

ХАРАКТЕРНЫЙ РАДИОАКТИВНЫЙ СЛЕД ВОДОРОДНОЙ БОМБЫ

Ларс-Эрик Де Гир

Долгое время считалось, что изобретение Теллера и Улама, сделанное в феврале 1951 г. и позволившее осуществить создание полномасштабного устройства термоядерного синтеза, могло быть раскрыто на основе тщательного анализа остатков, которые после атмосферных испытаний разносились по всему миру. Эта тема заняла часть статьи в журнале "Бюллетень ученых-атомщиков" (январь-февраль 1990 г.), написанной Даниэлем Хиршем и Уильямом Мэтьюзом.¹ Их заключение, появившееся во многом благодаря интервью с Гансом Бете, свелось к тому, что секрет водородной бомбы попал в СССР не через шпиона Клауса Фукса, а скорее благодаря "Майку" - первому испытанию термоядерного устройства, основанного на идеях Теллера-Улама. Статья в журнале и ее расширенный вариант, выпущенный Комитетом по наведению мостов (Лос-Анджелес)² доказывают, что наблюдение очень высоких нейтронных флюенсов при взрыве, а это можно определить на основе анализа состава остатков, приведет компетентного ученого к сути секрета. В данной статье предполагается, что этого недостаточно, и выдвигается предложение о том, чем надо дополнить картину наряду с идеей о высоких флюенсах, чтобы как можно легче направить компетентного аналитика на правильный путь. Это предложение подтверждается экспериментальными данными, но не от "Майка", а от китайского термоядерного взрыва, проведенного в 1976 г. Статья основана на материалах, которые были подготовлены, но не опубликованы, в 1981 г., вскоре после первого появления спектроскопических данных о китайском взрыве 1976 г.

Автор работает в шведском национальном исследовательском управлении по вопросам обороны.

ВВЕДЕНИЕ

До осени 1979 г. принципы создания полномасштабной водородной бомбы были более или менее неизвестны публике, не допущенной к секретной информации ядерных держав. Соединенные Штаты испытали свою первую водородную бомбу под кодовым названием "Майк" 1 ноября 1952 г. на атолле Эниветок в Тихом океане менее, чем через два года после того, как была заложена идея Теллера-Улама. Многие полагают, что Советский Союз весьма скоро после этого (22 ноября 1955 г.) сумел повторить успех отчасти и потому, что расшифровал состав остатков "Майка".^{3,4} Как заявил Бете,¹ англичане в свою очередь расшифровали советские остатки и провели успешное испытание своего первого термо-

¹ Daniel Hirsh and William G. Mathews, "The H-Bomb: Who Really Gave Away The Secret," Bulletin of the Atomic Scientists, 46, January/February 1990, p.23.

² Daniel O.Hirsh and William G. Mathews, "Fuchs and Fallout: New Insights into the History of the H-Bomb," report issued by the Committee to Bridge the Gap, Los Angeles, California, 1990.

³ Это отрицалось Андреем Сахаровым - создателем советской водородной бомбы, в его воспоминаниях (см. ссылку 4), где он писал, что были собраны образцы остатков "Майка" в ноябре 1952 г., но они были потеряны из-за химика, который "в состоянии эмоционального потрясения, связанного с личными заботами, механически вылил раствор в канализацию." Однако после этого, где-то в 1953-54 гг. Сахаров и его коллеги пришли к т.н. "третьей идее", которую он назвал "новой и совершенно оригинальной". "Третья идея" была концепцией, которая проверялась во время первого советского термоядерного взрыва 22 ноября 1955 г. Исходя из сходства американских и советских разработок, возникает соблазн предположить, что "третья идея" была чем-то очень близким к изобретению Теллера-Улама.

⁴ Andrei Sakharov, Memoirs (New York: Alfred A. Knopf, 1990), pp.158,182.

