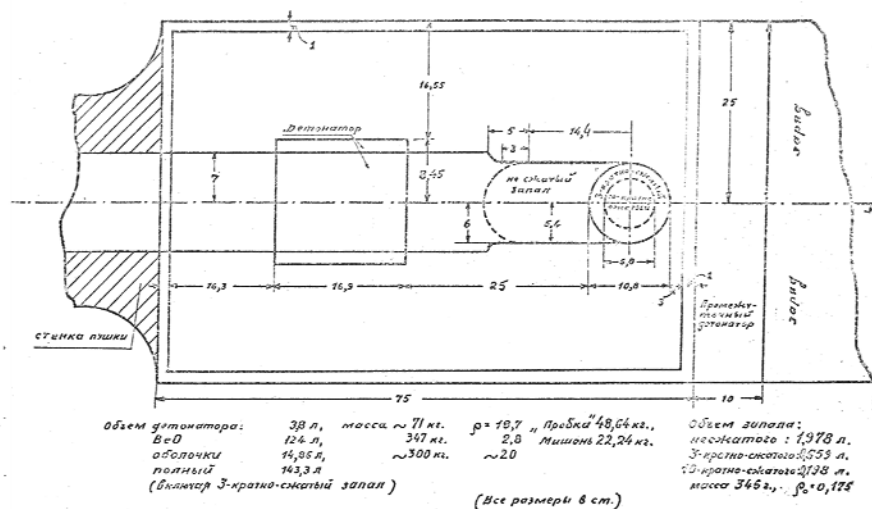


Схема Фукса-фон-Неймана с использованием радиационной имплозии для сжатия термоядерного горючего

# Первые этапы термоядерной программы США. Испытание Mike

09.03.1951г. С.Улам Э.Теллер. Отчет: «О гетерокаталитической детонации: гидродинамические линзы и детонационные зеркала»

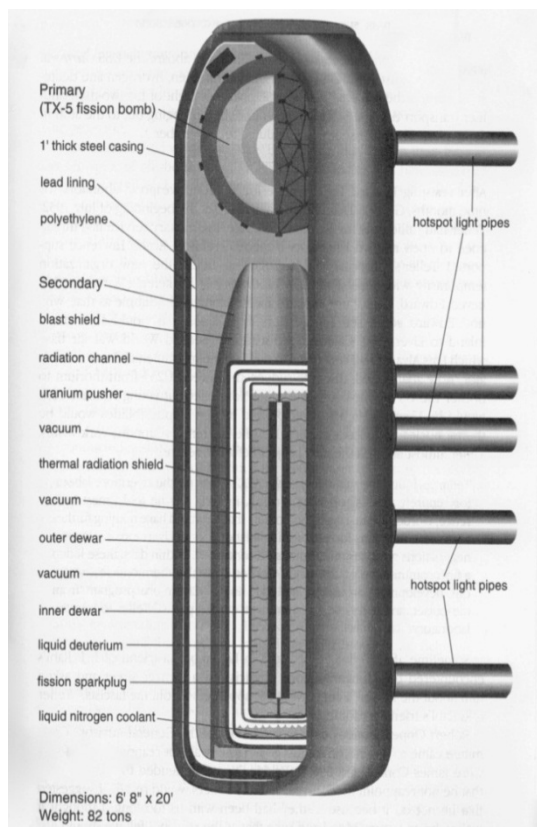
В июне 1951 года было решено начать производство дейтерида лития-6

В сентябре 1951 года было принято решение о разработке термоядерного устройства на новом принципе

Термоядерное горючее - жидкий дейтерий

Масса устройства 82 т

77% энерговыделения за счет деления



Двухступенчатый заряд мощностью 10,4 Мт, испытан 1 ноября 1952года

Перед испытанием энерговыделение Mike оценивалось в 5 Мт, но не исключалась возможность энерговыделения в (50-90Мт)

Успешное испытание Mike открыло дорогу к следующему решающему шагу - отработке в 1954 году мощных термоядерных зарядов в серии Castle



# Принцип радиационной имплозии

- Выход значительной части энергии при взрыве ядерного заряда (первичного модуля) в виде рентгеновского излучения
- Транспортировка энергии рентгеновского излучения к термоядерному модулю
- Имплозия термоядерного модуля с помощью энергии «доставленного» рентгеновского излучения

История работ над новым физическим принципом конструирования термоядерного оружия в СССР и созданием первой термоядерной бомбы РДС-37 полна драматизма.

