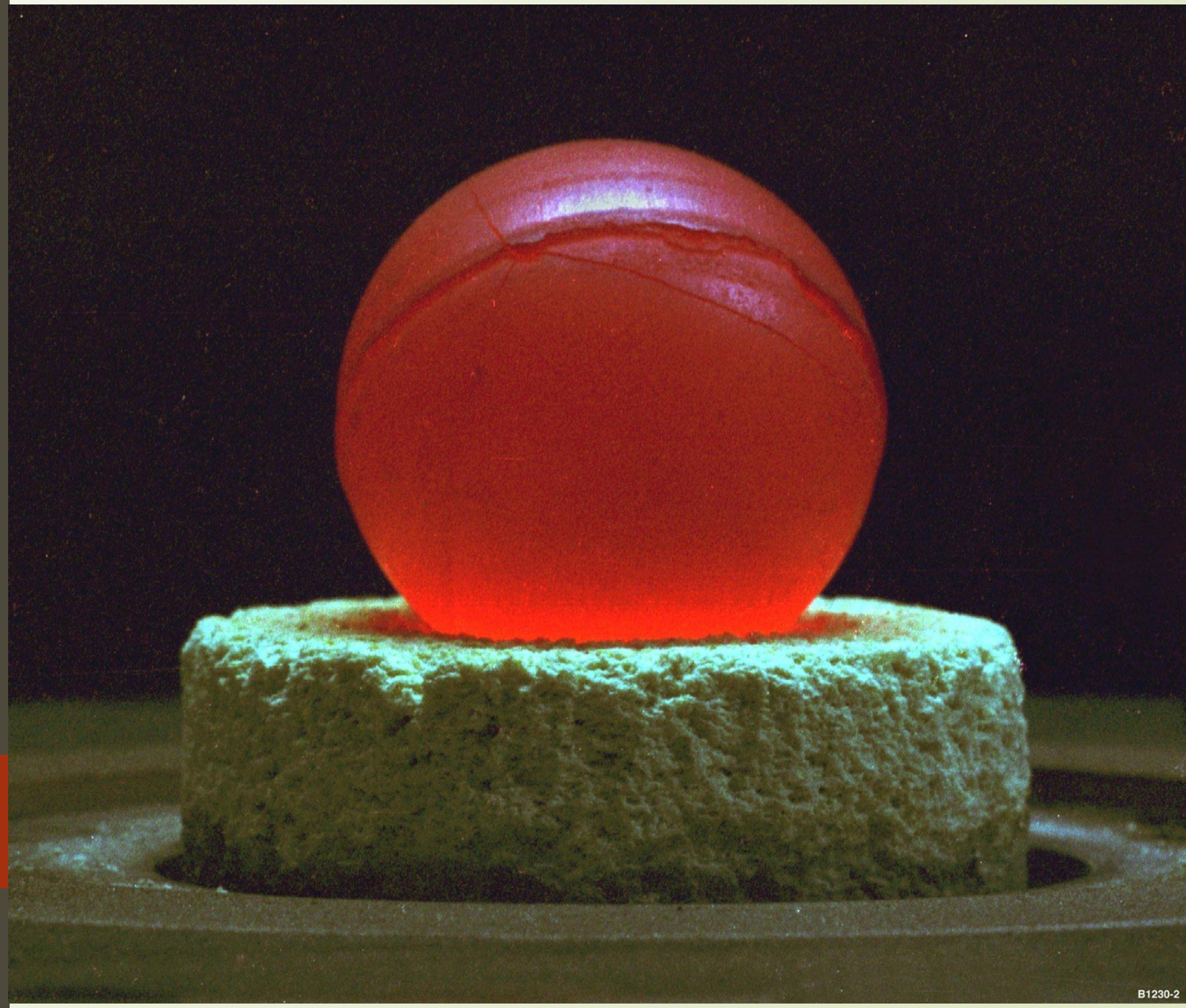
Плутоний



Открытие плутония

Открытие плутония группой сотрудников Калифорнийского университета в Беркли под руководством Г. Т. Сиборга было совершено с помощью 60-дюймового циклотрона. Первая бомбардировка октаоксида триурана-238 ($^{238}U_3O_8$) дейтронами, разогнанными в циклотроне до 14—22 МэВ и проходящими через алюминиевую фольгу толщиной 0,002 дюйма (50,8 мкм), была произведена 14 декабря 1940 года. Сравнивая образцы, полученные и выдержанные в течение 2,3 суток, с выделенной фракцией чистого нептуния, учёные обнаружили существенную разницу в их альфа-активностях и предположили, что её рост через 2 суток обусловлен влиянием нового элемента, являющегося дочерним по отношению к нептунию. Дальнейшие физические и химические исследования продолжались 2 месяца. В ночь с 23 на 24 февраля 1941 года был проведён решающий эксперимент по окислению предполагаемого элемента с помощью пероксиддисульфат-ионов и ионов серебра в качестве катализатора, который показал, что нептуний-238 спустя два дня претерпевает бета-минус-распад и образует химический элемент под номером 94 в следующей реакции: $^{238}_{92}U\ (d,2n) \rightarrow {}^{238}_{93}Np \rightarrow (\beta^-)\ {}^{238}_{94}Pu$