ядерного устройства на острове Рождества в Тихом океане 15 мая 1957 г.⁵ Французы, по видимому, не собирали и не анализировали достаточно тщательно остатки от взрывов в других странах. По крайней мере, они не делали этого до того, пока не вступил в силу Договор 1963 г. о запрещении ядерных испытаний в трех средах, прекративший американские, советские и английские испытания в атмосфере и положивший конец выбрасыванию секретов водородной бомбы на ветер. Франция затратила восемь лет от первого испытания атомной бомбы в Сахаре 13 февраля 1960 г. до первого успешного термоядерного испытания на атолле Моруроа в южной части Тихого океана 24 августа 1968 г.⁵ Китай продемонстрировал очень быстрый прогресс: его первое испытание атомной бомбы состоялось 16 октября 1964 г., а первое испытание термоядерной бомбы - 17 июня 1967 г.; оба они были проведены на полигоне Лобнор в провинции Синьзян. Административный директор проекта китайской водородной бомбы Ли Кси Яо сказал, что Китай не смог достать "никакой секретной научной или технической информации, относящейся к разработке водородной бомбы", но он извлек выгоду от анализа опубликованных за границей докладов, имевших отношение к этому вопросу.⁶ Но он заявил также, что китайцы в начале своей термоядерной программы "владели всей фундаментальной информацией, которая была использована для создания водородной бомбы в США, СССР и Англии".⁶ Это может подразумевать, что они получили основополагающие идеи от русских еще до прекращения программы их ядерного сотрудничества. Если китайцы дошли до рабочей схемы благодаря какой-то помощи, обдумывая свою и анализируя иностранную литературу, то вполне могло бы оказаться, что их первое полномасштабное термоядерное испытание, проведенное в атмосфере, оказало решающую помощь Франции для конструирования ее первого действующего устройства, испытанного в августе следующего года.

Если подвести итоги, то можно сказать с большой вероятностью, что быстрое распространение технологии термоядерного оружия в 50-х и 60-х гг. было основано на анализе информации, рассеянной по всему миру остатками взрывов. Поэтому очень интересно понять, что именно информативно в осадках от термоядерного взрыва. Этот загадочный вопрос привлекает еще больше любопытства, когда читаешь высказывания разных авторов, принимавших участие в американской термоядерной программе 40-х и 50-х гг. Мое побуждение решить эту загадку родилось на семинаре, проведенном в 1974 г. Карсоном Марком - руководителем теоретического отдела в Лос Аламосе в период между 1947 г. и 1973 г. Когда Станислав Улам описывает в своих воспоминаниях,⁷ как он подошел к своей остроумной идее создания действующего термоядерного устройства, он пишет:

"...Я подумал об итеративной схеме. После того, как я привел в порядок свои мысли и набросал не очень конкретные тезисы, я пошел к Карсону Марку, чтобы обсудить их... На следующее утро я разговаривал с Теллером."

Марк, который несомненно хорошо знал идею Теллера-Улама, почему-то оставил у участников семинара ощущение, что можно разузнать "секрет водородной бомбы" на основе анализа осадков. Поскольку я работал в лаборатории, занимающейся анализом осадков от атмосферных взрывов (главным образом в целях верификации Договора о запрещении испытаний в трех средах), я подумал, что возможно ответ хранится в наших архивах. Становилось действительно интригующим попытаться решить эту тайну. В октябрьском (1975 г.) выпуске журнала "Сайнтифик Америкэн" была опубликована статья Герберта Йорка - первого директора Ливерморской национальной лаборатории в Калифорнии, под названием "Споры о водородной бомбе".⁸ Ее главная задача была защитить решение Роберта Оппенгеймера и Консультативного комитета Комиссии по атомной энергии США, не поддержавших решительную программу разработки супербомбы в конце 50-х гг. Статья утверждает, что сама демонстрация американского действующего термоядерного устройства подтолкнула русских

⁵ Ivo Zander and Rolf Araskog, "Nuclear Explosions 1945-1972. Basic Data," report A 4505-A1 issued by the National Defense Research Institute, Stockholm Sweden, 1973.

⁶ John Wilson Lewis and Xue Litai, *China Builds the Bomb* (Stanford, California: Stanford University Press, 1968), p. 199.

⁷ Stanislaw M. Ulam, *Adventures of a Mathematician* (New York: Charles Scribner's Sons, 1976), pp. 219-220.

⁸ Herbert F. York, "The Debate over the Hydrogen Bomb," *Scientific American*, October 1975, p. 106.

последовать гонке вооружений. Она указывает на возможность того, что русским помогли анализы остатков "Майка". Йорк пишет:

"..они получили мощнейший стимул для осознания после нашего испытания в ноябре 1952 г., что существуют гораздо более лучшие, а возможно и новые пути конструирования водородных бомб... Тщательный анализ радиоактивных осадков от взрыва "Майк" мог с успехом дать им полезную информацию о том, в каком направлении двигаться к этой цели."

