

Бомба на основе изотопа гафния Hf-178-m2 могла стать самой дорогой и мощной в истории неядерных взрывных устройств. Но не стала. Сейчас этот случай признан одним из самых громких провалов DARPA — Агентства перспективных оборонных проектов американского военного ведомства.

Излучатель был собран из выброшенного рентгеновского аппарата, стоявшего некогда в кабинете зубного врача, а также бытового усилителя, купленного в ближайшем магазине. Он сильно контрастировал с громкой вывеской «Центр квантовой электроники», которую видели входящие в небольшую служебную пристройку в Техасском университете в Далласе. Однако со своей задачей аппарат справлялся — а именно, исправно бомбардировал потоком рентгеновских лучей перевернутый пластиковый стаканчик.

Конечно, сам стаканчик был совершенно ни при чем — он просто служил подставкой под еле заметный образец гафния, вернее, его изомера Hf-178-m2 . Эксперимент продолжался несколько недель. Но после тщательной обработки полученных данных директор Центра Карл Коллинз объявил о несомненном успехе. Судя по записям регистрирующей аппаратуры, его группа нащупала путь к созданию миниатюрных бомб колоссальной мощности — устройств размером с кулак, способных производить разрушения, эквивалентные десяткам тонн обыкновенной взрывчатки.

Так в 1998 году началась история изомерной бомбы, которая в дальнейшем стала известна как одна из самых больших ошибок в истории науки и военных исследований.

А начиналось все вот так. В 1921 году немецкий физик О. Ганн обнаружил некий доселе неизвестный изотоп урана, тут же названный им ураном-Z. По атомной массе и химическим свойствам он не отличался от уже известных. Интерес для науки представлял его период полураспада — он был немного больше, чем у других изотопов урана. В 1935 братья Курчатовы, Л.И. Русинов и Л.В. Мысовский получили специфический изотоп брома с похожими свойствами. Именно после этого мировая наука плотно занялась проблемой, названной изомерией атомных ядер. За прошедшее с тех пор время было найдено несколько десятков изомерных изотопов с относительно большим временем жизни, однако сейчас нас интересует только один, а именно 178m2Hf (изотоп гафния с атомной массой в 178 единиц. m2 в индексе позволяет различать его и изотопа m1 с такой же массой, но другими прочими показателями).

От прочих своих изомерных собратьев с периодом полураспада больше года этот изотоп гафния отличается наибольшей энергией возбуждения — около 1,3 ТДж на килограмм массы, что приблизительно равно взрыву 300 килограмм тротила. Высвобождение всей этой массы энергии происходит в виде гамма-излучения, хотя это процесс очень и очень небыстрый. Таким образом, теоретически возможно военное применение данного изотопа гафния. Нужно было только заставить атом или атомы переходить из возбужденного состояния в основное с соответствующей скоростью. Тогда освобождающаяся энергия могла бы превзойти по эффекту любое существующее оружие. Теоретически могла.

До практики дело дошло в 1998 году. Тогда группа сотрудников Техасского университета под руководством Карла Б. Коллинза основала в одной из университетских построек «Центр квантовой электроники». Под серьезной и пафосной вывеской скрывались набор обязательного для подобных лабораторий оборудования, горы энтузиазма и нечто, отдаленно напоминавшее рентгеновский аппарат из кабинета дантиста и усилитель для аудиосистемы, попавшие в руки злого гения. Из этих приборов ученые «Центра» собрали примечательный агрегат, который и должен был сыграть главную роль в их исследовании.

Усилитель формировал электрический сигнал с нужными параметрами, который в рентгеновском аппарате преобразовывался в рентгеновское излучение. Оно направлялось на крохотный кусочек 178m2Hf , лежащий на перевернутом одноразовом стакане. Честно сказать, это выглядит далеко не так, как должна смотреться передовая наука, к которой, собственно говоря, относилась группа Коллинза. Несколько дней рентгеновский прибор облучал препарат гафния, а датчики бесстрастно записывали все, что «чувствовали». Еще несколько недель ушло на анализ результатов эксперимента.

