

Плутоний, оправдавший название

В.И. Кузнецов

*Плещут воды Флегетона,
Своды Тартара дрожат.
Кони бледного Плутона
Быстро к нимфам Пелиона
Из аида бога мчат.
А.С. Пушкин. Прозерпина*

Плутон, как следует из стихов, появлялся на поверхности земной тверди и в древние времена, как ни удерживала его ревнивая Прозерпина: нимфы влекли... Ныне он вновь объявился из «Тартара», обернувшись серебристо-белыми шариками и цилиндриками (зарядами сверхбомб), твэлами быстрых (то есть на быстрых нейтронах) реакторов — так физики-ядерщики зашифровывают в своем жаргоне тепловыделяющие элементы.

Вряд ли хотя бы один из них дался человечеству столь дорого, как плутоний,— и в прямом, и в переносном смысле. И вряд ли в наше паранормальное время кого-нибудь удивит странное, почти мистическое соответствие между названием этого элемента и тем значением, какое приобрел он в судьбах современного мира. Но для начала вернемся на полвека назад.

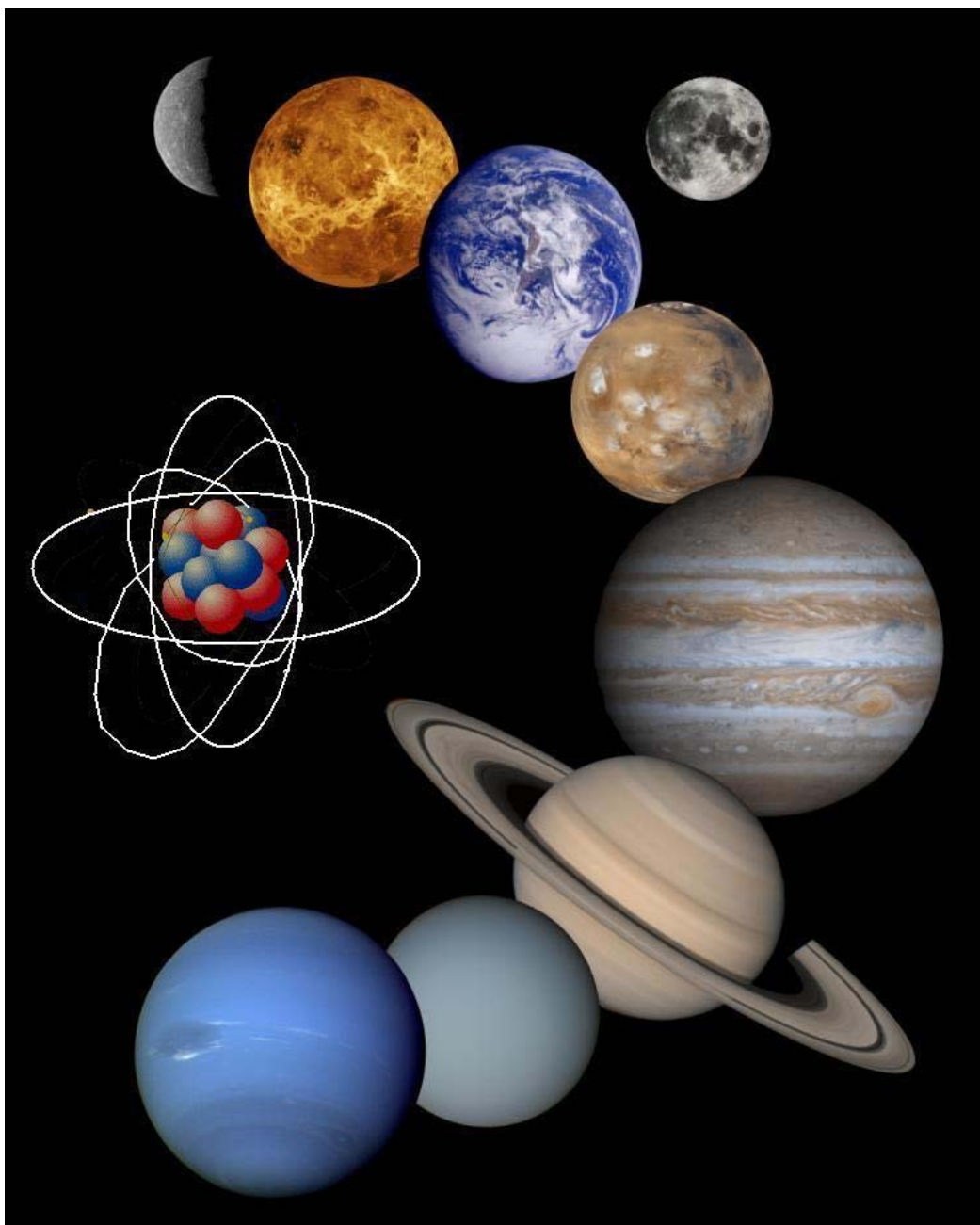
ХИМИЧЕСКАЯ АСТРОНОМИЯ

Летом 1940 года американцы Эдвин М. Макмиллан и Филип Х. Эйбельсон открыли первый из элементов, выходящих за привычные границы Периодической системы,— трансурановый элемент № 1, а в таблице он занял клеточку с цифрой 93.

За планетой Уран в солнечной системе следует Нептун. Вот первооткрыватели и сохранили такую же последовательность и в таблице элементов — за ураном появился элемент нептуний.

Несколькими месяцами позднее, 14 декабря того же 1940 года, Д. В. Кеннеди, А. К. Валь, Э. М. Макмиллан и Г. Т. Сиборг бомбардировали ускоренными на циклотроне дейтеронами уран. В результате опыта был зарегистрирован, а затем и опознан неизвестный прежде альфа-излучатель с периодом полураспада около 90 лет. Им оказался изотоп элемента № 94 с массовым числом 238. Решив не нарушать

астрономическую параллель, открытый элемент назвали плутонием в честь самой дальней от Солнца планеты. Кстати, мрачный Плутон, с трудом различимый даже в сильный телескоп, астрономы обнаружили всего лишь за десять лет до плутония-элемента. Почти такой же срок разделял открытия планеты Уран и одноименного химического элемента за номером 92.



Где искать и как добыть 239-й плутоний, догадаться к тому времени было уже нетрудно: у открытого ранее изотопа нептуния массовое число равнялось 239, и он был, как говорят физики, «бета-распадчиком», а значит, превращался в плутоний как раз с нужным числом нуклонов. Почему же столь незаурядные экспериментаторы, как Макмиллан и Эйбельсон, открывая нептуний, не наткнулись заодно и на следующий, 94-й элемент? Ответ прост — 239-й изотоп плутония распадается очень медленно

(период полураспада — 24 тысячи лет) и, чтобы заметить его альфа-частицы, нужно добыть астрономическое число атомов. Так стоит ли ради какого-то лишнего изотопа городить огород?

Оказалось, стоит «уважить» 239-й: за «живучесть» его, великолепную делимость любыми нейтронами, легкость отделения от урана. Правда, все эти неординарные свойства пока еще были только предсказаны теоретиками, но предсказания покоились на надежном фундаменте. Ученых вдохновлял опыт недавних урановых исследований, когда успех неизменно приносило сочетание нечетной массы ядра с четным его зарядом — кстати, в полном соответствии с теорией Бора.