Происхождение названия

Первое Печатное Упоминание Термина *Плутоний* Датируется 21 Марта 1942 Года. Название 94-му Химическому Элементу Было Предложено Артуром Валем И Гленном Сиборгом. В 1948 Году Эдвин Макмиллан Предложил Назвать 93-й Химический Элемент *Нептунием*, Так Как Планета Нептун — Первая За Ураном. По Аналогии В Честь Второй Планеты За Ураном, Плутона, Был Назван Плутоний. Открытие Плутония Произошло Через 10 Лет После Открытия Карликовой Планеты (Примерно Такой Же Отрезок Времени Понадобился На Открытие Урана И На Именование 92-го Химического Элемента).

Первоначально Сиборг Предложил Назвать Новый Элемент «Плутием», Однако Позже Решил, Что Название «Плутоний» Звучит Лучше. Для Обозначения Элемента Он В Шутку Привёл Две Буквы «Pu» — Это Обозначение Представилось Ему Наиболее Приемлемым В Периодической Таблице.Также Сиборгом Были Предложены Некоторые Другие Варианты Названий, Например, *Ультимий* (Англ. *Ultimium* От Лат. *Ultimus* — Последний), *Экстремий* (*Extremium* От Лат. *Extremus* — Крайний), Из-за Ошибочного В То Время Суждения, Что Плутоний Станет Последним Химическим Элементом В Периодической Таблице. Однако Элемент Назвали «Плутоний» В Честь Последней Планеты Солнечной Системы.

Тринити и Толстяк

Первое ядерное испытание под названием Тринити, проведённое 16 июля 1945 г. возле города Аламогордо, Нью-Мексико, использовало плутоний в качестве ядерного заряда. В Штучке (англ.) (взрывное устройство) использовались обычные линзы для того, чтобы сжать плутоний для достижения критических размеров и плотности. Это устройство было создано для пробы нового типа ядерной бомбы «Толстяк» на основе плутония. Одновременно с этим из Ежа (англ.) начали поступать нейтроны для ядерной реакции. Устройство было сделано из полония и бериллия; этот источник применялся в первом поколении ядерных бомб, так как в то время единственным источником нейтронов считалась эта композиция. Вся эта композиция позволила достичь мощного ядерного взрыва. Полная масса бомбы, использованной при ядерном испытании Тринити, составляла 6 т, хотя в ядре бомбы было всего 6,2 кг плутония, а предполагаемая высота для взрыва над городом составляла 225—500 м. Приблизительно 20 % использованного плутония в этой бомбе составило 20000 т в тротиловом эквиваленте.

Бомба Толстяк была сброшена на Нагасаки 9 августа 1945. В результате взрыва моментально погибло 70 тыс. человек и ранено ещё 100 тыс. Она имела схожий механизм: сделанное из плутония ядро помещалось в сферическую алюминиевую оболочку, которая обкладывалась химической взрывчаткой. Во время детонирования оболочки плутониевый заряд сжимался со всех сторон и его плотность перерастала критическую, после чего начиналась цепная ядерная реакция. В Малыше, сброшенном на Хиросиму тремя днями ранее, использовался уран-235, но не плутоний. Япония 15 августа подписала соглашение о капитуляции. После этих случаев в СМИ было опубликовано сообщение о применении нового химического радиоактивного элемента — плутония.

Физические свойства

Плутоний имеет аномально низкую для металлов температуру плавления (примерно 640 °C) и необычно высокую температуру кипения (3235 °C). Свинец является более лёгким металлом, чем плутоний примерно в два раза (разница в плотности составляет 19,86 − 11,34 ≈ 8,52 г/см³).

Как и у остальных металлов, коррозия плутония увеличивается с увеличением влажности. Некоторые исследования утверждают, что влажный аргон может быть более корродирующим элементом, чем кислород; это связано с тем, что аргон не реагирует с плутонием, и, как следствие, плутоний начинает растрескиваться[110][~ 10].

