

ПЕРСПЕКТИВИ ЗА ИЗПОЛЗВАНЕ НА ТОРИЙ КАТО ЯДРЕНО ГОРИВО

Цветелина Беширова

Технически университет-София

Какво щеше стане, ако можехме да построим ядрен реактор, който не може, да се разтопи, който произвежда евтина енергия, чието гориво не може да се използва за ядрено оръжие и изгаря така, както запасите от стари ядрени оръжия? Какво щеше да стане, ако отпадъците, генерирани от такъв реактор, са радиоактивни само за няколко стотици години, а не за десетки хиляди? Може да звучи твърде добре, за да е истина, но такъв реактор .наистина е възможен и няколко екипа по света работят, за да го реализират Това, което прави този реактор толкова невероятен, е неговият енергиен източник: торият“ пише Tim Dean в сп. „Космос”

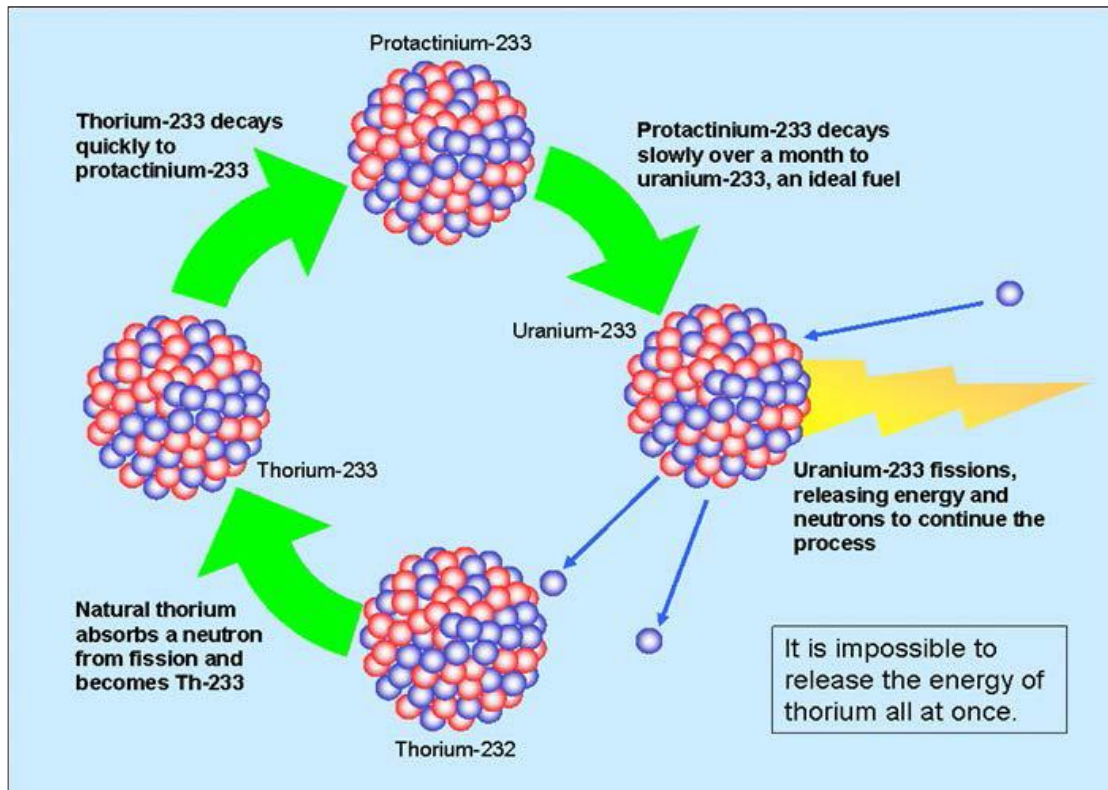
Уранът е на изчерпване, а торият е много по-широко разпространен от него. В малки количества се среща в повечето скали и почви. Според Нобеловия лауреат по физика и бивш директор на CERN Carlo Rubbia, 1 тон торий може да генерира енергия колкото 200 т. уран и 3 500 000 т. въглища. Единственият изотоп на тория, който съществува в природата, е Th-232. Периодът му на полуразпад е изключително дълъг. Един от основните му плюсове е, че е слабо радиоактивен. Той отдава повече неутрони от урана, осъществява по-добро делене, горивният му цикъл е по-дълъг и е значително по-безопасен от него. Не на последно място е фактът, че ядрените отпадъци след употреба ще са многократно по-малко.