По всем прогнозам выходило: 239-й — прекрасная ядерная взрывчатка, а если надо, то и топливо. Конечно, последнее обстоятельство в те времена во внимание не принимали: уже второй год шла мировая война, позарез нужна была сверхбомба. Так что всех представителей иной тематики в тот период начисто отлучали от циклотрона.

Ни с какими затратами не считались. Маленькую урановую мишень, которой пользовался Макмиллан, заменил теперь целый килограмм урана. Его поместили в полости парафинового блока-замедлителя. В центре блока поставили охлаждаемый водой бериллиевый кубик, направив на него мощный пучок ускоренных дейтеронов. Дейтероны вырывали из бериллия быстрые нейтроны, а те, замедленные парафином, попадали в цепкие объятия урановых ядер. А дальше срабатывала цепочка: уран + нейтрон => тяжелый уран => нептуний => плутоний.

«Патронов» не жалели: Обстрел большой мишени длился сутками, без перерывов. В итоге команда Сиборга выделила чуть меньше половины микрограмма 239-го изотопа, а это 10^{15} атомов.

Вскоре Гленн Сиборг и Артур Валь, создав уникальную для того времени микроскопическую аппаратуру — пипетки и колбы, различимые лишь под микроскопом,— в изящных экспериментах изучили основные химические свойства плутония.

Гремучая змея шумом своей трещотки предупреждает: «Берегись, обходи меня!». Микропипетки с зеленоватым раствором солей четырехвалентного плутония помалкивали... Но молодые Сиборг и Валь трудились аккуратно, точно отмеряя каждый шаг. Они-то догадывались, что имеют дело не с заурядным веществом, но вряд ли подозревали тогда, какого демона подарили миру.

ВНИМАНИЕ, СМЕРТЬ!

В любых своих проявлениях 239-й опасен чрезвычайно. Неразличимая глазом крохотная крупинка, внедрившаяся в человеческое нутро, рвет длинные молекулы ДНК, перерождает клетки и поселяет в организме болезнь, от которой нет спасения. Плутоний весьма токсичен и чисто химически, но об этом и говорить не стоит, столь велика самая грозная из его опасностей — радиационная. Но не только с токсичностью сопряжен страшный риск при обращении с серебристо-белым металлом и его растворами.

Плутониевый металлический шар оживает, перестает быть мертвой материей, когда его размеры переступают некую границу, достигают критического значения. Где проходит эта граница? Чему равна минимальная масса серебристого шара, способного самостоятельно порождать энергию, мощные потоки нейтронов и гамма-квантов? Первыми на эти вопросы ответили теоретики из Лос-Аламосской лаборатории, исчислив поистине критическую величину: критмассу плутония.

Лишь только в Лос-Аламос поступили первые килограммы взрывчатого металла с ханфордских заводов, физик-экспериментатор Луи Слотин получил экстренное задание. Ему предстояло «пощекотать хвост дракона», как шутили его коллеги.

Зажатые в специальных держателях, на подвижных салазках стояли друг против друга два покрытых тонким никелевым слоем плутониевых полушария, обращенные друг к другу плоскими частями — словно разрезанный пополам теннисный мячик. Каждая половинка этого «мячика» была легче критмассы, а соединенные вместе они стали бы надкритическими.

В таких опытах, конечно, нельзя доводить дело до цепной ядерной реакции, иначе понадобится столько экспериментаторов-смертников, сколько опытов. Требуется какой-то дополнительный слабый нейтронный источник, который загодя предупреждал бы ученых, что критмасса уже близка.

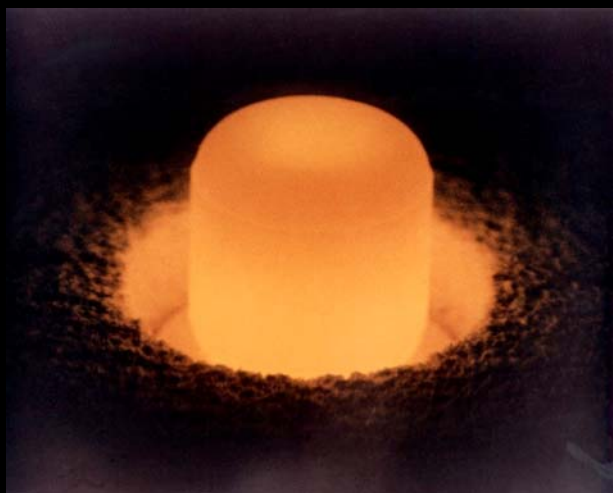
При этом никак нельзя полагаться на космические нейтроны или нейтроны спонтанного деления: их мало, и можно не заметить «красной черты», которую нельзя заступать. Поэтому Слотин использовал дополнительный слабый источник — вроде лакмусовой бумажки, срабатывающей с упреждением. Полная гарантия безопасности...

Слотин сдвигал полушария, и чем меньший зазор оставался между ними, тем интенсивнее был нейтронный поток. Луи останавливал плутониевые куски, когда



Металлический плутоний-239

chemistry.about.com, cfo.doe.gov, srs.gov



Диоксид $^{238}\text{PuO}_2$. Плутоний-238 имеет значительно более короткий период полураспада – 87,5 года.

За счет тепла радиоактивного распада компактный кусок Pu-238 светится (в отличие от Pu -239)

wikipedia.org

нейтронный град грозил стать опасным, и возвращал их в начальное положение.

Закономерность нарастания нейтронной лавины при уменьшении зазора между полушариями, измеряемая Слотином, была очень, очень нужна. Энергичный Слотин работал раскованно, быстро. Среди коллег-экспериментаторов он пользовался заслуженной репутацией аса. Слотин знал об этом. Автоматической защитой в тот раз он пренебрег...

В последнем, пятьдесят первом опыте полушария сошлись слишком близко. Последовала мощная нейтронная вспышка. Взревели динамики, подключенные к счетчикам. Слотин бросился к плутониевым полушариям и вмиг развел их в стороны. Руками! Цепная реакция сразу затихла. А Слотин скончался ранним утром на девятый день после своего последнего, по сути, демонстрационного опыта — в предыдущих все нужные данные были уже собраны.

А вот у нас — ни единой смерти в атомных экспериментах. Во всяком случае, так возвестил миру в конце пятидесятых Никита Хрущев. Еще бы: на памяти автора плутоний именовали в официальных бумагах «медью» в отличие от «подлинной меди» — элемента с символом Cu . За произнесение слова «плутоний» в устной речи сотрудники отделялись выговором, — а если не в устной, так дело и вовсе пахло тюрьмой¹.

Поэтому будем считать, что сюжет следующей главы просто-напросто придуман автором в назидание молодым коллегам. Происходило все это в городе, которого «не существовало». Не был означен он ни на генеральной, ни на крупномасштабной картах, и даже вовсе не числился в списке городов, утвержденном Советом Министров. Правда, говорят, что с шаров-баллонов, а потом и со спутников его фотографировали супостаты и рассматривали там, у себя, на реке Потомак, в Пентагоне...

КАК ТРОЕ ОПОЗДАЛИ НА ЕЛКУ

Все сроки кончались вместе с календарным годом, а материалов к годовому отчету не хватало. Оставался последний спасительный день — 31 декабря. Предстояло подсуетиться и закончить плановые эксперименты. Тогда все образуется. Начальство утвердит титульный лист отчета задним числом — ведь дело-то сделано. План будет выполнен, и вместо занудливых проработок и прочей нервотрепки — солидная премия да благодарность в приказе.