Альфа-распад, который сопровождается испусканием ядер гелия, является наиболее распространённым видом радиоактивного распада изотопов плутония. Типичный ядерный боеприпас имеет около 5 кг плутония, в котором находится примерно $12{,}5 \cdot 10^{24}$ атомов. С учётом периода полураспада 24000 лет каждую секунду в таком заряде распадается около $11{,}5 \cdot 10^{12}$ атомов, выделяя 5,157 МэВ благодаря альфа-частицам. В пересчёте на количество энергии это составляет 9,58 Вт. Тепло, производимое благодаря распаду ядер и испусканию ими альфа-частиц, делает плутоний тёплым на ощупь[56][112].

Плутоний обладает самым высоким удельным электрическим сопротивлением среди всех изученных актиноидов (на данный момент), которое составляет 150 мкОм·см (при +22 °C). Его твёрдость составляет 261 кг/мм³ (для α-Pu).

Благодаря тому, что плутоний радиоактивен, он со временем претерпевает изменения в своей кристаллической решётке. Плутоний претерпевает некое подобие отжига также благодаря самооблучению из-за повышения температуры выше 100 K.

Химические свойства

Плутоний проявляет четыре степени окисления в водных растворах и одну очень редкую:

- Pu^{III}, в качестве Pu^{3+} (светло-фиолетовый),
- Pu^{IV}, в качестве Pu^{4+} (шоколадный),
- Pu^{V}, в качестве PuO_2^{+} (светлый),
- Pu^{VI}, в качестве PuO_2^{2+} (светло-оранжевый),
- Pu^{VII}, в качестве PuO_5^{3-} (зелёный) — также присутствуют семивалентные ионы.

Металлический плутоний получается благодаря реакции
его тетрафторида с барием, кальцием или литием при температуре 1200 °C:

$PuF4 + 2Ca > Pu + 2CaF2$ (1200 °C)

Он реагирует с кислотами, кислородом и их парами, но только не с щелочами (в растворах которых заметно не растворяется, как и большинство актиноидов). Быстро растворяется в хлороводороде, иодоводороде, бромоводороде, 72 % хлорной кислоте, 85 % ортофосфорной кислоте, концентрированной CCl_3COOH, сульфаминовой кислоте и кипящей концентрированной азотной кислоте. Плутоний инертен к концентрированным серной и уксусной кислотам; в их растворах медленно растворяется, то есть реагирует и образует соответствующие соли. При температуре 135 °C металл самовоспламенится благодаря реакции с кислородом, а если его поместить в атмосферу тетрахлорметана, то взорвётся.

Применение плутония

Промышленный химический элемент принято классифицировать на оружейный и реакторный («энергетический») плутоний.

Так, для производства ядерного вооружения из всех существующих изотопов допустимо применять только плутоний 239, в котором не должно быть более 4.5% плутония 240, так как он подвержен самопроизвольному делению, что значительно затрудняет изготовление боевых снарядов.

Плутоний-238 находит применение для функционирования малогабаритных радиоизотопных источников электрической энергии, к примеру, в качестве источника энергии для космической техники.

Несколько десятилетий тому назад плутоний применяли в медицине в кардиостимуляторах (приборы для поддержания сердечного ритма).

Первая атомная бомба, созданная в мире, имела плутониевый заряд. Ядерный плутоний (Pu 239) востребован как ядерное топливо для обеспечения функционирования энергетических реакторов. Также этот изотоп служит источником для получения в реакторах трансплутониевых элементов.

Первая атомная бомба, созданная в мире, имела плутониевый заряд. Ядерный плутоний (Pu 239) востребован как ядерное топливо для обеспечения функционирования энергетических реакторов. Также этот изотоп служит источником для получения в реакторах трансплутониевых элементов.

Если провести сравнение ядерного плутония с чистым металлом, изотоп обладает более высокими металлическими параметрами, не имеет фаз перехода, поэтому его широко используют в процессе получения элементов топлива.

Оксиды изотопа Плутония 242 также востребованы как источник питания для космических летальных агрегатов, техники, в ТВЭЛах.

Оружейный плутоний – это элемент, который представлен в виде компактного металла, в котором содержится не меньше 93% изотопа Pu239.

Данный вид радиоактивного металла применяют про производстве различных видов ядерного вооружения. (На заднем фоне изображена атомная бомба «малыш»)

Получают оружейный плутоний в специализированных промышленных атомных реакторах, которые функционируют на природном или на низкообогащенном уране, в результате захвата им нейтронов.