Научная сенсация

В своем отчете Коллинз писал, что ему удалось зарегистрировать крайне незначительный рост рентгеновского фона, который испускал облучаемый образец. Между тем именно рентгеновское излучение является признаком перехода 178m2Hf из изомерного состояния в обыкновенное (см. врезку). Следовательно, утверждал Коллинз, его группе удалось добиться ускорения этого процесса за счет бомбардировки образца рентгеном (при поглощении рентгеновского фотона с относительно небольшой энергией ядро переходит на другой возбужденный уровень, а затем следует быстрый переход на основной уровень, сопровождающийся высвобождением всего запаса энергии).

Чтобы заставить образец взорваться, рассуждал Коллинз, нужно лишь увеличить мощность излучателя до определенного предела, после которого собственное излучение образца окажется достаточным для того, чтобы запустить цепную реакцию перехода атомов из изомерного состояния в нормальное. Результатом станет весьма ощутимый взрыв, а также колоссальный всплеск рентгеновского излучения.

Научное сообщество встретило эту публикацию с явным недоверием, в лабораториях по всему миру начались эксперименты по проверке результатов Коллинза. Некоторые исследовательские группы поторопились заявить о подтверждении

результатов, хотя их цифры лишь незначительно превышали измерительные ошибки. Но большинство экспертов все же сочло, что полученный результат является следствием неверной интерпретации экспериментальных данных.

Военный оптимизм

Однако одна из организаций чрезвычайно заинтересовалась этой работой. Несмотря на весь скептицизм научного сообщества, американские военные от обещаний Коллинза буквально потеряли голову. И было от чего! Изучение ядерных изомеров открывало дорогу к созданию принципиально новых бомб, которые, с одной стороны, были бы значительно мощнее обыкновенной взрывчатки, а с другой — не попадали бы под международные ограничения, связанные с производством и применением ядерного оружия (изомерная бомба не является ядерной, поскольку в ней не происходит превращения одного элемента в другой).

Изомерные бомбы могли бы быть очень компактны (у них нет ограничения по массе снизу, поскольку процесс перехода ядер из возбужденного состояния в обычное не требует наличия критической массы), а при взрыве высвобождали бы огромное количество жесткого излучения, уничтожающего все живое. К тому же гафниевые бомбы можно было бы рассматривать как относительно «чистые» — ведь основное состояние гафния-178 стабильно (он не радиоактивен), и при взрыве практически не происходило бы заражения местности.

Выброшенные деньги

В течение последующих нескольких лет агентство DARPA вложило в изучение Hf-178-m2 несколько десятков миллионов долларов. Однако военные так и не дождались создания рабочего образца бомбы. Отчасти это объясняется неудачами исследовательского плана: в ходе нескольких экспериментов с использованием мощных рентгеновских излучателей Коллинзу не удалось продемонстрировать хоть сколько-нибудь значимое увеличение фона облучаемых образцов.

Попытки повторить результаты Коллинза в течение нескольких лет предпринимались неоднократно. Однако ни одна другая научная группа не смогла достоверно подтвердить ускорение распада изомерного состояния гафния. Этим вопросом занимались и физики из нескольких американских национальных лабораторий — Лос-Аламосской, Аргоннской и Ливерморской. Они использовали значительно более мощный рентгеновский источник — Advanced Photon Source Аргоннской национальной лаборатории, но так и не смогли обнаружить эффект индуцированного распада, хотя интенсивность облучения в их экспериментах на несколько порядков превышала аналогичные показатели в опытах самого Коллинза.

Их результаты подтвердили и независимые эксперименты в еще одной национальной лаборатории США — Брукхейвенской, где для облучения использовался мощный синхротрон National Synchrotron Light Source. После ряда неутешительных выводов интерес к этой теме у военных угас, финансирование прекратилось, и в 2004 году программа была закрыта.



■ 90% производства гафния потребляет атомная энергетика. Это практически идеальный материал для изготовления поглощающих стержней системы управления и защиты — он коррозионно-стойк при контакте с водой и паром, механически прочен и тугоплавок. Кроме того, его свойства



Бриллиантовые боеприпасы

Между тем с самого начала было ясно, что при всех своих преимуществах изомерная бомба обладает и целым рядом принципиальных недостатков. Во-первых, Hf-178-m2 радиоактивен, так что бомба будет не совсем уж «чистая» (некоторое заражение местности «несработавшим» гафнием все же произойдет). Во-вторых, изомер Hf-178-m2 не встречается в природе, а процесс его наработки довольно дорог.