В 1976 г. расширенный вариант этой статьи был опубликован в книге "Советники: Оппенгеймер, Теллер и Супербомба".⁹ В ней Йорк так же ссылается на Роберта Оппенгеймера и его точку зрения 1952 г. о том, что для безопасности США было бы полезнее отложить на неопределенный срок испытание "Майк". Как сообщают, Оппенгеймер сказал по этому поводу в 1954 г. следующее: "Мы думали, что они получают из этого массу информации". (В действительности, эта цитата уже была опубликована в 1954 г. при расшифровке материалов слушаний в Комиссии по атомной энергии США по поводу разрешения Оппенгеймеру продолжать заниматься секретной деятельностью.¹⁰ Несомненно, даже еще до испытания было ясно, что полезная информация останется запечатленной в остатках взрыва и свободно распространится по всему свету. Это "послание" вряд ли могло быть основано на каких-то тайных реакциях или очень сложных функциях состава радионуклидов. Ясно, что имелось в виду нечто совершенно очевидное.

РАССЕКРЕЧИВАНИЕ

После истории с пентагоновскими документами в 1971 г, правительство США провело крупную программу рассекречивания своих документов. В ходе этого процесса произошло несколько промахов и ряд отчетов с ценной информацией, относящейся к ядерному оружию, по ошибке оказался доступным общественности. Особенно это касалось двух ливерморских отчетов: UCRL-4725 "Разработка оружия в июне 1956 г." и UCRL-5280 "Разработка оружия в июне 1958 г.", в которых, как сообщается, содержалось много подробной информации о том, как сконструировать термоядерное оружие. В конце 70-х годов ряд лиц начали свои собственные исследования ядерного вооружения. Например, это был Дмитрий Ротов, который при посещении открытых залов библиотеки в Лос Аламосе обнаружил несколько весьма информативных, но уже рассекреченных отчетов. Это был Ховард Морленд, который в марте 1979 г. попытался опубликовать статью под названием "Секрет водородной бомбы. Как мы его получили и почему мы рассказываем об этом" в либеральном журнале "Прогрессив", выходящем в штате Висконсин. Такие действия возбудили американское правительство, которое попыталось запретить публикацию через суд. Это был также Чарльз Хансен, который написал письмо со многими деталями бомбы, и многие газеты его опубликовали как раз в разгар истории с "Прогрессивом". Правительство капитулировало и статья Морленда была в конце концов опубликована в ноябре 1979 г.¹¹ Такое развитие событий заставило американское правительство вскоре (сентябрь 1980 г.) рассекретить некоторые основные фактические данные о термоядерных конструкциях, включая изобретение Теллера-Улама. Тогда было сказано, что одаренная большим воображением идея Теллера-Улама заключалась в том, чтобы использовать излучение ядерного взрыва и осуществить перенос энергии для сжатия и поджига физически изолированного компонента, содержавшего термоядерное топливо. Эта концепция и другие концепции, использовавшиеся ранее для классической супербомбы, очень подробно описаны Хиршем и Мэтьюзом^{1,2} и нет нужды повторять их в нашей статье. Позвольте только привести перечень трех важнейших характеристик прорыва 1951 г.

- Термоядерное топливо перед поджигом сжимается.
- Энергия переносится от первичного ядерного компонента ко вторичному термоядерному тепловым рентгеном ядерного взрыва.

⁹ Herbert F. York, *The Advisors, Oppenheimer, Teller & the Superbomb* (San Francisco, California: W.H. Freeman and Company, 1976), p. 100.

¹⁰ "In the Matter of J. Robert Oppenheimer", transcript of hearing before personnel security board of the AEC, US Government Printing Office, 1954.

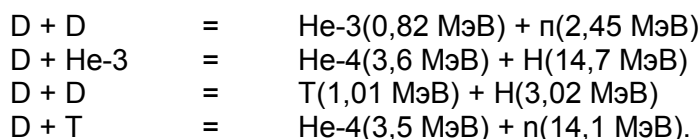
¹¹ Howard Morland, "The H-bomb secret. How we got it - why we're telling it." *The Progressive*, November 1979.