Новый принцип пробил дорогу в жизнь в процессе интенсивных работ по другим направлениям исследований и конструирования термоядерного оружия.

В основу термоядерного модуля РДС-37 была положена термоядерная конструкция РДС-6с и физика её горения. Это была абсолютно оригинальная система, которая, как мы узнали спустя десятилетия, принципиально отличалась от первых термоядерных зарядов США.

# Основополагающие идеи, приведшие к разработке РДС-37

А.Д.Сахаров так описывает возникновение идеи радиационной имплозии 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, была 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»*

# Атомное обжатие

А.Д.Сахаров писал: «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 Малышев. Речь его была длинной и совершенно безрезультатной. Мы все остались при своем мнении. На нашу сторону решительно встал Курчатов».

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

# Завершение разработки РДС-37

8 июля 1955 года  
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  
энерговыведение.

## ОПЫТНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРОВЕРКИ

### ПРИНЦИПА ОКРУЖЕНИЯ

(Расчетно-теоретические работы)

Начальники теоретических секторов:

ЗЕЛЬЦОВИЧ Я.Б.

САХАРОВ А.Д.

Принимали участие в разработке темы:

Аврорин Е.Н.	Курилов И.А.
Адамский В.Б.	Павловский Е.С.
Александров В.А.	Попов Н.А.
Бабаев О.Н.	Рабинович Е.М.
Бондаренко Б.Д.	Ритус В.И.
Вахрамеев О.С.	Родигин В.Н.
Гандельман Г.М.	Романов О.А.
Гончаров Г.А.	Сахаров А.Д.
Дворовенко Г.А.	Трутнев О.А.
Дмитриев Н.А.	Феодоритов В.П.
Забабахин Е.И.	Феоктистов Л.П.
Заграфов В.Г.	Франк-Каменецкий Д.А.
Зельдович Я.Б.	Чуразов М.Д.
Климов В.Н.	Шумаев М.П.
Клинишов Г.Е.	
Козлов Б.Н.	
Кузнецова Т.Д.	

Составляли отчет:

Аврорин Е.Н.	<i>Аврорин</i>
Александров В.А.	<i>Александров</i>
Бабаев О.Н.	<i>Бабаев</i>
Гончаров Г.А.	<i>Гончаров</i>
Зельдович Я.Б.	<i>Зельдович</i>
Климов В.Н.	
Клинишов Г.Е.	<i>Клинишов</i>
Козлов Б.Н.	<i>Козлов</i>
Павловский Е.С.	<i>Павловский</i>
Рабинович Е.М.	<i>Рабинович</i>
Романов О.А.	<i>Романов</i>
Сахаров А.Д.	<i>А. Сахаров</i>
Трутнев О.А.	<i>Трутнев</i>
Феодоритов В.П.	<i>Феодоритов</i>
Шумаев М.П.	

# Завершение разработки РДС-37

*Во введении указывается, что «принцип окружения разрабатывался в теоретических секторах с 1950 года. В начале 1954 года 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.*

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

# Экспертная комиссия по состоянию разработки РДС-37

Выдающийся физик – теоретик XX века, академик, участник разработки первых термоядерных зарядов, работал в КБ-11 (ВНИИИЭФ) с 1950-1954г.), Герой Социалистического Труда, лауреат государственных премий, лауреат нобелевской премии по физике



**Игорь Евгеньевич Тамм  
(1895-1971)**

В КБ-11 01.07.1955 г. работала комиссия выдающихся учёных в составе: «И.Е.Тамм (председатель), М.В.Келдыш, М.А.Леонтович, А.Д.Сахаров, В.Л.Гинзбург, Я.Б.Зельдович, И.М.Халатников, которая ознакомилась с теоретическими и экспериментальными работами по изделию 37».

«На заседаниях комиссии были заслушаны доклады Сахарова, Зельдовича, Трутнева, Шумаева, Романова, Бабаева, Рабиновича, Гандельмана, Козлова, Александрова, Феодоритова, Сциборского, Замятина, Леденева и Тарасова и детально обсуждены проблемы, связанные с работой отдельных узлов изделия 37.»