Получить его можно одним из нескольких способов — либо облучая альфа-частицами мишень из иттербия-176, либо протонами — вольфрам-186 или природную смесь изотопов тантала. Таким способом можно получать микроскопические количества изомера гафния, которых должно вполне хватить для проведения научных исследований.

Более-менее массовым способом получения этого экзотического материала выглядит облучение нейтронами гафния-177 в атомном реакторе на тепловых нейтронах. Точнее, выглядело — пока ученые не подсчитали, что за год в таком реакторе из 1 кг природного гафния (содержащего менее 20% изотопа 177) можно получить всего-навсего около 1 микрограмма возбужденного изомера (выделение этого количества — отдельная проблема).

Ничего не скажешь, массовое производство! А ведь масса малого боевого заряда должна составлять хотя бы десятки граммов... Получалось, что такие боеприпасы получаются даже не «золотыми», а прямо-таки «бриллиантовыми»...

Научное закрытие

Но вскоре было показано, что и эти недостатки не являются решающими. И дело тут не в несовершенстве техники или недоработках экспериментаторов. Окончательную точку в этой шумевшей истории поставили российские физики. В 2005 году Евгений Ткаля из Института ядерной физики МГУ опубликовал в журнале «Успехи физических наук» статью, где он изложил все возможные способы ускорения распада изомера гафния. Их существует всего три: взаимодействие излучения с ядром и распад через промежуточный уровень, взаимодействие излучения с электронной оболочкой, которая затем передает возбуждение на ядро, и изменение вероятности спонтанного распада.

Изомер гафния 178m2Hf представляет собой ядро гафния-178 в возбужденном состоянии с запасенной энергией 2,446 МэВ, что соответствует более чем гигаджоулю (примерно 250 кг в тротиловом эквиваленте) на один грамм вещества. Из-за высокого спина, затрудняющего высвобождение запасенной энергии, у этого изомера рекордно большой период полураспада — 31 год. Поэтому так соблазнительна мысль о создании бомбы на основе этого изомера: достаточно взять гафний-178, перевести его в возбужденное состояние, упаковать в оболочку и снабдить ее каким-либо устройством высвобождения энергии. При взрыве такой бомбы выделялись бы исключительно фотоны, т. е. гамма-лучи; она производила бы разрушения вокруг себя без радиационного заражения окружающей среды, и потому на нее не распространялись бы соглашения по обычному ядерному вооружению.

Чтобы бомба была по-настоящему эффективной, необходимо ускорить процесс высвобождения энергии в миллионы раз — т. е. период полураспада с 31 года надо сократить до секунд. Самый простой способ ускорить распад — облучить ядра рентгеновскими лучами. Поглотив рентгеновский фотон относительно небольшой энергии, ядро переходит на другой возбужденный уровень и оттуда уже быстро высвобождает всю запасенную энергию.

Наблюдение этого эффекта и описывается в ряде публикаций американских исследователей, появившихся в период с 1999-го по 2005 год. Правда, речь идет об очень небольшом ускорении распада: в зависимости от условий конкретного эксперимента средняя интенсивность излучения изомерного образца возрастала лишь на несколько процентов. Тем не менее это не лишило американских исследователей оптимизма, и они надеялись впоследствии достичь более впечатляющих успехов.

Разумеется, другие экспериментальные группы предприняли попытки повторить эксперименты техасских исследователей. Сразу в четырех национальных лабораториях США — Лос-Аламосской, Аргоннской, Лоуренс-Ливермор и Брукхэвенской — были проведены аналогичные эксперименты с гораздо более мощными рентгеновскими лучами, и ни один из них не подтвердил ускорение распада гафниевого изомера.