- Первичный и вторичный компоненты физически разделены. Эти три концепции выражены в очень сжатой форме в выпуске журнала "Лос Аламос Сайенс" (1983 г.), посвященном 40-летию лаборатории: "Первые взрывы с мегатонным выходом (водородные бомбы) были основаны на применении рентгена, созданного первичным ядерным устройством, для сжатия и поджига отдельной вторичной ядерной сборки".¹²

СИЛЬНОЕ СЖАТИЕ: ХОРОШО ИЗВЕСТНЫЙ ФАКТ

Для Швеции было естественным потратить некоторые ограниченные теоретические ресурсы на проблему термоядерной бомбы.¹³ Цель заключалась в том, чтобы достаточно хорошо понять физические принципы ядерного оружия для удовлетворения потребностей национальной защиты (они возникли, например, в связи с защитой от электромагнитного импульса) и для поддержки нашей деятельности на международной арене по разоружению. Нам вскоре стало очевидно, что несжатая термоядерная сборка не сможет противостоять термоядерному горению благодаря выходу наружу слишком большого количества тормозного (обратного комптоновского) излучения. При этом естественным теоретическим решением было очень сильное сжатие термоядерного топлива, если только можно было найти пути, как это сделать. Понимание необходимости в сильном сжатии не имело в виду, конечно, что при этом заново происходило открытие блестящей идеи радиационной имплозии Теллера-Улама. Это одна из причин, почему я не думаю, что наличие очень сильного сжатия при взрыве "Майк" послужило наиболее информативной частью радиоактивной характеристики, которую имели в виду Оппенгеймер, Марк, Йорк и другие. Этот вывод был поддержан в дальнейшем тем фактом, что сильное сжатие не осталось в секрете. В результате сильного сжатия и вытекающего отсюда высокого нейтронного флюенса были получены элементы с очень высоким атомным номером при многократном поглощении нейтронов в оболочке из естественного урана, окружавшей термоядерное топливо. Уже в 1955 г. было сообщено об открытии в остатках "Майка" ранее неизвестных элементов с атомными номерами 99 и 100 (эйнштейний и фермий, соответственно).¹⁴ Массовое число изотопа фермия составляло 255 - это означало, что 17 нейтронов последовательно захватывалось ядрами урана-238. Если оценить поперечное сечение захвата, то найдем, что нейтронные флюенсы должны быть порядка молей/см³ (1 моль = 6·10²³ нейтронов). В 1962 г. были опубликованы подгонки данных от "Майка" к теоретическим расчетам. Результаты совпадали при флюенсе тепловых нейтронов бомбы не ниже 2 моль/см³.¹⁵

Термоядерным топливом в "Майке" был жидкий дейтерий с плотностью 0,14 г/см³ (плотность жидкого водорода равна 0,07 г/см³). Мощность взрыва равнялась 10400 килотонн.¹⁶ Можно предположить, что по крайней мере половина этой мощности (5000 килотонн) обязана реакциям синтеза. Реакции синтеза в D-D смеси имеют вид:¹⁷



¹² C. Paul Robinson, "The Weapons Program, Overview," Los Alamos Science, 7, p.110, Winter/Spring 1983.

¹³ У Швеции не было намерений разрабатывать ядерное оружие. В 1968 г. Швеция подписала Договор о нераспространении ядерного оружия.

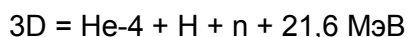
¹⁴ A.Chiorso, S.G.Thompson, G.H.Higgins, G.T.Seaborg, M.H.Studier P.R.Fields, S. M.Freid, H.Diamond, J.F.Mech, G.L.Pyle, J.R.Huizenga, A.Hirsh, W.M.Manning, C.I.Browne, H.L.Snith, and R.W.Spence, "New elements Einsteinium and Fermium. Atomic Numbers 99 and 100," Phys. Rev. 99, 1955, p. 1048.

¹⁵ David W. Dorn, "Mike Results - Implications for Spontaneous Fission," Phys. Rev. 126, 1962, p. 693.

¹⁶ "Announced United States Nuclear Tests, July 1945 through December 1985," report NVO-209 Rev 6 issued by US Department of Energy Nevada Operations Office, 1986.

¹⁷ S.Glasstone and R.H.Lovberg, Controlled Thermonuclear Reactions, (New York: Robert E. Krieger Publ. Company, 1975).