Най-широко разпространеният източник на торий е редкият фосфатен минерал-моназит.

Според данни на Световната ядрена асоциация запасите от моназит (рядък минерал, който е най-широко разпространеният източник на торий) в световен план,се изчисляват на 12 млн. тона.,а общото количество торий в света на 4,4 млн.тона базирайки се на информация от Червената книга на Международната агенция за ядрена енергия.

Торий като източник на енергия

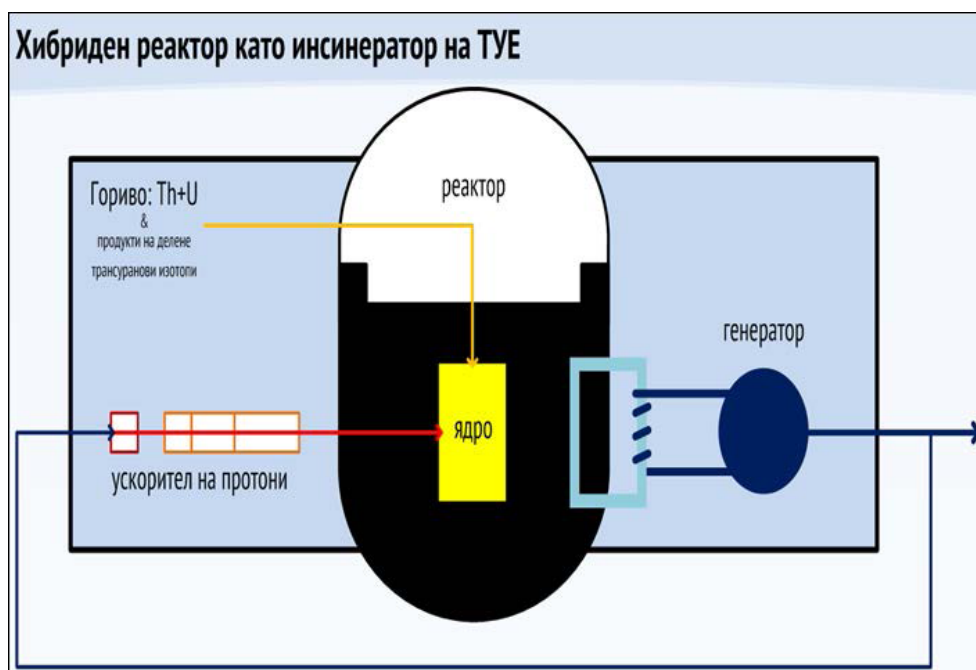
Въпреки, че е неделящ се ^{232}Th може да залови топлинен неутрон и да се превърне в ^{233}Th , който се разпада до протактиний ^{233}Pa , а след това от своя страна до ^{233}U .



Делимият ^{232}Th може да бъде трансформиран в делящия се ^{233}U във всеки реактор но ядрена енергия не може да бъде произведена чрез самоподдържаща се верижна реакция от торий, защото естественият торий не съдържа делящи се изотопи.