Оказалось, конфликт не только с экспериментом. В критической статье, вышедшей в майском номере журнала «УФН» (Е. В. Ткаля, «Успехи Физических Наук», т. 175, Н. 5, 2005, стр. 555-561), а также в ряде других работ сотрудник НИИЯФ МГУ Е. В. Ткаля продемонстрировал, что заявленные техасскими исследователями результаты не могут быть поняты теорией даже при самых сильных предположениях о структуре этого изомера. Проведя оценки эффективности всех возможных механизмов этого распада, автор получил значения на несколько порядков меньшие, чем те, что следуют из работ техасцев. Можно без преувеличения сказать, что заявленные ими результаты противоречат всему более чем полувековому опыту ядерной физики.

Таким образом, в этой истории — по крайней мере, на сегодняшний день — можно поставить точку. Ядра 178m2Hf , конечно, несут в себе запасенную энергию, но заставить ее эффективно выделяться с помощью современных технологий пока нереально. Заявленные результаты не подтверждены другими исследователями и находятся в противоречии со всей теоретической ядерной физикой. Гафниевая бомба пока остается уделом фантастов, хотя, конечно, нельзя исключить вероятности, что в будущем появятся новые, неведомые сейчас методы ускорения распада долгоживущих изомеров.

Завершающая Ядерная изомерия

Понятие ядерной изомерии возникло в 1921 году, когда немецкий химик, будущий лауреат Нобелевской премии Отто Ган обнаружил «неправильный» вариант одного из продуктов распада урана, названного им «ураном XII» (UXII). Ни по своим химическим свойствам, ни по массовому числу он не отличался от уже известного радиоактивного элемента «урана Z» (UZ) — и все же он обладал иным, значительно более продолжительным периодом полураспада. Позднее выяснилось, что в обоих случаях это был изотоп протактиний-234 (^{234}Pa) — в возбужденном (изомерном) и основном состоянии ядра.

Ядерные изомеры — это долгоживущие возбужденные состояния атомных ядер. Такие ядра имеют необычную структуру: при определенных условиях формирующие их нейтроны и протоны могут принять особую, возбужденную конфигурацию. Большая часть изомеров отличается крайне недолгим сроком жизни — ядра практически моментально переходят в обыкновенное состояние, освобождая избыток энергии в виде фотонов рентгеновского диапазона или передавая его электронам атомной оболочки (так называемая внутренняя конверсия). Однако некоторые могут оставаться стабильными в течение довольно долгого срока. К числу таких физических диковинок принадлежит, в частности, $^{178\text{m}2}\text{Hf}$ ($^{178\text{m}2}\text{Hf}$).

Мета-стабильные изомеры можно использовать в роли своеобразной «энергетической губки», способной сохранять впитанную энергию на определенный срок и с относительно небольшими потерями. Период полураспада $^{178\text{m}2}\text{Hf}$ составляет 31 год: это означает, что за три десятка лет кусок изомерного гафния потеряет только половину избыточной энергии, высвободив ее в виде рентгеновского излучения.

Кроме того, среди известных ныне ядерных изомеров $^{178\text{m}2}\text{Hf}$ обладает наибольшей энергией возбужденного состояния — 2,446 МэВ, так что один грамм возбужденного изомера по запасенной энергии эквивалентен примерно 300 кг тринитротолуола. Все это значит, что из $^{178\text{m}2}\text{Hf}$ могла бы получиться прекрасная взрывчатка — нужно лишь найти способ, позволяющий резко ускорить его переход в нормальное состояние, то есть создать устройство, которое сыграло бы в изомерной бомбе роль детонатора.

Сейчас Карл Б. Коллинз в целом согласен с выводами коллег, но по-прежнему не отказывает изомерам в практическом применении. К примеру, направленное гамма-излучение, полагает он, можно использовать для лечения онкологических больных. А медленное, невзрывное, излучение энергии атомами может в перспективе дать человечеству сверхъёмкие аккумуляторы огромной мощности.

Однако все это будет только в будущем, близком или далеком. И то, если ученые решат снова заняться проблемой практического применения ядерных изомеров. Если те работы увенчаются успехом, то вполне возможно, что хранящийся под стеклом в Техасском университете стакан из опыта Коллинза (теперь этот артефакт называется «Мемориальной подставкой для эксперимента доктора К.») будет перенесен в более крупный и уважаемый музей.