

ΓΙΑΤΙ ΔΕΝ ΓΙΝΕΤΑΙ A-BOMB ΜΕ ΦΥΣΙΚΟ ΟΥΡΑΝΙΟ

By Dr. Costas Pappas (AECL)



Ο Κώστας Πάππας είναι πυρηνικός φυσικός και εργάζεται για την Ατομική Ενέργεια του Καναδά (AECL), στους πυρηνικούς αντιδραστήρες CANDU. Υπήρξε ο Γραμματέας του Οργανισμού Πυρηνικής Ενέργειας του Καναδά για το Κεμπέκ (1996-2000) και δίδαξε σε έκτακτη βάση το μάθημα της Μηχανικής Πυρηνικών αντιδραστήρων (Nuclear Engineering) στο Πανεπιστήμιο McGill του Μόντρεαλ. Απόφοιτος του Université de Montréal συνέχισε τις μεταπτυχιακές του σπουδές στο McMaster University, Hamilton, Ontario, πλάι στον Dr. Brockhouse, ο οποίος το 1994 τιμήθηκε με το βραβείο Nobel για τη Φυσική πάνω στη σκέδαση ουδετερονίων. Costas μελέτησε την μαγνητική δομή της ύλης σε κρυσταλλική μορφή, σε θερμοκρασίες κοντά στο απόλυτο μηδέν (-273°C), οδηγώντας δέσμες ουδετερονίων (neutrons) από τον πειραματικό πυρηνικό αντιδραστήρα του πανεπιστημίου McMaster και CRNL (Chalk River

Nuclear Laboratories). Υπήρξε σύμβουλος 2008-2009 στην Νότιο Αφρική στο Project PBMR (Pebble Bed Modular Reactor).

Είναι συχνή η ερώτηση, όχι μόνο από απλούς ανθρώπους που έχουν την περιέργεια και σκέπτονται, αλλά και από διπλωματούχους Φυσικών επιστημών, που υποτίθεται, ότι πρέπει να γνωρίζουν τον λόγο, γιατί δεν μπορούμε να κατασκευάσουμε A-βόμβα με Φυσικό Ουράνιο και δεν τους υποτιμώ καθόλου, διότι απλούστατα, δεν έχουν μελετήσει το θέμα.

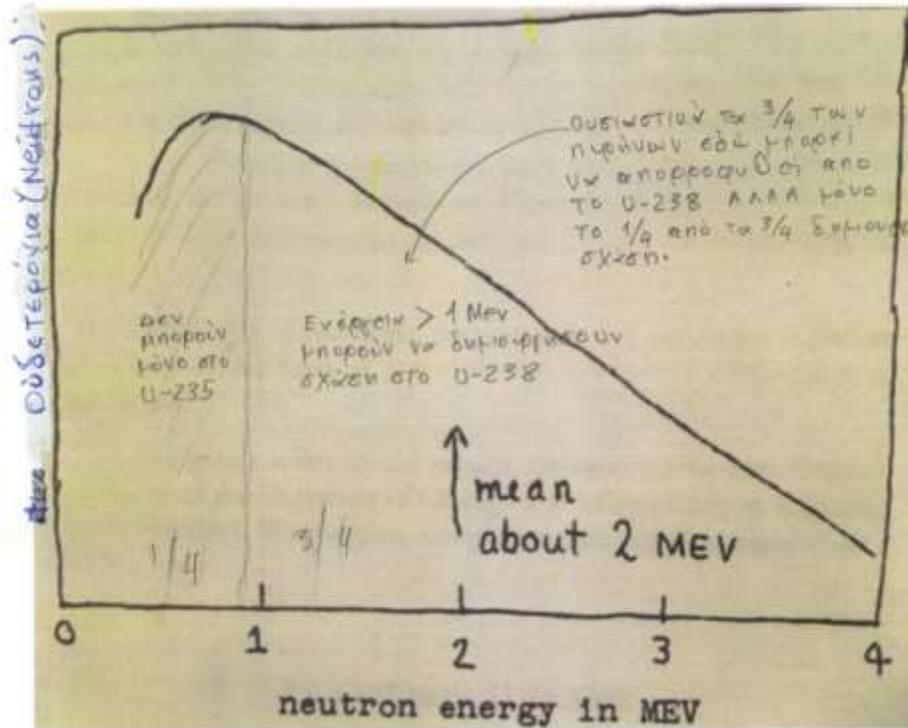
Είναι γνωστό, ότι το φυσικό Ουράνιο που εξάγεται από την γη, σε όλους τους πλανήτες του Ηλιακού μας συστήματος, αποτελείται από 2 ισότοπα του στοιχείου ουρανίου, το Ουράνιο-238 (U-238) σε ποσοστό 99.3% και το Ουράνιο-235 (U-235) σε ποσοστό 0.7%. Δηλαδή μέσα στα 1000 άτομα φυσικού ουρανίου, τα 7 είναι U-235 και τα υπόλοιπα 993 U-238. Αν τα αναγάγουμε σε βάση τα 100, τότε σε ένα μείγμα 140 ατόμων τα 139 είναι U-238 και το ένα U-235.