¹ Такое положение вещей сохранялось довольно долго. См. статью **Теория валентности, или разговор о Некрасове в казенном доме**, Химия и Химики № 4 (2008) <http://chemistry-chemists.com/N4/356-360.htm>

Поэтому молодые физики — Константин Бороздин, Виктор Петров и совсем юная, недавно окончившая техникум лаборантка Вера Браснакова уже в семь-ноль-ноль предъявляли свои многокрасочные пропуска внимательнейшим образом изучавшему их часовому, прежде чем переступить стальной порог обширной комнаты, или, если хотите, маленького зала.

На первый взгляд ничего экстраординарного. Потолки и стены окрашены белой эмалью, полы покрыты плотным, непроницаемым, медового цвета пластиком, прочно проваренным по швам.

Но чуть приглядишься — и взор подмечает некие нетривиальные особенности помещения: мелко зарешеченные окна, сургучные печати на стыках рам, слишком уж массивная стальная дверь в непомерной толщине бетонной стене.

Может показаться, что все предметы до единого здесь изготовлены из металла — других материалов тут, как будто, не признают. В глубине зала листами нержавеющей стали серебрится большой лабораторный стол, на нем, в центре, поблескивает невысокая, тоже металлическая банка литров на пятьдесят — увеличенный вариант чашки Петри, посуды, хорошо знакомой и химикам, и биологам. Для краткости Костя и Виктор свой главный лабораторный сосуд так и называли — «петри». На полу, рядом со столом, бак и насос, шланги из которых тянутся туда же, в петри. На соседнем столе, размерами поменьше, черные корпуса электронных усилителей, длинные стеклянные цилиндры нейтронных счетчиков, схваченные лапами держателей. Лампы-пересчетки подмигивают подслеповатыми неоновыми глазенками — это дают о себе знать нейтроны космического фона. Механические счетчики с двумя циферблатами, похожие на миниатюрные шахматные часы, с тем лишь отличием, что стрелки их указывают не время, а мощность нейтронного ливня.

В ближайшем от большого стола углу приткнуто кадмиевое ведро, залитое парафином, с полостью в самом центре. В нем небольшой цилиндр, привязанный за ушко длинной прочной леской к двухметровому удилищу, брошенному на пол. Ну и подальше от аппаратуры, метрах в пятнадцати, еще один стол, на сей раз обычный, из дерева.

На нем лабораторные журналы со столбцами заранее расчерченных таблиц.

Кажется, ничего я не забыл. Так выглядело все в той лаборатории в тот день, три с лишним десятилетия назад. В городе, которого не было.

Опыты начали сразу, без раскочки. Костя выудил из кадмиевого ведра цилиндрик, стараясь быть от него подальше. Он даже удилице держал за самый-самый кончик. Маленькая ампула, спрятанная внутри цилиндрика, каждую секунду испускала миллион нейтронов.

Когда цилиндрик исчез в стальной вертикальной трубке, пропущенной по центру петри, Виктор нажал черную кнопку переключателя. С легким жужжанием нехитрый насосик начал подавать раствор из бака в петри.

— Стоп,— скомандовал Костя,— есть отметка номер один!

Это означало: жидкость поднялась до нижней черты, нанесенной на трубке притороченного к петри уровнемера. Теперь опущенный в трубку источник нейтронов оказался в самой гуще раствора. Вылетающие из него нейтроны тормозились легкими водородными ядрами замедлителя, затем делили на части тяжелые ядра 239-го и порождали второе поколение себе подобных — те, в свою очередь, третье, и так далее, так далее. Пересчетки перемигивались все быстрее, бодрее щелкали счетчики. Вера вписала первые цифры в таблицы, нанесла первую точку на миллиметровку.

Задачи бороздинскрй группы и Слотина при полном внешнем различии экспериментального антуража почти совпадали. За небольшим отличием — бороздинцы мерили критическую массу не металлического плутония, а растворов его солей.

Поясним. Плутоний извлекают из растворенных в крепкой азотной кислоте урановых блоков, месяцами «варившихся» в атомном котле. К заключительной стадии выделения плутония его концентрация в растворе нарастает — и вот это чревато, мягко говоря, крупной неприятностью, если вдруг где-то в технологической цепи случайно скопится критмасса.

Группа Бороздина собирала свои данные о дьявольской жидкости, чтобы потом передать их инженерам — конструкторам химических аппаратов. Ведь у тех другие масштабы, а значит, другой уровень опасности. А Витя, Костя и Вера ничем, кроме своей собственной жизни, не рисковали. Да и ею, как им казалось, тоже...

Критмасса плутония в водном растворе зависит от многих факторов, в том числе и от формы сосуда. В шаровой колбе соответствующего объема при подходящей концентрации она значительно меньше металлической критмассы — всего 700 г в пересчете на чистый плутоний. В плоском же слое эта величина значительно больше.

В химических аппаратах, имеющих дело с плутонием, нужно, само собой, чтобы критмасса никогда не достигалась, а потому в них жидкость всегда налита плоским слоем. Такой сосуд был и у группы Бороздина.



Кольцо из оружейного электрорафинированного плутония 99,96% чистоты. Масса кольца – 5,3 кг, этого вполне достаточно для создания атомной бомбы.

Кольцеобразная форма необходима чтобы не допустить образования критической массы.

Если данному куску плутония придать сферическую форму, начнется цепная реакция.

wikipedia.org

Ребята хорошо знали правила безопасности. В баке было столько раствора, что даже если бы Виктор перекачал его весь в петри, ничего страшного не произошло бы — слой все равно не стал бы критическим.

При таких предосторожностях, казалось, можно работать спокойно, и это как-то незаметно расслабляло, нивелировало чувство опасности. Но вот благополучно завершен последний опыт. Костя и Вера просмотрели результаты на случай нечаянного ляпа. Виктор отключил аппаратуру. Тянуло к светлому праздничному столу, к друзьям, хотелось перекусить и выпить. Осталась одна нудная операция — медленно перекачать раствор в спецбак с толстыми стенками, с объемом, разбитым на ячейки, и крепкой, с замком и лункой для сургучной печати, крышкой. Так полагалось, чтоб избежать утраты малейшей капли раствора и всяких прочих нейтронных неожиданностей.

И здесь Бороздин допустил маленькую вольность. В подобной работе только редкие исследователи могут позволить себе роскошь действовать спонтанно — люди с обостренным чутьем, с этакой чертовщинкой, «антеннами», настроенными на сигнал опасности. Но таких единицы на сотни тысяч — они из породы великих экспериментаторов. А Костя, видно, был просто хорошим — ну, максимум, талантливым, не великим...



wikipedia.org

Растворы солей плутония разной степени окисления

— Витя,— сказал он,— перельем-ка наш лимонад так, без насоса. Поставь воронку!

Пара выверенных движений, и из горла бака торчит блестящий широкий раструб. Костя склонился над петри, ухватил посудину за край днища и стал наклонять в сторону бака, подобно тому как прачка наклоняет таз, выливая мутную воду. Рассредоточенное по днищу зелье собралось в компактную массу и мгновенно ожило, вскипело каждым кубическим микроном. Горячий вихрь обжег Костино лицо, фейерверком взлетели вверх мелкие капли, ударили в потолок, изобразив на его эмали обрамленную зелеными крапинками нерукотворную Костину тень.