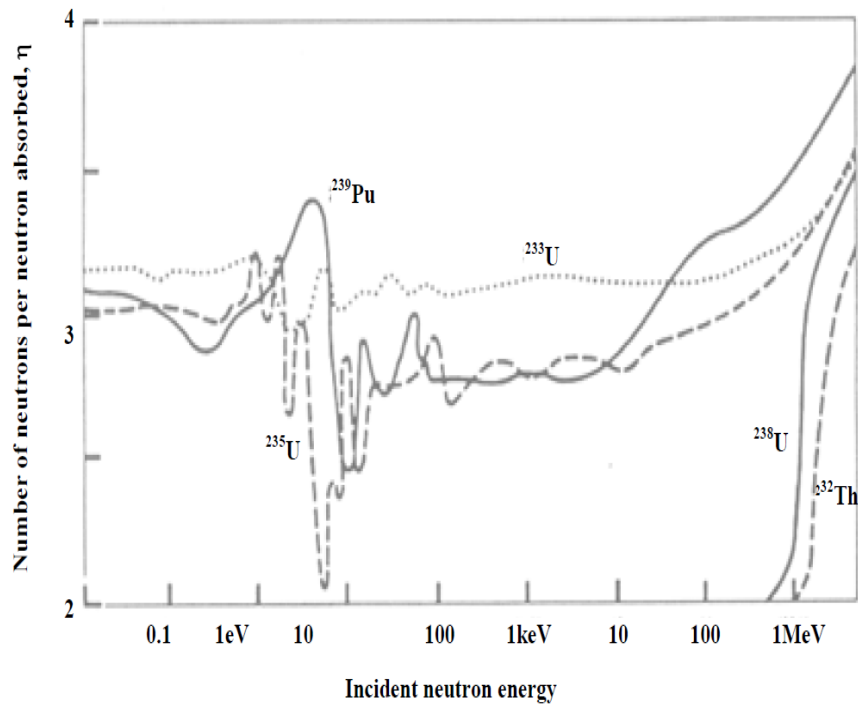
Ториево-уранов горивен цикъл може да бъде осъществен като се използва обогатен уран и последващо облъчване на тория до ^{233}U . Другият начин е в подкритичен реактор с използване на допълнителен спалейщън източник управляван от ускорител.

Предимство на ^{233}U



Делящите се с топлинни неутрони ядра на ^{233}U предизвикват интерес и в сравнение с ^{235}U и ^{239}Pu имат най-високото $\sigma f/\sigma(n,\gamma)$ отношение 90/10, тоест най-висок неутронен добив от един абсорбиран неутрон и най-голяма вероятност за делене, спрямо ^{235}U и ^{239}Pu .

Възможността да се използва торий за производство на ^{233}U е много важна поради неговото широко разпространение - три пъти повече от урана и съществуващи ядрени данни. Ториевият горивен цикъл може да бъде използван в съвременните ядрени реактори от почти всички типове, дори и реактори управлявани от ускорител без да се променят основните характеристики на дизайна и безопасността на ядрената централа. Безопасна подкритична сборка основана на изобилен и евтин ресурс, какъвто е естествения Торий може да бъде осъществена, като се използва достъпната ни сега технология. Практически почти всичкия добиван торий може да бъде потенциално използван за разлика от 0,7 % от естествен уран.



(International Atomic Energy Agency,2005)

Предимства и недостатъци на Th-U_горивен цикъл

Предимства:

- Сравнително по-лесен добив и обработка (заради по-слабата му радиотоксичност).
- След изгарянето на ториевото гориво токсичността на актинидите е много по-малка.
- Същите актиниди могат да бъдат рециклирани и от тях да се произведе част от горивото за следващото зареждане на активната зона.

Недостатъци:

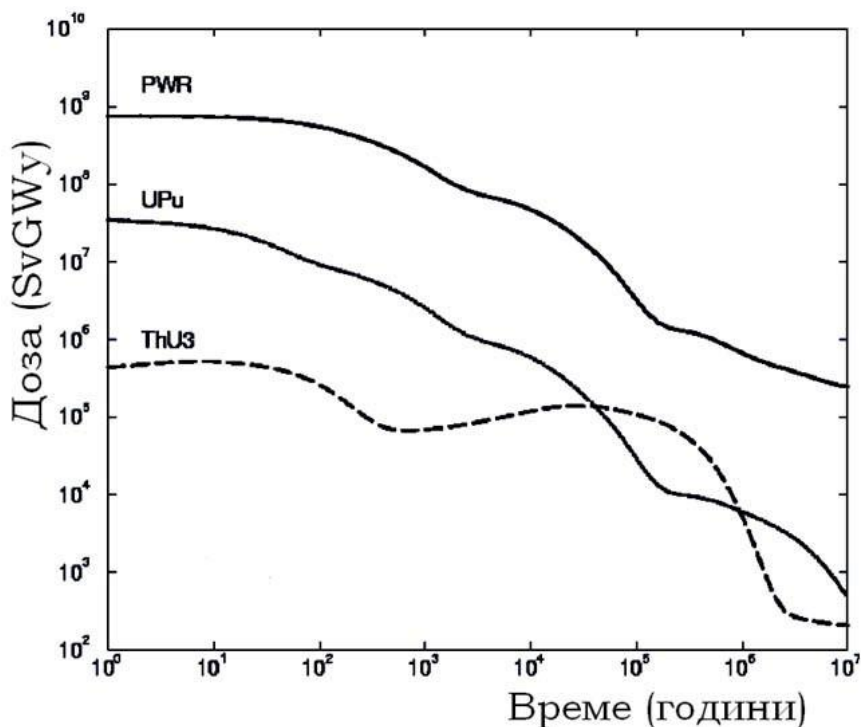
Интересът към този горивен цикъл се ограничава поради някои негативни аспекти като:

- Натрупване на ^{232}U с период на полуразпадане от около 70 години и силен пик на γ - квантите с енергия 2,6MeV.
- ^{232}Th притежава по-висок праг на делене и по същество по-ниско сечение за делене в сравнение с ^{238}U .

^{233}U се получава след β -разпад от ^{233}Pa с период на полуразпадане от 27 дни. След спиране на реактора или понижаване на мощността натрупването на ^{233}U в резултат от разпада на ^{233}Pa води до повишаване на реактивността.

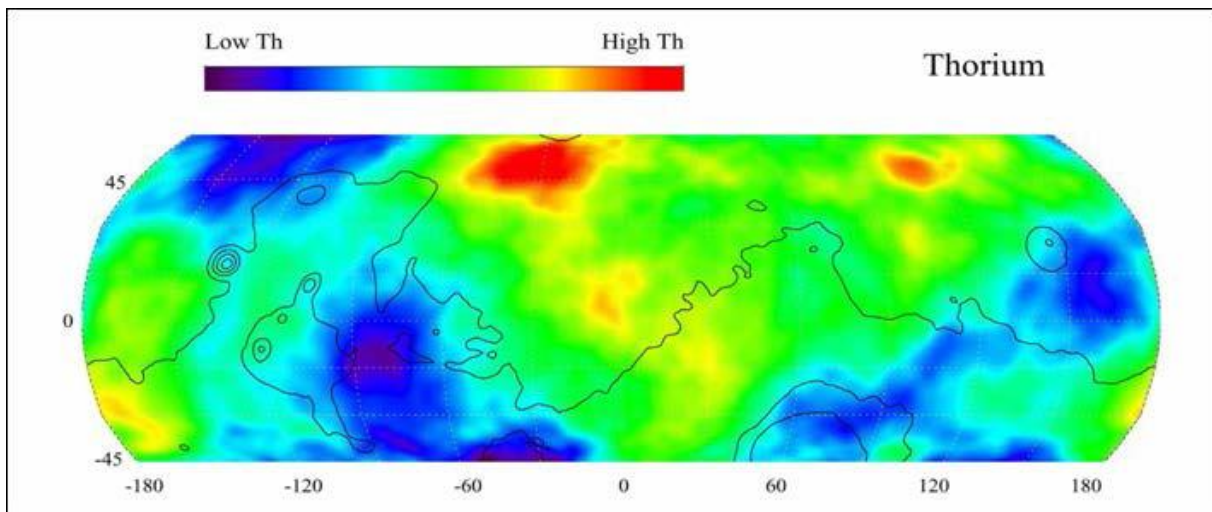
-контраминиране с ^{232}U .

Сечението за захват на ^{232}Th е от голямо значение за подкритичните реактори управлявани от ускорител с Th-U горивен цикъл. Възможна е поява на $\pm 10\%$ неточност в данните за $\sigma_{\text{с}}$ на ^{232}Th , която може да доведе до неточност от приблизително 30% за протонния ток ако системата работи в подкритичност с $K_{\text{eff}} \approx 0,97$.



