

ИЗ ИСТОРИИ ФИЗИКИ

Исследование изэнтропической сжимаемости и уравнений состояния делящихся материалов

Л.В. Альтшулер, Я.Б. Зельдович, Ю.М. Стяжкин

Во ВНИИЭФ в 1957 г. для экспериментального изучения сжимаемости делящихся материалов при давлениях в десятки и сотни миллионов атмосфер был предложен новый способ исследования: "Метод невзрывных цепных реакций (НЦР)". Совокупность результатов исследования сжимаемости плутония и урана, полученных в опытах НЦР и методом ударных волн, позволила построить уравнение состояния этих материалов до рекордно высоких давлений и плотностей.

PACS numbers: 01.60.+q, 28.70.+y, 47.40.-x

В последние годы на переговорах в Женеве по Договору о всеобъемлющем запрещении испытаний ядерного оружия и в открытых публикациях стал употребляться термин "Гидроядерные эксперименты".

Этот термин введен американской стороной и связывается с возможностью проведения исследований работы атомных зарядов с малым количеством выделяемой во взрывных опытах ядерной энергии — менее 4 фунтов тротилового эквивалента (ТЭ).

Предложенный и применяемый во ВНИИЭФ аналогичный способ исследований носит название "Метод невзрывных цепных реакций — НЦР".

В данном сообщении рассказывается о том, как возник метод НЦР и о проведенных в те годы наших исследованиях.

В пятидесятых годах одним из важнейших вопросов являлось создание уравнений состояния делящихся материалов. Использование в сферических конструкциях химической взрывчатки позволяет получать высокую концентрацию энергии в центре системы. Возникающие при этом в активной зоне (делящемся материале) высокие давления в десятки миллионов атмосфер относились к совершенно новой и неисследованной области состояний.

Для расчетного описания процесса сжатия необходимо решать систему уравнений гидродинамики сжимаемых сред, составной частью которой является уравнение

состояния вещества, устанавливающее связи между плотностью, давлением и внутренней энергией.

Данные для построения уравнений состояния делящихся материалов с необходимой точностью могли быть получены только из экспериментов.

Экспериментальное изучение свойств плутония и урана методом ударных волн, начатое в 1949–1954 гг. Л.В. Альтшулером, К.К. Крупниковым и С.Б. Кормером и продолженное в дальнейшем в их отделах, позволило получить информацию об ударных адиабатах и некоторые данные о ходе изэнтроп на начальном участке сжатия для этих материалов.

Однако, актуальным оставалось исследование процессов изэнтропического сжатия или близкого к изэнтропическому, обеспечивающих максимальные сжатия активной зоны. Было очевидно, что лучшим и естественным инструментом для исследования сжатий делящихся материалов должен быть сферический заряд. Но каким образом получать информацию о величине сжатой активной зоны, расположенной в центре взрывающегося заряда?

Способ исследования сжимаемости делящихся материалов в сферических зарядах был предложен во ВНИИЭФ в 1957 г. авторами данного сообщения и по рекомендации Ю.Б. Харитона назван методом невзрывных цепных реакций (НЦР). Сущность предложения 1957 г. — проведение взрывных опытов с зарядами, содержащими делящийся материал, но без макроскопического выделения ядерной энергии. Оказалось, что именно такие опыты дают наиболее полную и точную информацию об уравнениях состояния делящихся материалов. Исследования гидродинамической стадии работы сферического заряда ведутся в опытах НЦР в некотором диапазоне масс активной зоны, когда выделяющаяся ядерная энергия еще столь мала, что практически не влияет на процессы сжатия и разлета активной зоны.

Интенсивность размножения нейтронов и, следовательно, интегральное число делений во взрывном опыте непосредственно зависят от максимальных сжатий

Л.В. Альтшулер. Научно-исследовательский центр теплофизики импульсных воздействий научного объединения ИВТАН, 127412 Москва, ул. Ижорская 13/19, Россия
Тел. (095) 485-79-88
Факс (095) 485-79-90

Я.Б. Зельдович, Ю.М. Стяжкин. Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (ВНИИЭФ), РФЯЦ, 607200 Саров (Арзамас-16), Нижегородская обл., Россия
Факс (83130) 545-65

Статья поступила 18 ноября 1996 г.