Подумай Бороздин еще мгновение — и его передернуло бы от одной мысли, что можно вот так, безалаберно наклонить проклятую петри. Ведь слить зеленый раствор в один край чаши равноценно соединению тех самых плутониевых полушарий. После роковой манипуляции у Бороздина, как и у Слотина, пошла неуправляемая, самоподдерживающаяся цепная... Тепло, выделившееся при радиоактивном распаде, заставило раствор вскипеть. Реакция, впрочем, тут же погасла — вещество-то разлетелось. Но за краткий миг ребята приняли на себя мощные нейтронные и гамма-потoki. Они досыта наглотались плутония — сотня укусов гюрзы не принесла бы им столько вреда.

Свойства радиоактивного поражения таковы, что в первый момент даже при огромном, смертельном переборе человек чувствует себя почти в норме. Вера ощутила лишь легкий дискомфорт, будто перегрелась на жарком южном пляже. Ребят слегка подташнивало.

— Помнишь оперу «Чапаев»? «Какую, Василий Ваныч!», — пытаюсь не терять чувства юмора, вымолвил Виктор.

Слезы навернулись на Костины глаза. Он вспомнил: на нем вязаная кофта, новогодний мамин подарок. Он только что получил ее на спецпочте. В посылке лежало и мамино письмо, но выдающая, вскрыв посылку и порывшись в ней, нашла письмо и не отдала, как ни упрашивал ее Бороздин. Не положено, и все тут. А что положено, а что нет, никто не знал — список запретного, видимо, тоже был секретным. Теперь до следующего «непосылочного» письма не дожить, и он не узнает, как там, дома.

Слабость была минутной, хоть Костя умом и понимал — ни у него, ни у Виктора нет никаких шансов выжить. Ни по какой теории вероятности.

Теперь уже не опасаясь, без всяких там правил ТБ, убрали размазанный по полу раствор. Их не оставило чувство долга. А вот были ли они кому-то и за что-то должны?

Костя и Виктор не протянули и суток. Вера уцелела, уж не знаю, к счастью или к несчастью. Ее спасло расстояние, ослабившее губительные лучи. Но она уже никогда не жила дома — почти тридцать три года, до самой кончины, обитала в больницах. Глубокий радиационный ожог лишил ее ткани способности регенерировать клетки. Тело покрыли незаживающие язвы, струпья. Беспрерывные уколы, мази, мучительные процедуры стали единственным содержанием большей половины ее жизни.

Когда я об этом рассказываю, всегда вспоминается еще один трагический эпизод: однажды на моих глазах велосипедист на оживленном шоссе круто свернул влево под колеса мчавшейся за ним «Волги» — он увидел свой дом, а разве у родного очага что-то плохое может произойти? Ведь осталось несколько метров до знакомой зеленой калитки.

Беды со Слотином, Бороздиным, Петровым, тем неизвестным мне велосипедистом, я бы назвал «катастрофами последних вершков». На этих вершках трудно собраться, но легко расслабиться и потерять все.

А ведь ни у Слотина, ни у Бороздина не было и не могло быть никакого ядерного взрыва. Просто выделилось много нейтронов — не более того.

СОВЕТЫ ИСТОПНИКА

Со стронцием, если верить поэтам-бардам, нынче дело дрянь: от него, с точки зрения истопника, хороша «Столичная», но нет же и ее!

А как обстоит дело с плутонием? Увы, нет пока эликсира против плутония, не то что «Столичная» — даже виски по коммерческим ценам не помогает. Плутоний цепко держится в организме, проникает в глубину костной ткани, в костный мозг, и требуется его там совсем немного, чтобы отправить человека к праотцам. Плохо, точнее, очень плохо, когда нерастворимые частицы плутония из атмосферы попадают в легкие. Отсюда и чрезвычайно жесткие нормы на его содержание в окружающей среде, не говоря уже о человеческом организме.

Приведем краткие выдержки из официального документа — НРБ — 76/87, Москва. Энергоатомиздат, 1988 (НРБ — нормативы радиационной безопасности).

Допустимое содержание растворимых соединений плутония-239 в костях человека 0,02 мкКи (Ки — Кюри, единица, равная $3,7 \cdot 10^{10}$ распадов/с, мкКи — $3,7 \cdot 10^4$ распадов/с). Значит, 0,02 мкКи — это 0,32 мкг. В легких допустимая доза — 0,008 мкКи (0,13 мкг) нерастворимых соединений, в атмосферном воздухе $3 \cdot 10^{-17}$ Ки/л ($4,8 \cdot 10^{-10}$ мкг/л), в питьевой воде ($2,2 \cdot 10^{-9}$ Ки/л [$3,5 \cdot 10^{-2}$ мкг/л]).

Как видим, числа, определяющие допустимые дозы, ультрамикроскопические.

Но откуда ему взяться, плутонию, если мы с ним не работаем? Оказывается, общее число испытательных ядерных взрывов достигло внушительной цифры — 1820, во всяком случае, именно такая величина приведена в американском «Бюллетене ученых-ядерщиков», откуда перепечатана нашей прессой. Из них 483 испытания проведены в атмосфере, да еще Чернобыль... По грубой оценке, за все годы около двух тонн плутония вылетело в атмосферу. Да благо бы только в атмосферу — а подземные взрывы? А аварии, вроде той, когда в конце пятидесятых американский бомбардировщик уронил четыре водородные бомбы на побережье Испании? Термоядерного взрыва, слава Богу, не последовало, но иницирующее устройство взорвалось-таки, и плутоний водородной бомбы был развеян на большой территории. Пришлось снять почву с 400 гектаров и вывезти.

Так что людям приходится сталкиваться с ядовитым элементом не так уж и редко. Нужен контроль, да и организму нашему не худо бы помочь как-то бороться с 94-м элементом. Метаболизм плутония — дело хитрое, но кое-какие идеи уже есть.

Есть два пути изгнания плутония из организма — превращение его соединений в легко растворимые органические компаунды и замещение плутония биологически активными химическими элементами, например четырехвалентным цирконием.

Но как подобрать лекарство, как проверить его эффективность?

Здесь помогает плутоний с массовым числом 237. Его можно получить только на циклотронных пучках. Этот изотоп безопасен, так как его распад сопровождается испусканием не смертоносных альфа-частиц, а в основном лишь мягких гамма-квантов. По их излучению можно проследить, какими путями путешествует плутоний в человеческом теле, какие вещества, введенные в организм, могут направить его в сторону выхода. Сегодня медики надеются с помощью такого метки найти эффективные лекарства против плутониевого отравления. 237-й недолго задерживается в организме. Его период полураспада — всего около сорока дней.

Теперь такой вопрос. Две тонны плутония, распыленного в атмосфере во время ядерных испытаний,— много это или мало? Если бы весь этот плутоний разделить поровну на навески по 100 мкг, то им можно было бы сгубить 20 миллиардов людей за 16 дней — так сказано в самой авторитетной несекретной книге о плутонии, изданной, увы, не у нас (M. Taube. Plutonium. «Pergamon Press», Oxford, London, New York, Paris; 1964). Еще цифры. Распределим мысленно, конечно, эти две тонны равномерно по атмосферному слою высотой 20 км. Тогда в этом приземном слое будет как раз предельно допустимая доза.

Но повода для паники все-таки нет. Большая часть плутония упала на землю, растворилась, попала в недостижимые места. В миллиарды раз страшнее запасы ядерных боеголовок. Пущенные в дело, они способны стерилизовать земной шар, словно кобальтовая гамма-пушка картофелину.