# Экспертная комиссия по состоянию разработки РДС-37

Из заключения комиссии И.Е.Тамма:

*«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.*

*Эти исследования показывают возможность создания водородных бомб с большими мощностями в ограниченных габаритах и со значительно меньшими затратами активных веществ по сравнению с затратами в существующих изделиях.»*

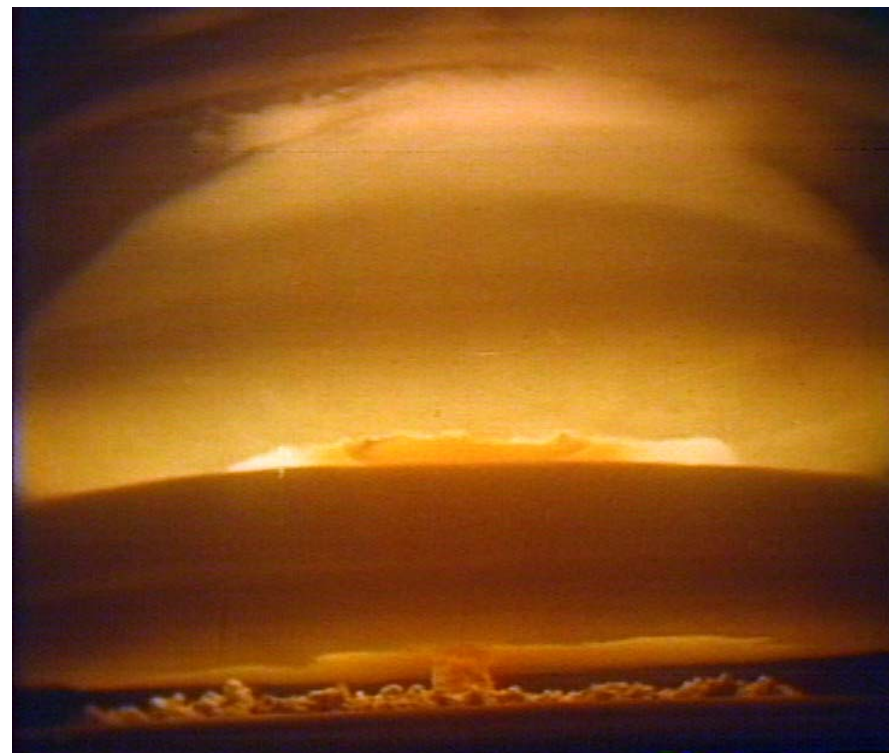
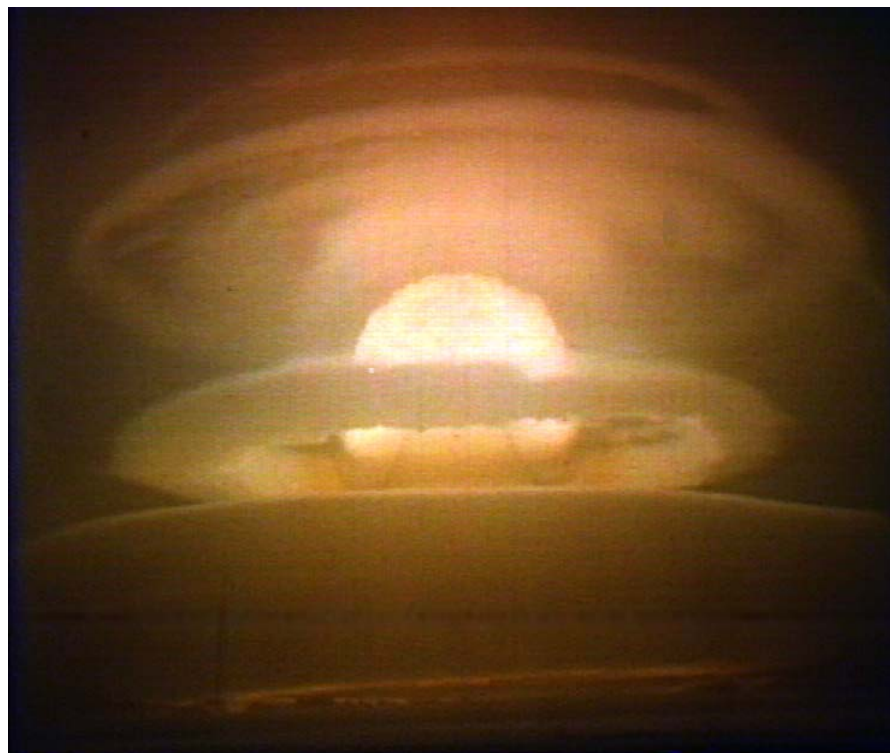
Уверенность разработчиков РДС-37 была настолько велика, что в интересах безопасности испытания было сделано специальное снижение мощности взрыва в два раза.