Графика: Радиоактивност на ОЯГ като функция на времето от леководен реактор (PWR) сравнен с последващо преработено (UPu) и гориво основано на ториевия цикъл (ThU).

Предимствата при използването на торий за производство на атомна енергия могат да се сведат до - безопасност, висок КПД и невъзможност да се използва за военни програми. Въпреки недостатъка на слабо изучените ториеви реактори, МАГАТЕ вече призна, че бъдещето за ядрената енергетика е в използването на ^{232}Th изотоп в производството на електроенергия.



Оценка на ториевите залежи по държави и световен мащаб

<http://www.world-nuclear.org/info/Current-and-Future-Generation/Thorium/#.Ui8ICL3T8y4>
(updated June 2013)

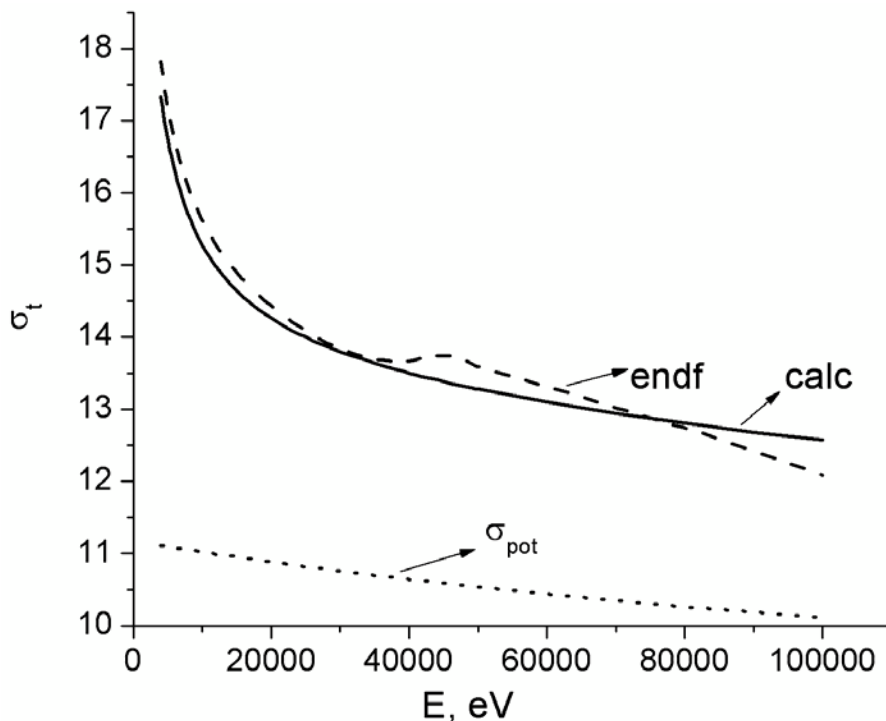
Estimated world thorium resources

- Country Tonnes % of total
- India 846,000 16
- Turkey 744,000 14
- Brazil 606,000 11
- Australia 521,000 10
- USA 434,000 8
- Egypt 380,000 7
- Norway 320,000 6
- Venezuela 300,000 6
- Canada 172,000 3
- Russia 155,000 3
- South Africa 148,000 3
- China 100,000 2
- Greenland 86,000 2
- Finland 60,000 1
- Sweden 50,000 1
- Kazakhstan 50,000 1
- Other countries 413,000 8
- World total 5,385,000

Експериментална практика

В Геел (Белгия) на световно известната Установа GELINA по метода на време на прелитане са проведени измервания на сечението на радиационно залявяне на неутрони от ^{232}Th за енергетичния интервал от 4 keV до 140 keV. Получените резултати са пионерни по постигната висока точност. Систематичните грешки, свързани с нормализацията, са по-ниски от 1%. Към тях се добавя систематична грешка от 0.5 % поради корекциите за самоекраниране и многократно разсейване. Чрез комбиниран анализ на експериментални данни за пълното сечение и сечението на радиационно залявяне са определени усреднените по енергия резонансни параметри на ^{232}Th .

Анализът на резонансите на пълното сечение на ^{232}Th е показано на графиката; използвани са данни от библиотеката ENDF/B-6.