*Мир рвался в опытах Кюри
Атомной, лопнувшей бомбой
На электронные струи
Невоплощенной гекатомбой
А. Белый, 1921*

Что бомба будет, предполагали давно, еще в самом начале века. Часто говорят, что слова «атомная бомба» впервые произнес Гарри Трумэн. Но стихи в эпиграфе опровергают расхожее мнение. Русский поэт Андрей Белый, побывав в лабораториях физиков, еще семьдесят лет назад констатировал: рано или поздно мир развеется на «электронные струи»...

ЗЛО И ДОБРО

Когда молодые Сиборг и Валь, ныне прославленные, и почти забытый Слотин, и никому не известные бороздинцы, исследовали элемент № 94, а данные о его свойствах заносили в секретные журналы, то, если не кривить душой, делали это во имя зла Выбора у исследователей не было — приходилось работать на сверхбомбу.

«Не всякое творчество хорошо,— писал Николай Бердяев,— может быть злое творчество... Повсюду человек стоит перед выбором».

Дьявольские надежды, возлагавшиеся на плутоний, изотоп с массовым числом 239 полностью оправдал. Из 239-го изготовили сердце атомной бомбы.

Но получилось это все же не так гладко, как принято считать. Плутоний-239 накапливают в ядерных реакторах. Там, вместе с ядерной взрывчаткой, с 239-м изотопом, неизбежно образуется и его «старший брат» — 240-й (при захвате нейтронов ядрами ^{239}Pu), не делящийся, или, точнее, плохо делящийся нейтронами. Но зато он прекрасно делится самопроизвольно, в 46 тысяч раз быстрее 239-го, и дает при этом немало нейтронов — роковая беда многих конструкторов первых атомных бомб. Как быстро ни сближай два плутониевых полушария, спонтанные нейтроны преждевременно инициируют цепную реакцию, и происходит «мягкая вспышка» — такая, как у Слотина, или чуть посильнее (про это мы подробно рассказали в первой части статьи). При вспышке выделяется много нейтронов, но лавина ядерной взрывчатки рассеивается в пространстве. Люди рядом не могут не погибнуть, однако взрыва не происходит.

Когда американские физики узнали о высокой спонтанной делимости третьего изотопа плутония, они были обескуражены. Обстоятельно обсудив зловерное влияние 240-го с Ферми и Оппенгеймером и не найдя выхода из сложившегося положения, председатель Национального комитета по военным исследованиям Джеймс Конант с досадой воскликнул: «Эх, и это все зря!».

Но вскоре шоковое состояние у американских ядерщиков прошло. Они изобрели новый метод ядерной детонации, назвав его имплозией. Старый — когда два отдельных полушария летят навстречу друг другу, словно два снаряда, пущенные из пушек лоб в лоб,— остался только на картинках в школьных учебниках, да в воспоминаниях.

У нас я нигде не встречал описания процесса имплозии, спасшего плутониевый проект. Поэтому рассмотрим американскую версию событий.

Вот первый рисунок. Полый плутониевый шар, размером не превышающий мяч для игры в бейсбол,— в самом центре бомбы. В его полости бериллиевый шарик, снаряженный радиоактивным зельем, но до поры до времени ничего не излучающий, нейтральный. Несравненно большее по размерам устройство из тридцати шести отдельных блоков обычной (в смысле — не ядерной) взрывчатки в виде линз, обработанных с величайшей степенью точности, охватывает плутониевый заряд. В каждой линзе для большей надежности два детонатора, подсоединенных к единой электрической цепи.



Схема атомной бомбы.

Линзы, синхронно детонируя (в течение 10^{-6} секунды), сжимают до критического объема плутониевый шар с бериллиевой сердцевиной — «законсервированным» до поры до времени нейтронным источником

Итак, в некий час (вернее, миг) «икс» инициированы все детонаторы. Линзы, одновременно взрываясь, сфокусируют мощные ударные волны в месте расположения плутониевого шара — подобно бриллианту, окутанному большим комом ваты, по меткому сравнению Роберта Оппенгеймера. Взрывные волны, сойдясь в центре, со всех сторон сжимают плутониевый «бриллиант», словно резиновый мяч. В принципе, происходит то же самое, что и в старом «пушечном» варианте — части шара устремятся навстречу друг другу, только сразу со всех сторон и несравненно быстрее, по самому краткому пути.

Наконец волна сдавила мяч в горячий плотный шарик критического объема. В этот момент включается нейтронный источник, и цепная реакция совершается в течение миллионной доли секунды.

Теперь плутоний превратился в раскаленную до температуры в несколько

миллионов градусов плазму, а дальше вспышка «ярче тысячи солнц», грибовидное облако — словом, все, как на картинках и в фильмах, только страшнее.

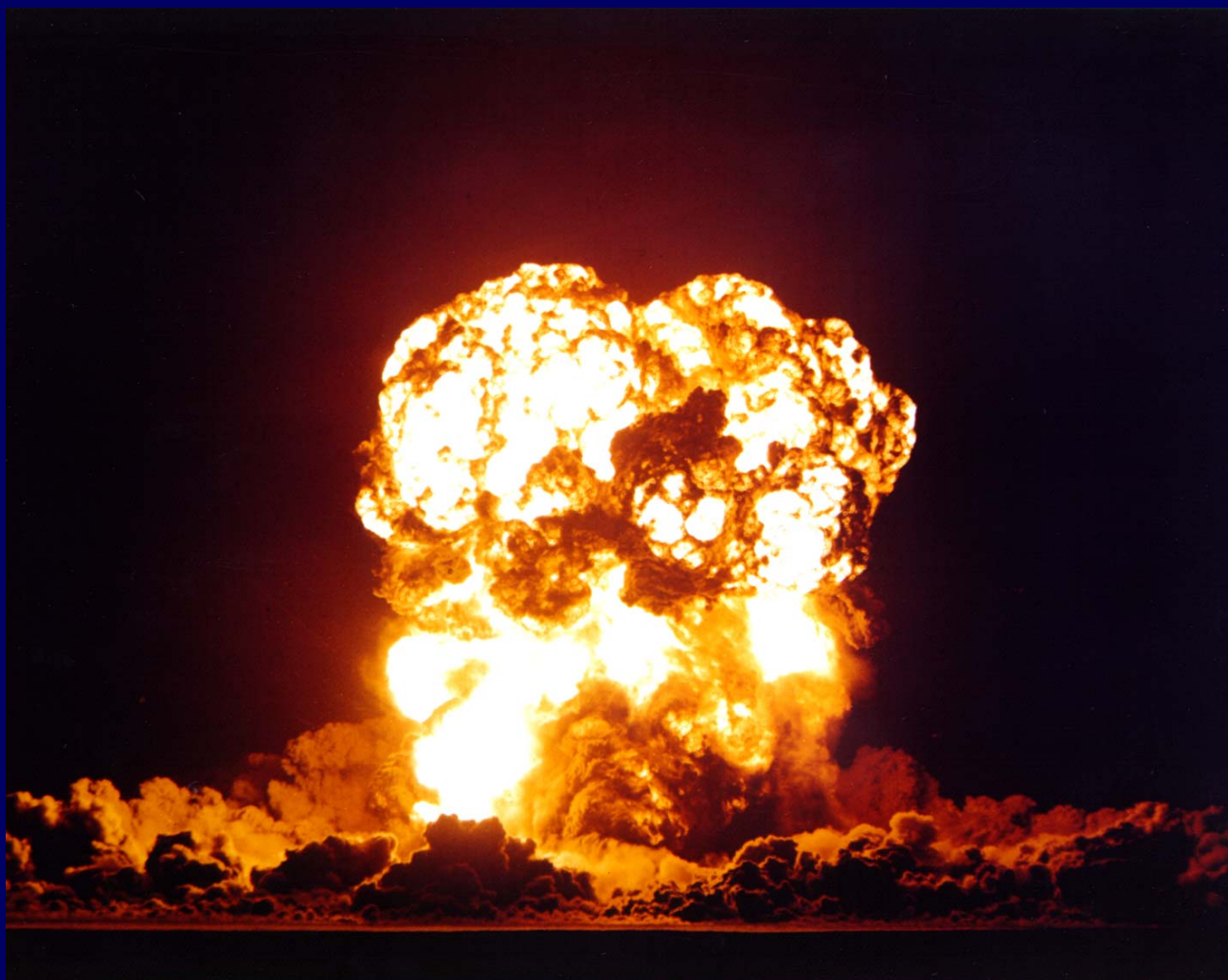
В имплозивном варианте в силу его стремительности спонтанное деление плутония-240 играет гораздо меньшую роль. Уж больно там все быстро. Поэтому-то и говорят, что этот хитроумный способ спас затраченные на плутониевый проект миллиарды.