Уроки Тамма:

«...для всех нас было большим счастьем, что Игорь Евгеньевич оказался рядом с нами... За доской в служебном кабинете мы получали урок методики теоретической работы. На совещании у начальства мы получали урок деловой, человеческой и научной принципиальности. И в любой обстановке – урок добросовестности, трудолюбия и вдумчивости».

А.Д.Сахаров

# Создание РДС-37



Фазы взрыва РДС-37



# Создание РДС-37

## Постановление СМ СССР № 1253-634 «О присуждении звания лауреата Ленинской премии ученым тт. Зельдовичу Я.Б., Сахарову А.Д., Харитону Ю.Б. и Курчатову И.В.»

г. Москва, Кремль 7 сентября 1956 г.

Учитывая, что создание мощной водородной бомбы на новом физическом принципе является выдающимся достижением советской науки и техники,

Совет Министров Союза ССР ПОСТАНОВЛЯЕТ:

1. За разработку физических принципов и теоретических расчетов изделия РДС-37 присудить звание лауреата Ленинской премии:

Зельдовичу Якову Борисовичу – члену-корреспонденту Академии наук СССР, заместителю научного руководителя КБ-11 Министерства среднего машиностроения

Сахарову Андрею Дмитриевичу – академику, заместителю научного руководителя КБ-11 Министерства среднего машиностроения и выдать им денежную премию в размере 75 тыс. рублей каждому.

2. За разработку физических принципов и ядерно-физические исследования по созданию изделий РДС-27 и РДС-37 присудить звание лауреата Ленинской премии:

Харитону Юлию Борисовичу – академику, научному руководителю и главному конструктору КБ-11 Министерства среднего машиностроения

Курчатову Игорю Васильевичу – академику, председателю Научно-технического совета Министерства среднего машиностроения и выдать им денежную премию в размере 75 тыс. рублей каждому.

Председатель Совета Министров Союза ССР Н. Булганин  
Управляющий делами Совета Министров СССР А. Коробов

Комитету по Ленинским премиям

РА СЕКРЕТНО  
СОБЕРЕЖИТЬ

**СОВЕТ МИНИСТРОВ СССР**  
ПОСТАНОВЛЕНИЕ  
от 7 сентября 1956 г. № 1253-634  
Москва, Кремль

**ВЫПИСКА:**  
О присуждении звания лауреата Ленинской премии ученым тт. Зельдовичу Я.Б., Сахарову А.Д., Харитону Ю.Б. и Курчатову И.В.

Совет Министров Союза ССР ПОСТАНОВЛЯЕТ:

1. За выполнение специального задания Правительства присудить звание лауреата Ленинской премии:

Зельдовичу Якову Борисовичу	- члену-корреспонденту Академии наук СССР
Сахарову Андрею Дмитриевичу	- академику

и выдать им денежную премию в размере 75 тыс. рублей каждому.

2. За выполнение специального задания Правительства присудить звание лауреата Ленинской премии:

Харитону Юлию Борисовичу	- академику
Курчатову Игорю Васильевичу	- академику

и выдать им денежную премию в размере 75 тыс. рублей каждому.

Председатель Министров Союза ССР Н. Булганин  
Управляющий делами Совета Министров СССР А. Коробов

УД

Постановлением Совета Министров СССР от 8 сентября 1956 года № 22 Сахаров А.Д. присужден звание лауреата Ленинской премии

СЕКРЕТНАЯ ЧАСТЬ

Списки копий и выписки из настоящего постановления возвращаются

# Радиационная газодинамика. Фундаментальные достижения

- Механизмы и моделирование преобразования энергии нейтронно-ядерных реакций взрыва ядерного заряда в рентгеновское излучение и энергию вещества, находящегося в ЛТР с энергией излучения в условиях динамического развития взрыва. Экспериментальные подтверждения моделей в натуральных экспериментах.
- 2D-модели различного уровня взаимодействия рентгеновского излучения с плазменными средами.
- Исследования процессов отражения и прохождения рентгеновского излучения через слоистые конфигурации в условиях сложной динамики.
- Исследования трансформации энергии рентгеновского излучения в поле давлений, обжимающего термоядерный модуль.