активной зоны. Количественная связь между зарегистрированным в опыте числом нейтронов деления и достигнутыми плотностями устанавливается с помощью гидродинамических и нейтронных расчетов испытанной конструкции.

Таким образом, в опыте НЦР исследуются процессы сжатия активной зоны, идущие благодаря энергии продуктов взрыва химического ВВ, а способ получения информации о достигнутых сжатиях — регистрация рождающихся в активной зоне нейтронов.

Первые опыты НЦР по исследованию изэнтропической сжимаемости урана, приведенные в марте 1958 г., подтвердили перспективность нового направления. В 1960–1963 гг. был выполнен большой комплекс экспериментальных и расчетно-теоретических работ. Основным научным достижением этих исследований является получение экспериментальных данных об изэнтропической сжимаемости урана и плутония до рекордно высоких давлений.

Построенные в 1964 г. уравнения состояния делящихся материалов описывают всю совокупность имеющихся экспериментальных данных, полученных как при исследованиях ударных адиабат, так и при исследованиях максимальных сжатий активной зоны методом НЦР.

Один из авторов (Я.Б. Зельдович) мечтал утвердить приоритет российской науки изложением принципов и перспектив применения метода НЦР.

Решение сложной научной задачи по созданию уравнений состояний делящихся материалов в области высоких давлений и плотностей явилось итогом работы и научных достижений большого коллектива ученых и инженеров разных специальностей.

Кроме авторов в обосновании редакций опытов НЦР, интерпретации результатов исследований и построении уравнений состояния плутония и урана принимали участие физики А.Б. Сельверов, Б.Л. Глушак, А.А. Губкин, А.К. Шаненко, а в нейтронных расчетах физик-теоретик Е.С. Павловский.

Во главе с руководителями отделений Ю.С. Замятинным и А.И. Веретенниковым группой физиков: В.М. Горбачевым, Е.К. Бонюшкиным, Ю.А. Спеховым, Н.А. Уваровым, Л.Д. Усенко и другими были разработаны новые методики физических измерений и выполнена регистрация параметров цепных реакций деления в опытах НЦР.

При выборе вида уравнений состояния были использованы работы С.Б. Кормера, предложившего уравнение состояния с электронными составляющими и переменной теплоемкостью решетки.

Теоретические работы московских ученых Д.А. Киржница и Н.Н. Калиткина позволили физически обоснованно описать экспериментальные данные по изэнтропической сжимаемости делящихся материалов в широком диапазоне давлений и плотностей.

Огромный объем гидродинамических и нейтронных расчетов различных конструкций испытанных зарядов выполнен математиками И.А. Адамской, А.И. Соколовой, И.Ф. Шаровой и в первые годы — сотрудниками ИПМ МИАН А.К. Семендяевым и А.В. Забродным.

Руководителями первых серий полигонных испытаний были главный конструктор ВНИИЭФ Е.А. Негин и начальник отделения И.Ф. Турчин. Лабораторные исследования работы зарядов выполнены в отделе Л.М. Тимонина.

Огромная и важная для разработчиков зарядов работа по созданию уравнений состояния делящихся материалов стала возможной благодаря постоянной помощи и поддержке со стороны руководства ВНИИЭФ: директора Б.Г. Музрукова, научного руководителя Ю.Б. Харитона, главного конструктора Е.А. Негина и первого заместителя главного конструктора Д.А. Фишмана.

A study of the isentropic compressibility and equations of states of fissionable materials

L.V. Al'tshuler

*Pulsed Thermal Physics Research Centre at the Institute for High Temperatures, Russian Academy of Sciences,
ul. Izhorskaya 13/19, 127412 Moscow, Russia
Tel. (7-095) 485-79 88
Fax (7-095) 485-79 90*

Ya.B. Zel'dovich, Yu.M. Styazhkin

*All-Russian Research Institute of Experimental Physics (VNIIEF),
607200 Sarov (Arzamas-16), Nizhniy Novgorod Region, Russia
Fax (7-095) 545-65*

In 1957, to enable the experimental study of fissionable materials at pressures of tens and hundreds atmospheres, a new approach, which came to be known as the "Nonexplosive Chain Reaction" method, was suggested in VNIIEF. Based on the compressibility data obtained with the NCR and shock wave methods, the equations of states of plutonium and uranium at record high pressures and densities were constructed.

PACS numbers: 01.60.+q, 28.70.+y, 47.40.-x

Received 18 November 1996