nv.doe.gov

Ядерные испытания

ПЛУТОНИЕВАЯ КУХНЯ

В 1944 году, 13 сентября, в Ханфорде, штат Вермонт, США, заработал первый промышленный (а точнее, военный) реактор, построенный знаменитой фирмой «Дюпон». Фирма прославилась изобретением нейлона и освоением его в промышленном масштабе. В 1939 году были выпущены первые нейлоновые чулки, а через две недели все (абсолютно все!) конкуренты, производившие аналогичный товар из других материалов, обанкротились. Это был своего рода мировой рекорд. Записан ли он в книге Гиннеса? Кажется, нет.

Между тем плутониевый проект — куда более значительная операция «Дюпона». И доходы оказались куда выше, чем от нейлонового производства.

В изотопном реакторе, подобном ханфордскому, на один килограмм накопленного плутония выгорает немногим более килограмма урана-235 и выделяется энергия в

23 миллиона кВт-ч. Получается, что в реакторе мощностью 1 кВт килограмм плутония накопится за три тысячи лет. Поэтому изотопный реактор должен быть мощным. Для войны ведь нужны сотни килограммов плутония.

Ходит анекдот, что как-то Курчатов, демонстрируя пробирку с первыми граммами советского плутония, заметил: мол, неплохо бы, Лаврентий Павлович, показать первые образцы товарищу Сталину...

— На ... товарищу Сталину ваши граммы, товарищу Сталину тонны нужны! — последовал ответ.

Скромный по нынешним временам котел мощностью в 200 тысяч кВт за год накапливает в урановых блоках 239-го всего на десяток «ядерных бриллиантов». Это из уже известной читателю книги М. Таубе «Плутоний» («Пергамон Пресс», Оксфорд, Лондон, Нью-Йорк, Париж). Вот еще из той же книги:

«... 1000 кг плутония в год производит АЭС электрической мощностью 600 МВт в быстрых реакторах-бриддерах или 1000-мегаваттная станция на тепловых нейтронах» (это, кстати говоря, мощность одного Чернобыльского блока).

Распространено мнение, что с открытием цепной ядерной реакции, неизбежным следствием которого стало создание бомбы, человечество явно поторопилось. Можно думать по-другому или делать вид, что думаешь по-другому,— приятнее выглядеть оптимистом. Но и у оптимистов на душе тревожно — даже теперь, в эпоху разрядки.

Мы помним, сколь торжественным был июньский день, когда дала ток первая атомная электростанция в Обнинске. Но невозможно забыть августовское утро Хиросимы, недавнюю Чернобыльскую катастрофу. Невольно встает вопрос об ответственности ученых. Ведь новая мировая война, если будет, то будет последней — об этом то и дело напоминают фюреры разных масштабов и рас из всевозможных уголков нашего разношерстного мира.

Попробуем все же доказать на первый взгляд парадоксальный тезис: производство плутония, несмотря ни на что, прибавило человечеству не только опасений, но и, напротив,— некоторых надежд.

Допустим, случилось так, что по какой-то причине — или, как сказал бы верующий, по воле Божьей,— плутоний не подошел для атомной бомбы, скажем, ввиду его слишком сильной склонности к спонтанному делению. Уменьшились бы тогда страхи и опасения? Ничуть. Ядерные заряды снаряжали бы ураном-235, и вряд ли делали их в

меньшем количестве, чем плутониевые. Только затраты на них съели бы еще большие куски бюджетов ядерных держав,— а в наше время и некоторых развивающихся стран.

Зато в «бесплутониевом» мире сразу исчезает любопытная возможность развивать энергетику в таких грандиозных масштабах, для которых просто явно не хватило бы урана-235. Зло, нанесенное откупориванием бутылки с ядерным джином, не уравнивалось бы, пусть пока гипотетической, но все же перспективой обращения атома на доброе дело.

Основная доля — 139 частей из 140, в природном уране приходится на изотоп с массовым числом 238. Его можно сжигать в ядерных реакторах лишь после трансформации в плутоний. Оказывается, есть способ такой трансформации не только без затрат энергии, но, напротив, с ее производством.

Как это происходит? В обычном изотопном реакторе плутония получают меньше, чем сжигают урана-235. А вот в реакторах-размножителях с плутониевой загрузкой (их иногда называют бриддерами — английское «breeder» означает «источник», «инициатор»). После сгорания одного килограмма плутония выделяется 20 миллиардов больших калорий энергии и одновременно накапливается около полутора килограммов плутония из урана-238.

Сожгли дрова, нагрели печь, а в поленице прибавилось дров... Не нарушен ли здесь закон сохранения энергии? Нет, ведь вся энергетическая прибавка извлечена из урана-238. Вот его убыль и вправду невосполнима. Но ведь 238-го почти в 140 раз больше, чем 235-го, а значит, бриддерная технология повышает эффективность урановых энергетических ресурсов в 140 раз! Если ее освоить, то в дело пойдут бедные урановые руды, а именно в них содержится львиная доля земного урана.

На Кольском полуострове, в северных норвежских шхерах, на неоглядных пространствах громоздятся скалы, сложенные из древнейших земных минералов — гранитов. Почти пятая часть веса земной коры приходится на их долю. В среднем в тонне гранита 25 граммов урана. Сумей мы весь гранитный уран трансформировать с разумными затратами в плутоний — те камни станут весьма экономичными энергоносителями.

Так в чем же дело? Давайте строить плутониевые реакторы-размножители и сжигать камни. Но опять, в который раз, обрубают крылья научной фантазии экономические расчеты, экологические проблемы...

Так вот, вся беда большой плутониевой энергетики (для нее даже аббревиатуру придумали — БПЭ) состоит в том, что пока она неэкономична, хоть все принципиальные научные проблемы и решены.

Устрашают своим объемом капитальные вложения. Бриддер очень уж дорогая машина. Работает он при загрузке центнера плутония, активную зону реактора охлаждают жидким металлом. Водой нельзя, она замедлитель, а процесс плутониевого расширенного воспроизводства идет лишь на быстрых нейтронах — только быстрые делят плутоний с вылетом дополнительных своих собратьев, от чего и свершается «чудо»: из сгоревшего одного килограмма плутония получается полтора.

Ахиллесова пята расширенного воспроизводства энергии и горючего в бриддерах — необходимость переработки громадных масс облученного нейтронами урана. Здесь и набегает те самые копейки или центы на киловатт-час, делающие бриддерную энергию пока неконкурентоспособной.