# Решающий шаг к миру

**СОЗДАНИЕ в СССР термоядерного оружия явилось переломным моментом в середине XX века, которое сделало третью мировую войну невозможной.**

Физики – участники водородного проекта – первыми поняли, что они создали оружие Сдерживания и донесли эту точку зрения до руководителей страны. В 1954 –1956 гг. политики трансформировали это положение в тезис о мирном сосуществовании

Первые образцы термоядерного оружия были созданы в СССР и США практически одновременно и имели принципиально отличные конфигурации термоядерных узлов.

В середине 50-х годов численность армии была уменьшена с 5763000 человек в 1955 году до 3623000 человек в 1958 году.

# Фундаментальные достижения в развитии идей А.Д.Сахарова по термоядерному оружию

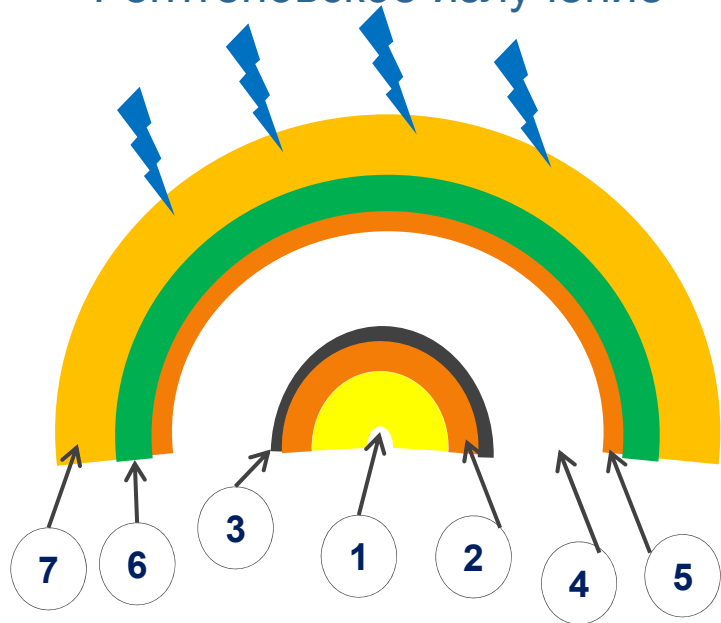
- Механизмы и моделирование преобразования энергии нейтронно-ядерных реакций взрыва ядерного заряда в рентгеновское излучение и энергию вещества, находящегося в ЛТР с энергией излучения в условиях динамического развития взрыва.
- 2D-модели различного уровня взаимодействия рентгеновского излучения с плазменными средами.
- Исследования процессов отражения и прохождения рентгеновского излучения через слоистые конфигурации в условиях сложной динамики.
- Исследования трансформации энергии рентгеновского излучения в поле давлений, обжимающее термоядерный модуль.

# Фундаментальные достижения в развитии идей А.Д.Сахарова по термоядерному оружию

- Управление потоками излучения и газодинамическими потоками как высокотемпературной, так и низкотемпературной высокоплотной плазмы.
- Определение зон устойчивости радиационной имплозии термоядерных модулей и физических факторов, выводящих за пределы этих зон.
- Создание специализированных термоядерных зарядов.
- Создание нескольких поколений термоядерных зарядов для практически всех видов Вооруженных Сил.

# Радиационная газодинамика. Термоядерное зажигание в условиях инерциального удержания плазмы.

Рентгеновское излучение



В РФЯЦ-ВНИИЭФ проблема была решена в 1962 году в условиях радиационной имплозии.

1. Твёрдое термоядерное горючее – дейтерид лития
2. Оболочка из золота
3. Инертная оболочка
4. Материал с малым  $Z$
5. Оболочка из материала с большим  $Z$
6. Слой из материала с средним  $Z$
7. Слой из материала с малым  $Z$

Зажигание термоядерного горючего было получено при температуре РИ  $\sim 1\text{keV}$   
Регистрация термоядерного зажигания получена по анализу активации золота термоядерными нейтронами

Это – уникальное достижение, основанное на фундаментальных выводах об исключительной роли симметрии обжатия ТИСа и возможности ее практического обеспечения.