При достаточно высоких температурах первая и вторая пары реакций идут примерно с одинаковой скоростью и тогда можно записать итоговую реакцию:¹⁸



Поэтому на каждое ядро дейтерия, вступившее в реакцию синтеза, выделяется одна треть нейтрона и энергия $E = 7,2 \text{ МэВ}$. Рассмотрим сферический объем топлива $V \text{ см}^3$ (с поверхностью $S = (36\pi)^{1/3} V^{2/3} \text{ см}^2$), нейтронный флюенс $F \text{ моль/см}^3$, плотность сжатого топлива $\rho \text{ г/см}^3$ и мощность взрыва $Y \text{ килотонн}$; тогда получим

$$Y = E (\rho V/2) (N_0/N) \quad (1)$$

$$F = (1/3) (\rho V/2) (1/S) \quad (2)$$

где N - число Авогадро, равное $6 \cdot 10^{23} \text{ атом/моль}$, а $N = 2,6 \cdot 10^{24} \text{ МэВ/килотонн}$. Исключив объем, можно получить выражение для плотности сжатого топлива:

$$\rho = 36(3\pi E N_0/N)^{1/2} (F^3/Y) \quad (3)$$

которое при $F = 2 \text{ моль/см}^3$ и $Y = 5000 \text{ килотонн}$, как предполагалось ранее, дает для плотности сжатого топлива значение $1,8 \text{ г/см}^3$. Это соответствует 13-кратной степени сжатия. Но при этом мы допустили, что дейтерий сгорел полностью. Если степень сгорания b меньше единицы, то степень сжатия составит $13/b$. Кажется разумной величина b порядка 10-20%. Тогда отсюда вытекает сжатие примерно в 100 раз, которое действительно оказывается очень сильным. То, что водородная бомба подвергается исключительно сильному сжатию, могло быть понято любым интересующимся уже в 1955 г. или по крайней мере в 1962 г. Но изобретение Теллера-Улама сохранило дух таинственности еще на 20 лет. И причиной этому было конечно то, что реальным элементом новизны и изобретательности в мыслях Теллера и Улама оказалось не само сжатие, а скорее способ его достижения посредством физического разнесения первичного ядерного компонента и термоядерного топлива и процесса радиационной имплозии.

НАИБОЛЕЕ ИНФОРМАТИВНАЯ ОСОБЕННОСТЬ

Когда поймешь суть идеи Теллера-Улама, то совсем нетрудно пойти обратным путем и осознать, что же такое есть в остатках, раскрывающее истинный секрет. В классической супербомбе, где ядерный запал расположен настолько близко к термоядерному топливу, насколько это возможно, вещество запала - плутоний-239 или уран-235 или оба вместе, будет облучено практически таким же нейтронным потоком, что и внешняя оболочка из естественного урана. Флюенс в 2 моля/см^3 тепловых нейтронов от взрыва бомбы типа "Майка" при воздействии на плутоний-239, имеющий сечение деления σ в 20 барн (1 барн = 10^{-24} см^2) в интересующей нас области энергии, выжжет плутоний почти полностью. Даже если пренебречь потерями плутония при процессе деления в первичном компоненте и потерями в других каналах типа захвата и $(n,2n)$ -процесса, будет использовано 90-100% плутония ($= 1 - \exp[-0,6F\sigma]$).

Поэтому весь плутоний первичного компонента, находящийся на таком же расстоянии от термоядерного топлива, что и урановая оболочка, исчезнет. Тогда если можно будет показать, что в остатках от термоядерного взрыва действительно содержится значительное количество плутония, то это станет доказательством помещения первичного компонента вдали от области термоядерного горения. Значит, первичный компонент должен быть

¹⁸ Столь высокие температуры (выше нескольких сот миллионов градусов), вероятно, не достигаются даже в термоядерном взрыве. Это означает, что вторая реакция $D+He-3 = T+H$ не будет протекать достаточно быстро. Поперечное сечение реакции $He-3+n = T+H$ достаточно велико (0.1-1 барн) для МэВ-ных нейтронов. Поскольку тритон немедленно вступит в D-T реакцию, эффективная сумма реакций останется неизменной. Таким образом полная сумма реакций для D-D плазмы: $3D = He-4 + H + n + 21,6 \text{ МэВ}$, все еще сохраняется.

физически отнесен и/или очень хорошо экранирован от вторичного термоядерного компонента.

Однако недостаточно просто измерить активность плутония-239. Существует две серьезные проблемы. Во-первых, основная часть плутония в остатках бомбы возникает из-за захвата нейтронов ураном-238. При этом образуется уран-239, который распадается с временем жизни 23,5 минуты в нептуний-239, а тот в свою очередь со временем жизни 2,36 дня превращается в плутоний-239 (рис.1). Надо точно знать, сколько плутония образуется таким путем. По этой причине измерения следует проводить в течение нескольких первых недель до того, как нептуний полностью распадется. Во-вторых, трудно измерять сам плутоний-239, поскольку энергия его альфа-частиц слишком близка к энергии альфа-частиц плутония-240, который также присутствует в остатках. Приходится опираться на масс-спектроскопию, чтобы различить два этих изотопа, но для большинства лабораторий эта методика не столь легко доступна (по крайней мере для очень малых образцов).