Чтобы представить трудности извлечения плутония из реакторного урана, вновь обратимся к истории — ханфордским химическим заводам, малюткам в сравнении с тем, что потребовалось бы для БПЭ.

«КУИН МЭРИ»

«Сваренные» в ханфордских ядерных реакторах урановые блоки — небольшие цилиндрики, одетые в алюминиевую оболочку,— после выгрузки из активной зоны некоторое время хранятся под толстым слоем воды, пока самые злые осколки деления урана, вроде иода, не распадутся. Иначе вмешается радиолиз, и химические реакции в сверхмощных полях излучений «свежеоблученного» урана не пойдут как надо, да и проблема защиты усложнится многократно. Конечно, нет времени ждать, пока исчезнут, скажем, стронций или цезий, у которых периоды полураспада около 30 лет. Но иод, распадающийся наполовину всего за 8,2 дня, примерно в 1300 раз активнее опасных «тридцатилетников» — стронция и цезия. Примерно месяца за два он исчезает практически полностью.

Красивое зрелище эти подводные блоки. Мягкое, с виду мирное такое сияние с синеватым оттенком истекает из них. Это светятся выбитые мощными гамма-квантами из водяных молекул, ставшие сверхсветовыми электроны. Так называемое черенковское излучение.

Но и после подводного заточения нейтронизированный уран — сильнейший

источник радиоактивности. Для его переработки в Ханфорде построили целых три завода: два основных и один резервный. Каждое здание высотой с восьмизэтажный дом, шириной в 20, а длиной по фасаду 244 метра — по объему почти ленинградское, точнее, петербургское, Адмиралтейство, а по вложенным материалам и средствам многократно значительнее. Толстостенные корпуса заводов напичканы баснословно дорогим оборудованием из специальной нержавеющей стали. Бетонные мастодонты производили внушительное впечатление, чем-то напоминая океанское судно, вот почему окрестили их «Куин Мэри» — был такой океанский лайнер-рекордсмен.

Прежде чем эта «Куин Мэри» отчалила от дебаркадера, ее операторам вменили в обязанность набить руку в дистанционном управлении оборудованием. Это было мудрое решение. Вначале в «слепом полете» дело шло со скрипом, но со временем появилась сноровка — сбоев и срывов не стало. А ведь во время плавания «Мэри» уже никакая ремонтная бригада не могла бы проникнуть в трюмы адского судна и устранить последствия ошибки оператора.

«Когда «Куин Мэри» начала функционировать,— вспоминала Леона Маршалл, сотрудница Энрико Ферми,— и груды облученных блоков посыпались в горячую концентрированную азотную кислоту, громадные султаны оранжевых облаков поднялись над бетонными каньонами, взвиваясь на тысячи футов ввысь, а затем медленно уходили, гонимые ветром». Красивая картина. У Леоны Маршалл было явное литературное дарование.

В те сороковые годы в постройку трех «Куин Мэри» и в свою излюбленную автомобильную промышленность США вложили примерно равные капиталы. Недешево обошлись какие-то несколько сотен килограммов ядерной взрывчатки.

А теперь вспомните реплику Берии. От технической ли малограмотности или гиперболического почитания «гения всех времен и народов», но оказался он недалек от истины. Большая плутониевая энергетика должна бы оперировать тоннами. Правда, теперь, пожалуй, не стоит объяснять, каких затрат, материальных и творческих, потребует проблема БПЭ.

К тому же, у нее, у этой самой БПЭ, есть основательный конкурент — термоядерный синтез, пока не вышедший из колыбели научно-исследовательских работ, если говорить о мирном его применении. Вряд ли скоро задышит новый источник энергии, пригодный для народного хозяйства в условиях долгожданной и уже многострадальной, не успев родиться, «рыночной экономики». Он, этот источник,

должен удовлетворять многим требованиям, сводящимся к одному: быть конкурентоспособным с уже существующими, причем и экономически, и экологически.

Автор в общем-то за термояд — только ради Бога, не надо обещать к такому-то сроку! Будет ли это нечто похожее на «токамаки», или сработает изящный мю-катализ, или появится вовсе неожиданная идея — мы не знаем, и вряд ли кто сегодня знает.

А пока термояд если в чем и преуспел, то прежде всего в устройствах, рождающих сверхмощные импульсные нейтронные потоки. Так деликатно мы назовем водородные бомбы.

РОЖДЕННАЯ В ТАИНЕ

Да, термояд работает в супербомбе, а в нее, как один из главных ингредиентов, входит плутоний.

Конструкция водородной бомбы впервые раскрыта в официальном отчете Лос-Аламосской лаборатории, посвященном ее сорокалетнему юбилею и увидевшем свет в 1983 году. Вот и цитата из отчета, написанная по-канцелярски серьезно:

«Первый мегатонный взрыв стал возможен благодаря использованию рентгеновских лучей, испускаемых в процессе взрыва ядерной бомбы-запала, для сжатия вещества и инициирования детонации второго взрывного устройства. Процесс воздействия меняющегося во времени по интенсивности источника рентгеновского излучения на второе взрывное устройство называют радиационным переносом».

Об этом рассказывает Ричард Роудс в своей книге «Атомная бомба». Первая основополагающая идея была высказана польским математиком, а затем американским физиком (в одном лице) по имени Станислав Улам. Взрывная термоядерная реакция идет, если смесь дейтерия и трития нагреть до десятков миллионов градусов и поддерживать при этом высокое давление.

Удивительно, как складываются судьбы людей! Станислав Улам, талантливый молодой математик, прибыл в США из Польши со своим младшим братом, как он полагал, на весьма краткий срок. Осенью 1939 года настало время возвращаться на родину. К счастью, не успел. Танки вермахта въехали в Польшу за несколько дней до назначенной даты возвращения...

Но что может быть жарче взрыва ядерной бомбы? Это же великолепный подогреватель! Разместим концентрическими слоями плутоний и термоядерный

материал, рассуждали конструкторы, и после ядерного взрыва произойдет гидродинамический нагрев смеси, она возгорится — и нет проблем...

Все проекты подобного рода оказались несостоятельными. Из теоретических оценок следовало однозначно — конструкция разлетится в прах еще до начала термоядерной реакции.

Прозрение пришло к Уламу неожиданно, видимо, после того как он тщательно проанализировал процесс распространения электромагнитных волн в первый миг ядерного взрыва. В авангарде движутся рентгеновские лучи. Они, как всякие электромагнитные волны, бегут со скоростью света и, конечно, обгоняют ударную волну. И вот, именно здесь Улам ясно представил себе: если термоядерные материалы отделить от запальной ядерной бомбы, то поток рентгеновского излучения