Вконце 1962 года это достижение было использовано для инициирования термоядерного заряда мощностью  $\sim 1\text{Mt}$

# А.Д.Сахаров о лазерном термоядерном синтезе

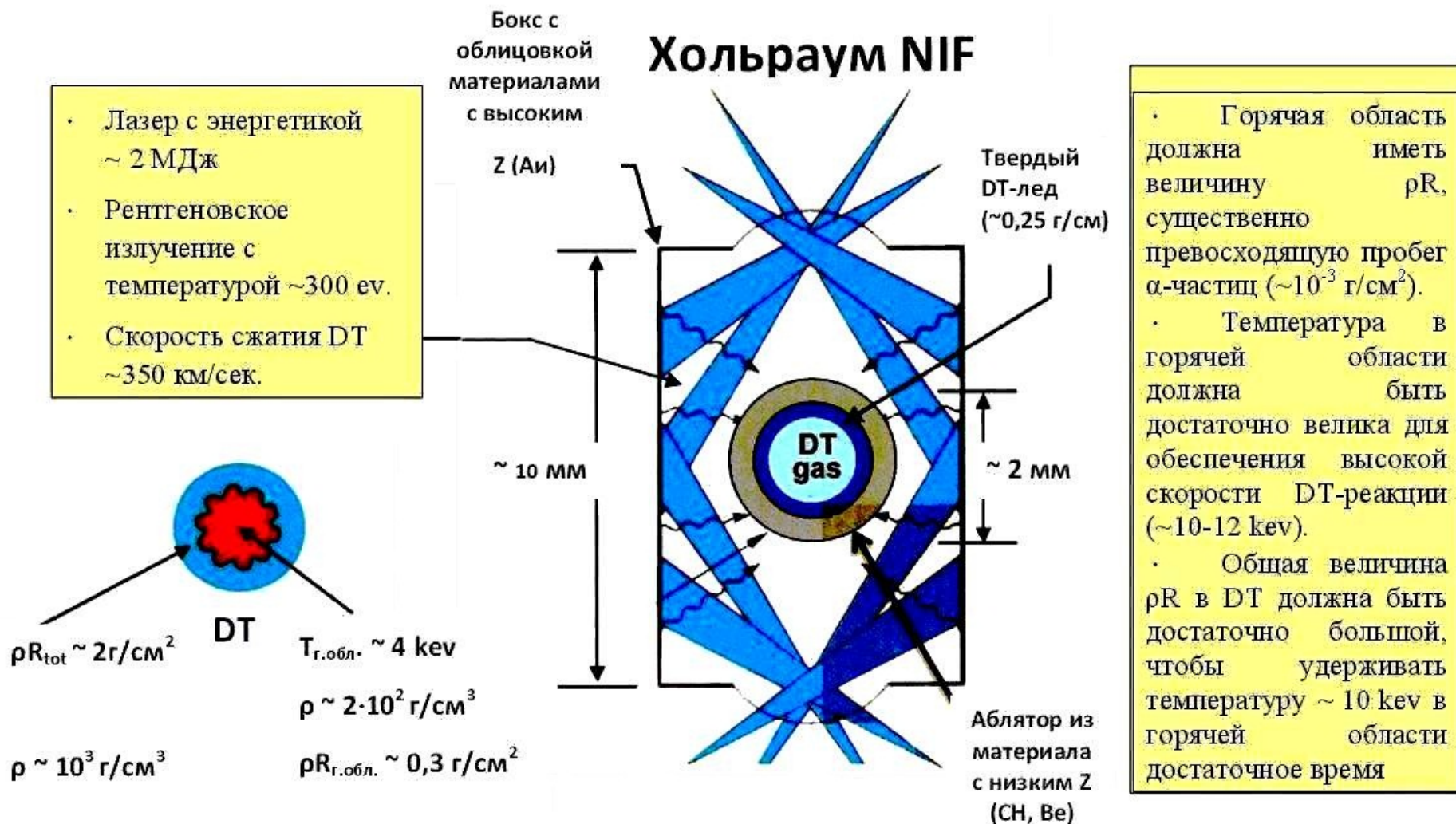
«В 1960-1961 гг. я еще раз выступил с предложением, относящимся к управляемой термоядерной реакции. В это время поступило сообщение о создании Мейманом в США первого лазера на рубине. Я выступил на объекте с докладом, в котором обосновывал возможность использования лазера для возбуждения термоядерной реакции в маленьких шариках, содержащих термоядерное горючее, и обжимающихся за счет 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 расчетов на ЭВМ, проведенных моими сотрудниками. В качестве возможных областей использования этого принципа я назвал энергетику».