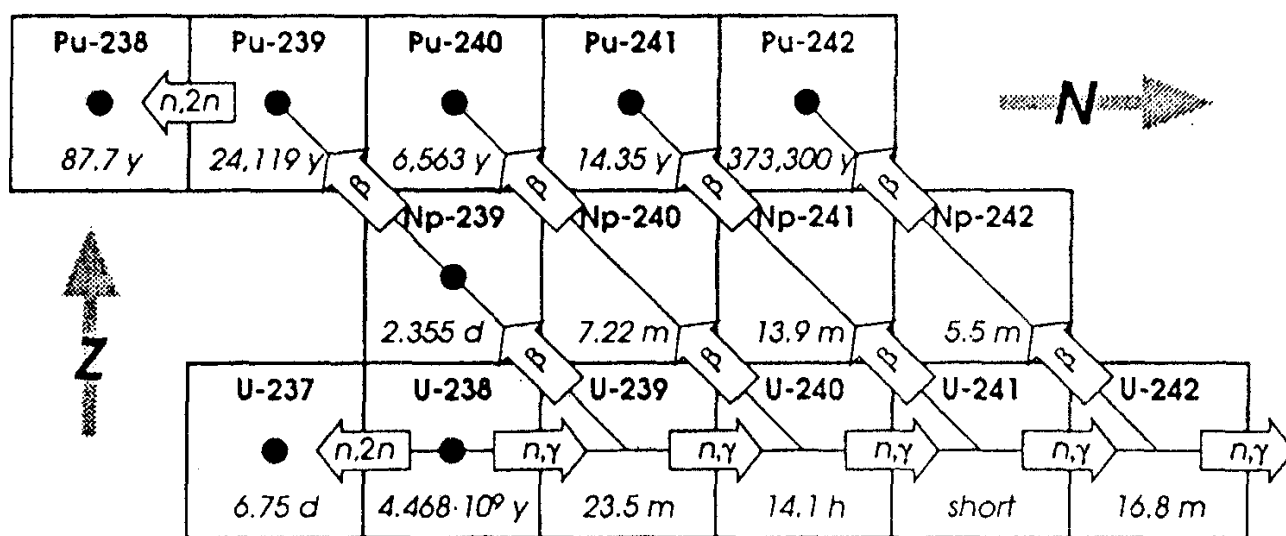


Рисунок 1. Производство изотопов плутония при одиночном и множественном захвате нейтронов в реакциях (n,γ) в оболочке из урана-238 с последующими двумя β -распадами. Постепенное уменьшение распространенности более тяжелых изотопов может быть использовано для оценки потока тепловых нейтронов в уране. В приведенной схеме учитывается также реакция $(n,2n)$ в запале из плутония-239 и оболочке из урана-238, обсуждающиеся в конце статьи. Времена жизни изотопов взяты из последних сборников ядерных констант. Обнаруженные в радиоактивных осадках изотопы урана и плутония отмечены заполненными кружками.

КИТАЙСКОЕ УКАЗАНИЕ НА РАЗГАДКУ ИДЕИ ТЕЛЛЕРА-УЛАМА

Шведская программа поиска радионуклидов в атмосфере регулярно действовала с середины 50-х гг. Ее задачи с годами менялись, но в последние три десятилетия она нацелена на верификацию Договора о запрещении ядерных испытаний в трех средах. Таким образом ее основная задача - детектирование выходящего наружу излучения при подземных ядерных взрывах, но много работы было также проведено по атмосферным испытаниям, которые в 70-х гг. были в основном китайскими на полигоне Лобнор. В программу входят восемь наземных фильтрующих станций и оборудование, размещаемое на нескольких истребителях для осуществления сбора образцов на больших высотах. Все образцы измеряются в центральной гамма-спектроскопической лаборатории, оборудованной большими германиевыми детекторами с высоким энергетическим разрешением. Почти не проводится счет альфа-частиц, а масс-спектропии нет вообще.

Достаточно хороших данных о взрыве "Майк" в 1952 г. в Швеции нет. Вместо этого мы использовали детальные гамма-спектроскопические данные, собранные нами от остатков китайского термоядерного взрыва в 70-х гг., и соответствующие масс-спектроскопические данные, взятые из других источников, для проверки гипотез, изложенных в данной статье.