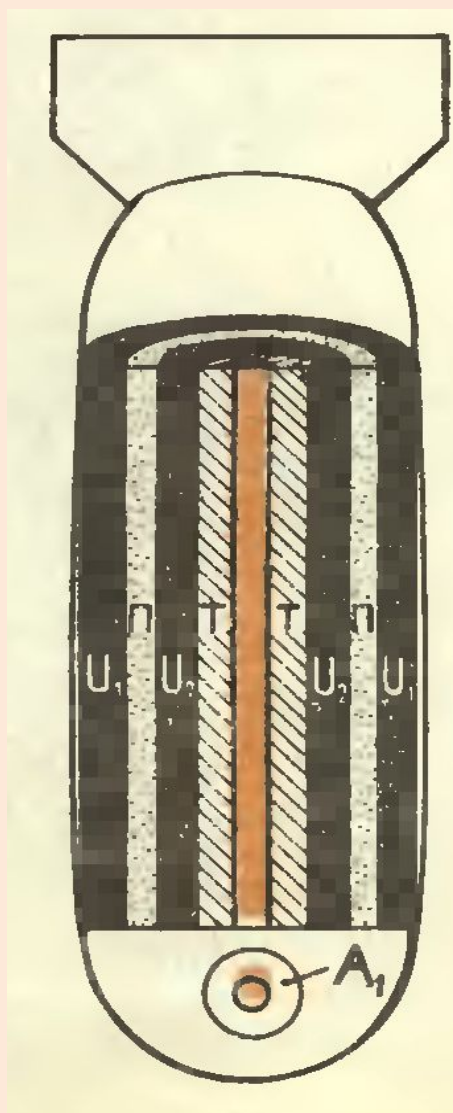


Схема термоядерной (водородной) бомбы. После взрыва инициирующей атомной бомбы A_1 газы сверхвысокого давления, продукты разложения пластика P , под действием рентгеновского излучения бомбы обжимают плутониевый стержень (в центре). Он достигает критических параметров, и начинается второй взрыв. Оба взрыва сопровождаются выделением нейтронов с энергией 1—2 МэВ. Термоядерная смесь в слое T — T достигает температуры и давления, достаточных для синтеза легких ядер — дейтерия и трития. При этом рождаются еще более энергичные нейтроны, с энергией 14 МэВ. Эти нейтроны легко делят уран-238, из которого сделаны цилиндры U_1 — U_1 и U_2 — U_2 . Суммарная энергия взрыва в основном определяется количеством термоядерной смеси и размерами урановых цилиндров

взорвавшейся бомбы-запала почти наверняка успеет поджечь термоядерную смесь за тот краткий миг, пока в область термояда добирается «медленная» взрывная ударная волна, и ей уже нечего будет разрушать. Рентген нагреет дейтерий и тритий, подобно тому, как разогревает пищу микроволновая печь, но сжать материал до высокой плотности (а это необходимо) он не в состоянии. Где же выход?

После недолгих раздумий Улам и Теллер (последнее имя архизнаменитое!) пришли к выводу: требуется дополнительное вещество. Подходящим оказался обыкновенный полимер. (Впрочем, очень ли он обыкновенный, нам не скажут: ноу-хау.) Под действием рентгена пластик, охватывающий контейнер с тритием и дейтерием, мгновенно превращается в горячий ионизированный газ, подобный продуктам взрыва тринитротолуола, но с существенным отличием: в «рентгеновском» варианте давление в сотни тысяч раз больше. Отсюда следовало — ядерный детонатор, малую атомную бомбу размером с футбольный мяч, следует поместить вдали от полимера и термоядерной смеси, расположенных в единой вакуумной камере. Теперь, после подрыва запала, поток X-лучей войдет в пластмассу раньше ударной волны.

Конструкция пластиковой оболочки вокруг термоядерного материала проще, чем система линз атомной бомбы,— рентгеновские лучи практически одновременно поглощаются всем объемом пластика, и сжатие получается в высшей степени мощным, синхронным и симметричным. Однако предложенный Геллером и Уламом первый пластиковый вариант «растопки» не прошел, а стал лишь важным этапом к цели.

«9 марта 1951 года,— писал позднее Ганс Бете,— ...Теллер и Улам представили секретную работу, содержащую первую половину решения проблемы. Через месяц Теллер додумался до решения второй части проблемы... Все это немедленно вошло в главную часть термоядерной программы». (Из уже цитированной книги Р. Роудса.)

Вторая часть проблемы, по-видимому, заключалась в ином размещении вещества в бомбе — «цилиндры в цилиндрах». Вначале шел тяжелый урановый цилиндр, затем цилиндрический слой пластика и вновь слой урана, а за ним термоядерная смесь,— своего рода кольца, окружающие центральный плутониевый стержень (см. схему на рис.).

Теперь, после подрыва уединенной ядерной бомбы-запала, плазма, в которую превратился пластик, обжимает плутониевый стержень, он достигает критических размеров и, испаряясь, дает дополнительные нагрев и давление термоядерной смеси.

Лавина очень быстрых термоядерных нейтронов делит ядра урана-238 без всякого труда — энергии хватает. Нейтроны, вылетающие из урана, идут на синтез трития. Такую систему называют «деление — синтез — деление» (имеются в виду деление плутония в бомбе, термоядерный синтез и рождение очень быстрых нейтронов, деление термоядерными нейтронами урана-238). В этой системе количество взрывчатки неограниченно. Поэтому и построены бомбы мощностью в десятки и сотни мегатонн. Вспомним: Хиросиму сжег «малыш» всего лишь в 70 килотонн...

Уже обычная атомная бомба ставила под угрозу самое существование человечества. И все же надежда, хоть и призрачная, кое у кого оставалась — выживем и под градом плутониевых бомб. Все-таки 20-тысячетонный эквивалент тринитротолуола опустошает «не так уж много» квадратных километров, а о последствиях разрушения АЭС тогда не думали, их еще просто не успели построить.

Водородное оружие рассеяло все и всяческие иллюзии. Теперь в руках несовершенного племени людей оказалось то, что до сих пор принадлежало по праву лишь богам — машина Судного дня. Однажды запущенная, она не остановится, повлечет за собой цепную реакцию сверхвзрывов, сметет ударной волной, сожжет радиоактивным излучением, задушит отравленной атмосферой все живое. Разве что некая элита отсидится в подземных бункерах с запасами продовольствия, топлива и кислорода, после чего ее деградировавшие потомки начнут все вновь с первобытного коммунизма. Так что лозунг «Вперед к коммунизму!», как видите, имеет еще один, не такой уж фантастический смысл.

Кстати, в последние годы это начинают понимать даже главные распорядители ядерного оружия. Американцы, например, отказались от производства сверхмощных термоядерных бомб, ибо стало ясно, что в случае их массового применения среди того, что они уничтожат, окажется озоновый слой планеты.

Поэт сказал: «Гений и злодейство — две вещи несовместные». Но сказал это устами наивного Моцарта. Опыт учит иному. Теллер и Улам были уверены, что творят добро. Лев Давыдович Ландау говаривал: «Физики спасли человечество от войн», полагая, что теперь уж, когда водородная бомба стала реальностью, не найдется идиота, способного развязать мировую войну. Такое мнение бытует и поныне. Маргарет

Тэтчер, например, всерьез считает ядерное оружие полезной сдерживающей силой.

«Мы не видим в этих людях извращения понятия о жизни, о добре и зле для оправдания своего положения только потому, что круг людей с такими извращенными понятиями больше и мы сами принадлежим к нему». Слова эти из «Воскресения» Л. Н. Толстого...

ЭПИЛОГ

Не хочется заканчивать на такой грустной ноте. Все-таки нет худа без добра. В природе после водородных испытательных взрывов появился новый изотоп: плутоний-244. Он образовался после захвата ураном шести нейтронов подряд и последующего бета-распада. Это самый безвредный изотоп из всех трансурановых элементов. Он живет около 100 миллионов лет. Это удобнейшая мишень для синтеза новых элементов, о свойствах которых мы сегодня знаем еще очень немного.

Если не это шанс — то что?

Химия и Жизнь



britannica.com

Испытание водородной бомбы