# Проблемы исследований радиационной газодинамики на мощных лазерных установках

- Нам необходимо усилить экспериментальную базу для моделирования в лабораторных условиях особенностей физических процессов, которые имеют ту же природу, что и их аналоги в условиях радиационной имплозии. Такими установками являются мощные лазеры. Необходим лазер с энергетикой  $\sim 2$  Мдж.
- Установки этого класса существуют в США и во Франции, строятся в Великобритании и КНР. Нас очень беспокоит наше отставание, хотя вплоть до середины 90-х годов мы входили в этой области в число мировых лидеров.

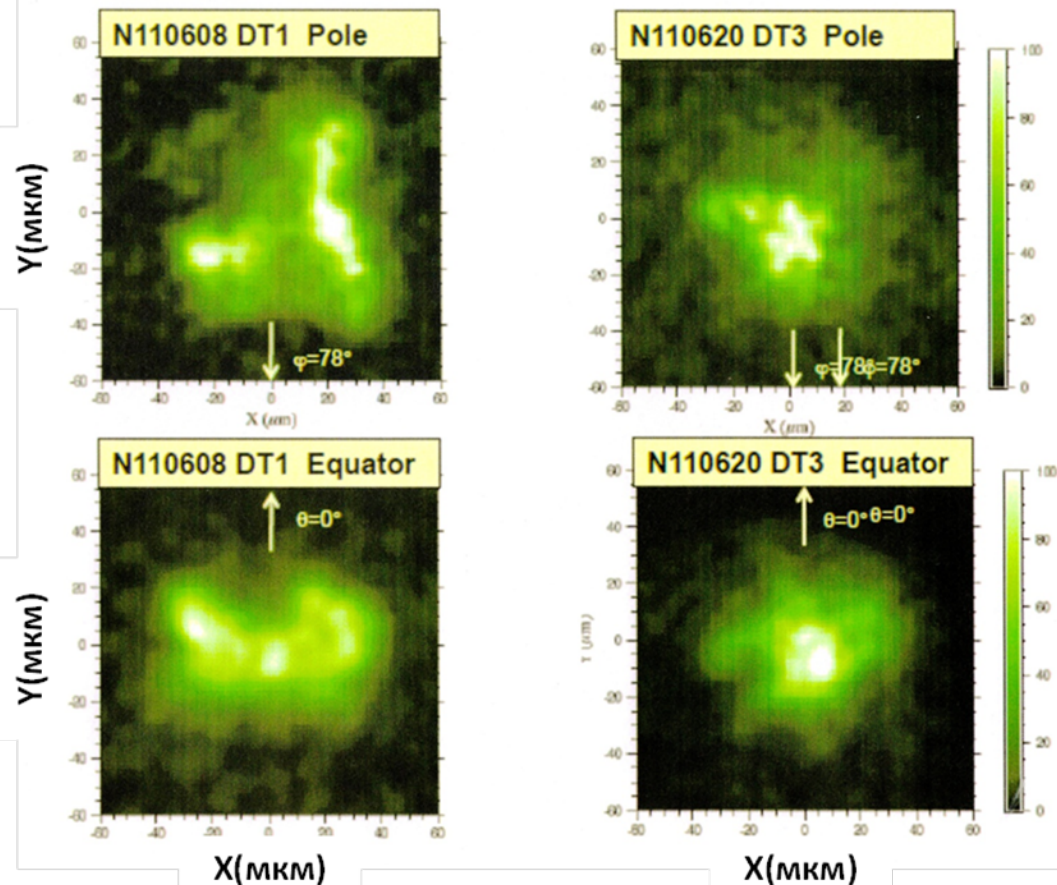


# Фундаментальные и поисковые исследования в DOE (Министерство энергетики США)



# Реальное сжатие термоядерной мишени NIF

Изображение в рентгеновских лучах трёхмерных искажений горячей области, которые не могут быть определены в рамках 2D-моделирования



Малые размеры «горячих точек» и существенно трёхмерная имплозия центра термоядерной мишени являются причиной отсутствия зажигания на NIF к настоящему времени



*А. Сахаров*

«А.Д.Сахаров является необычайно одаренным физиком-теоретиком и в то же время замечательным изобретателем. Он достиг крупнейших результатов, поставивших его на первое место в Советском Союзе и во всем мире в важнейшей области физики».

И.В.Курчатов. 1953 г.