Графика: Сравнение на пълното сечение в енергийния интервал 4–100 keV за ^{232}Th .

Видове реактори, използващи торий

Реактори с тежка вода; високотемпературни реактори, охлаждащи от газ; кипящи - реактори; реактори с вода под налягане; реактори с бързи неутрони; MSR – реактори те

са в процес на разработка; реактори, ползващи системата AD – все още не са в експлоатация.

Перспективи

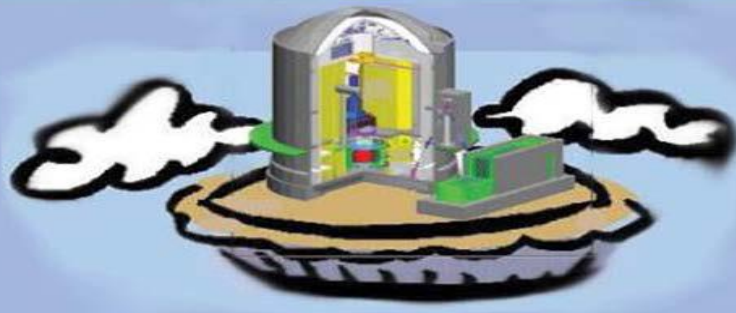
В историята вече има немалко примери за производство на електричество посредством торий. В Германия високотемпературен реактор (300 MWe) е оперирал с алтернативното гориво между 1983 и 1989 г. От САЩ примерите са няколко – най-мощният реактор е 330 MWe, работил е в Колорадо през 1976 – 1989 г., другите два с 60 MWe и 40 MWe са генерирали електроенергия съответно от 1977 до 1982 г. и от 1967 до 1974 г. В Индия торият също е използван като гориво за производство на електричество. Той е задвижвал реактор с тежка вода. През 2009г. големият френски производител на реактори – Areva започна да разработва проекти за съоръжения, които използват алтернативното ядрено гориво. През ноември 2011г във Великобритания се учреди нова организация – the Weinberg Foundation, която има цел да се застъпи пред правителството за използване на тория в ядрената енергетика.

Кърк Соренсен – инженер от НАСА, е създал собствена компания Flibe Energy, за да разработи малък ториев реактор с ядро от разтопена сол. Неговият дизайн е подобен на разработения в края на 60-те и началото на 70-те години ториев реактор в националната лаборатория „Оук Ридж“. Най-голямото предизвикателство обаче е възстановяването на техническите знания за производството, които са били изгубени, след като проектът е бил спрян през 1974 г. Тази технология не изисква използването на вода за охлаждане под високо налягане, което означава, че ядрото на реактора е по-малко сложно от това на традиционния реактор, използващ уран. Основната разлика е, че при ториевия реактор се използва сол за охлаждане. Такъв охладител ще е по-стабилен и ще може да действа при висока температура и ниско налягане. Друго предимство е, че отпадъците, произведени от ториевите реактори не могат да се използват за създаване на ядрени оръжия. Освен това ториевите реактори се изключват по-лесно.



Канадската компания AECL и китайските компании Third Qinshan Nuclear Power Company (TQNPC), China North Nuclear Fuel Corporation (CNNFC) и Nuclear Power Institute of China (NPIC) подписаха споразумение за сътрудничество при оценката на възможността за използване на гориво на базата на торий реактори от тип CANDU пише Nuclear.ru. Съгласно споразумението, страните съвместно ще разработят на възможността за използване на ториево гориво и ще изследват на търговската и техническа възможност за прилагането на ториевото гориво в реактори РУ CANDU 6 в АЕЦ „Циншан” - http://energiaecologia.org/press_info.php?id=6521&type=1

През 2014г в китайската национална академия на науките за изследвания в сферата на ториевата енергетика са отделили вече 350 милиона долара. Над тези изследвания работят 140 специалисти, до 2015 година техният брой ще се увеличи на 700. Засега ,до края на 2015 година — приоритетните авторски права (за разработване на технологии за ториеви реактори в 23 европейски страни) са в ръцете на Русия.



Thorium reactors! We are saved!



Nuclear Lobby's brief moment of hope