(Как показано ниже, эти результаты подтверждают высокий нейтронный флюенс при китайском взрыве и тем самым предпосылки для нашей аргументации.) В 14.00 по местному времени 17 ноября 1976 г. Китайская народная республика произвела свой двадцать первый испытательный ядерный взрыв на полигоне Лобнор в Синьцзяне. Это было атмосферное испытание термоядерного устройства мощностью в 4000 килотонны.¹⁹ Через восемь дней после взрыва в нашу самолетную систему сбора попали первые остатки взрыва, а на следующий день у нас оказался неожиданно сильно активный образец (он соответствовал 1,55·10 делениям), взятый с высоты 14 км. Этот образец был проанализирован весьма тщательно и результаты опубликованы.²⁰ Для образцов от этого взрыва типичным было то, что они оказались неразделенными, то-есть они очень близко соответствовали начальному составу нуклидов, образовавшемуся при взрыве. Всего было насчитано 35 различных гамма-излучателей и три альфа-радионуклида (плутоний-239 и плутоний-240 считались за один). На основе распределения продуктов распада по массам средняя энергия нейтронов, вызывавших деление, должна быть около 10 МэВ. Это показывает, что облученный уран-238 должен был находиться очень близко к горящему термоядерному топливу. Число ядер плутония-239 от нейтронного захвата в самом активном образце, определенное из анализа нептуния-239, оказалось равным $(42,5 \pm 1,7) \cdot 10^9$. Зная число атомов циркония-95 в образце [это $(7,87 \pm 0,06) \cdot 10^9$], находим отношение числа атомов захватного плутония-239 к числу атомов циркония-95, равное $5,40 \pm 0,22$. Лаборатория измерений окружающей среды (ЛИОС) в Нью-Йорке в течение многих лет проводило сбор образцов на больших высотах при помощи полетов самолетов вдоль западного побережья США (проект "Эйрстрим"). Во время апрельской программы 1977 г. было собрано много образцов, среди которых доминировали остатки взрыва в ноябре 1976 г. Эти образцы анализировались на некоторые продукты деления и на отдельные изотопы плутония, то-есть плутониевая фракция исследовалась масс-спектроскопическими методами.^{21,22} Если откорректировать результаты для девяти наиболее активных образцов на небольшой плутониевый фон от предыдущих взрывов (поправка порядка 2%), полученный при августовской программе 1976 г.²³ (с поправкой на время жизни в стратосфере порядка 10 месяцев), то получим полное отношение содержания плутония-239 к цирконию-95, равное $6,46 \pm 0,31$. Отношение запального плутония к цирконию-95 можно теперь получить как разность $(6,46 \pm 0,31) - (5,40 \pm 0,22) = (1,06 \pm 0,38)$. Таким образом, остатки от запала составляют (16 ± 6) процентов от полного количества плутония в остатках, что надо считать значительной частью. (Поскольку это результат малой разности двух больших чисел, надо быть особо осторожным в обращении с ошибками).

В соответствии с масс-спектрометрическими результатами ЛИОС²² отношение числа атомов плутония-240 к плутонию-239 было равно $0,224 \pm 0,002$ в остатках от взрыва 17 ноября 1976 г. В "Майке" соответствующее отношение составляло $0,363 \pm 0,004$ ²⁴ и можно поэтому заключить, что флюенс тепловых нейтронов в урановой массе (или в ее части) китайского устройства составлял $0,224/0,363 = 62\%$ от "Майка", то-есть равнялся не менее $1,2$ моль/см³. Такой флюенс еще достаточно велик, чтобы сжечь центральный плутониевый запал. Одна

¹⁹ USERDA Weekly Announcements, 2, 1976, p.46.

²⁰ L.-E.De Geer, R.Arntsing, I.Vintersved, J.Sisefsky, S.Jakobsson, and J.-A.Engstrom, "Particulate Radioactivity, Mainly from Nuclear Explosions, in Air and Precipitations in Sweden mid-year 1975 to mid-year 1977," report C 40089-T2(A1) issued by the National Defence Research Establishment Sweden 1978. Reprinted in report EML-349 issued by the Environmental Measurements Laboratory, New York, 1979.

²¹ R.Leifer, L.Toonkel, and R.Larsen, "Project Airstream, Radioactivity in the Lower Stratosphere," p.II-7 in report EML-342 issued by the Environmental Measurements Laboratory, New York, 1978.

²² R.Leifer and L.Toonkel, "Plutonium isotopic analysis of stratospheric samples from April 1977," p.I-407 in report EML-390 issued by the Environmental Measurements Laboratory, New York, 1981.