Изотопы плутония

Из изотопов плутония на данный момент известно о существовании 19-ти его нуклидов с массовыми числами 228—247. Только 4 из них нашли своё применение. Свойства изотопов имеют некоторую характерную особенность, по которой можно судить об их дальнейшем изучении — чётные изотопы имеют бо́льшие периоды полураспада, чем нечетные (однако данное предположение относится только к менее важным его нуклидам).

Министерство энергетики США делит смеси плутония на три вида:

1. оружейный плутоний (содержание ^{240}Pu в ^{239}Pu менее 7 %)
2. топливный плутоний (от 7 до 18 % ^{240}Pu) и
3. реакторный плутоний (содержание ^{240}Pu более 18 %)

Всего два изотопа этого элемента (^{239}Pu и ^{241}Pu) являются более способными к ядерному делению, нежели остальные; более того, это единственные изотопы, которые подвергаются ядерному делению при действии тепловых нейтронов. Среди продуктов взрыва термоядерных бомб обнаружены также ^{247}Pu и ^{255}Pu, периоды полураспада которых несоизмеримо малы.

Токсичность плутония

Все соединения плутония являются чрезвычайно ядовитыми веществами, сильнейшими радиоактивными ядами . Данные свойства проявляются как следствие α-излучения, так как зачастую приходится работать с α-активными изотопами (например, ^{239}Pu). Альфа-частицы представляют серьёзную опасность в том случае, если их источник находится в теле заражённого. При этом они повреждают окружающие элементы ткани организма. Хотя плутоний способен излучать γ-лучи и нейтроны, которые могут проникать в тело снаружи, их уровень слишком мал для того, чтобы причинить вред здоровью. Разные изотопы плутония обладают разной токсичностью, например, типичный реакторный плутоний в 8—10 раз токсичнее чистого ^{239}Pu, так как в нём преобладают нуклиды ^{240}Pu, который является мощным источником альфа-излучения.

Плутоний самый радиотоксичный элемент из всех актиноидов, однако считается отнюдь не самым опасным элементом

При ингаляции плутоний обладает канцерогенными свойствами и способен вызвать рак лёгкого. Однако следует помнить, что при попадании с пищей ^{14}C и ^{40}K гораздо более канцерогенны. Тем не менее, сам по себе плутоний крайне токсичен, так как имеет свойство концентрироваться в кроветворных участках костей и может вызвать заболевания через много лет после его попадания.

Самой вероятной формой попадания плутония в организм является его практически не растворимый в воде диоксид. Он применяется на АЭС в качестве источника электроэнергии. Следовательно, плутоний, из-за нерастворимости его оксида, имеет большие показатели полувыведения из организма.

Денатурированный плутоний

Если извлеченный из отработавшего топлива плутоний повторно использовать в реакторах на быстрых нейтронах, его изотопный состав постепенно становится менее пригодным для оружейного использования. После нескольких топливных циклов, накопление Pu-238, Pu-240 и Pu-242 делает его неупотребимым для этой цели. Подмешивание такого материала удобный метод "денатурировать" плутоний, или переработать отработавшее ядерное топливо, гарантируя нераспространение делящихся материалов. В основном это служит препятствием против использования реакторного плутония в низкотехнологичных дизайнах. Возросший выход тепла и радиация являются досаждающими помехами, но не серьезными препятствиями, хотя они и рождают значительные проектные ограничения и проблемы с обслуживанием. При усовершенствовании ЯВУ и организации надлежащего производственного процесса такие преткновения полностью преодолеваются.

Воспламеняемость

Металлический плутоний является пожароопасным, особенно если материал тонко измельчен. Во влажной среде плутоний образует на своей поверхности гидриды , которые являются пирофорными и могут воспламениться на воздухе при комнатной температуре. Плутоний расширяется до 70% по объему, так как он окисляется и, таким образом, может разбить свой контейнер. Радиоактивность горящего материала является дополнительной опасностью. Песок из оксида магния , вероятно, является наиболее эффективным материалом для тушения пожара плутония. Охлаждает горящий материал, выступая в качестве теплоотвода , а также блокирует кислород. Особые меры предосторожности необходимы для хранения или обработки плутония в любой форме; как правило, требуется атмосфера сухого инертного газа .

Список литературы:

1) Неорганическая химия в трёх томах / Под ред. Ю. Д. Третьякова. — М.: Издательский центр «Академия», 2007
2) https://tvoi-uvelirr.ru/plutonij-opisanie-plutoniya-svojstva-plutoniya/
3) https://gufo.me/dict/bse/Плутоний
4) http://himiya.gosstandart.info/himicheskie-elementy/aktinoidy/plutoniy/
5) Радиоактивные вещества / Под общ. ред. акад. АМН СССР Ильина Л. А. и др. — Справ. изд. — Л.: "Химия", 1990