²³ R.Leifer, L.Toonkel, and M.Schonberg, "Project Airstream," p.II-7 in report ASL-321 issued by the Health and Safety Laboratory, New York, 1977.

²⁴ H. Diamond, P.R.Fields, C.S.Stevens, M.H.Studier, S.M.Fried, M.G.Ingram, D.C.Hess, G.L.Pyle, J.F.Mech, W.M.Man-ning, A.Chiorso, S.G.Thompson, G.H.Higgon, G.T.Seaborg, C.I.Browne, H.L.Smith, and R.W.Spence, "Heavy Isotope Abundancies in Mike Thermonuclear Device," Phys. Rev. 119, p.2000, 1960.

килотонна делений в большом термоядерном взрыве с оболочкой из урана-238 образует $1,45 \cdot 10^{23} \cdot 5,07/100$ атомов циркония-95 (и $1,45 \cdot 10^{23} \cdot 3,50/100$ атомов стронция-90).²⁵ Отсюда и из приведенного выше отношения плутоний/цирконий можно вывести, что после взрыва на каждую килотонну деления оставалось $3,09 \pm 1,01$ г плутония при китайском взрыве 17 ноября 1976 г. Оценка полного числа продуктов деления, образовавшихся при этом взрыве, было сделано ЛИОС путем интегрирования по объему стратосферы.²⁶ Они пришли к 260 ± 25 килоюри стронция-90, что можно преобразовать в 2500 ± 200 килотонн деления и соответственно в $7,7 \pm 2,6$ кг запального плутония, который остался после взрыва.²⁷ Аналогичный путь к секрету водородной бомбы, который не требует масс-спектрологии, но менее количественен, заключается в том, чтобы сравнить количество продуктов (n,2n)-реакций в урановом кожухе и в первичном плутониевом компоненте. Эти реакции идут только при энергиях нейтронов выше порога порядка 6 МэВ как в уране-238, так и в плутонии-239. Более того, зависимости поперечного сечения от энергии почти подобны (хотя сечение выше для урана примерно в четыре раза). Это означает, что анализ отношения урана-237 к плутонию-238 в образце путем измерения альфа- и гамма-активности даст отношение масс урана-238 и плутония-239 в невзорвавшемся устройстве (все это обусловлено предположением, что плутоний облучается таким же нейтронным потоком, что и уран, то-есть предположением, заимствованным из старой концепции супербомбы).

Для китайского взрыва 1976 г. такой анализ привел к отношению масс урана и плутония, превышающему единицу [в самом активном образце было $(28,5 \pm 1,7)$ атомов урана-237 и $(6,0 \pm 1,8)$ атомов плутония-238. Если считать, что плутониевый запал весил несколько кг, то масса уранового кожуха должна составить много тонн, что явно неразумно. Таким образом, в соответствии со всем вышесказанным можно заключить, что первичный компонент не может быть в близком контакте с зоной термоядерного горения. Наоборот, первичный компонент должен быть полностью отделен от термоядерного компонента. Если же теперь спросить, как налажен перенос энергии между компонентами, то кажется гораздо более естественным, что в голову придет идея радиационной имплозии, если к тому же известно о том, что топливо было сильно сжато. Я верю, что наблюдение значительного количества выжившего плутония первичного компонента и/или неожиданно малых количеств плутония-238 были теми путями (или путем), которые привели к действительному раскрытию секрета водородной бомбы.

²⁵ N. Harley, I. Fisenne, L. DIY.Ong, and J.Harley, "Fission Yield and Fission Product Decay," p.251 in report HASL-164 issued by the Health and Safety Laboratory, New York, 1965.

²⁶ R.Leifer, R.Larsen, and L.Tonkel, "Updating Stratospheric Inventories to July 1978," p.I-109 in report EML-363 issued by the Environmental Measurements Laboratory, New York, 1979.

²⁷ Согласно обычным представлениям атомная бомба содержит 3-5 кг плутония, поэтому оставшиеся после взрыва 7.7 ± 2.6 кг кажутся слишком большой величиной. Однако очень внимательный анализ показал, что может быть только два объяснения: 1) китайцы не перестраховались; 2) 7.7 ± 2.6 кг, где 2.6 кг -это только одна стандартная вероятная ошибка, означает в данном случае нечто, значительно меньшее 7.7 кг. Однако вероятность того, что это нечто близко к нулю, очень мала.