Η στερεότυπη απάντηση, που βρίσκει κανείς στα βιβλία Φυσικής είναι, ότι το U-235 είναι το σχάσιμο υλικό και όχι το U-238 και η απάντηση αυτή είναι μεν σωστή (υπάρχει το περίφημο *paper* των Niels Bohr και John Wheeler, Sep 1939 στο *Physical Review* που το αποδεικνύει), αλλά δεν είναι όλη η απάντηση.

Και ξεκινάμε την συζήτηση επί του θέματος, το οποίο απασχόλησε τους επιστήμονες κατά την διάρκεια του Manhattan project, στο Los Alamos του Νέου Μεξικού το 1943, κατά την διάρκεια της κατασκευής της πρώτης Πυρηνικής βόμβας, που έδωσε τέλος στο Μεγάλο πόλεμο στον Ειρηνικό.

Συμπληρώνουμε την απάντηση, βήμα προς βήμα. Η σωστή απάντηση είναι, ότι το U-235 είναι σχάσιμο με ουδετερόνια κάθε ενέργειας (ταχύτητας) και για τον λόγο αυτό αποκαλείται fissile (σχάσιμο) υλικό (και μάλιστα όσο βραδέα σε ταχύτητα είναι τα ουδετερόνια, αυτό είναι περισσότερο σχάσιμο), ενώ και το U-238 είναι σχάσιμο, αλλά τα ουδετερόνια για να προκαλέσουν την σχάση του, πρέπει να έχουν ενέργεια πάνω από 1.2 MeV (δηλαδή, το κατώφλι

για σχάση του, πρέπει να είναι πάνω από 1.2 εκατομμύρια electronvolt, μονάδα μέτρησης ενέργειας).



Φάσμα ουδετερονίων, σε Φυσικό ουράνιο από το Thesis μου σε CANDU

Εδώ έρχεται η δύσκολη ερώτηση, από εκείνους που γνωρίζουν Φυσική, αλλά δεν έχουν μελετήσει το θέμα, ΑΛΛΑ έχουν δει το παραπάνω διάγραμμα. Τα όργανα μου, που έκανα μετρήσεις στην έξοδο του αντιδραστήρα, είχαν σαν αποτέλεσμα αυτό το διάγραμμα, αλλά και τα όργανα οποιουδήποτε έκανε τις ίδιες μετρήσεις και χιλιάδες τις έχουν κάνει, τα ίδια αποτελέσματα έδειχναν, σε οποιοδήποτε πλανήτη (!!!) του Ηλιακού μας συστήματος.

Η φύση είναι πιστή στους νόμους της, τους τηρεί, όχι σαν την Κοινότητα Μόντρεαλ, που τους τηρεί κατά το δοκούν, όποτε τους βολεύει.

Το διάγραμμα αυτό το έζησα, το χρησιμοποίησα στις μεταπανεπιστημιακές μου σπουδές, που ήταν σχετικές με την σκέδαση ουδετερονίων (neutron scattering) και για 40 χρόνια, στους αντιδραστήρες CANDU, που χρησιμοποιούν φυσικό ουράνιο, επαληθεύτηκε περίτρανα.

Στο διάγραμμα αυτό, στον άξονα των X (οριζόντιο), υπάρχει η ενέργεια των ουδετερονίων (δηλαδή η ταχύτητα τους), που η ποσότητα τους (αριθμός ουδετερονίων) βρίσκεται στο άξονα τω Y (κάθετο) και για εκείνους που έχουν πρόβλημα να το ερμηνεύσουν, βοηθάω, μας δίνει τις εξής πληροφορίες:

Βλέπουμε ότι η μέση ενέργεια (mean energy στο διάγραμμα) των ουδετερονίων που παράγονται από την σχάση, είναι γύρω στα 2 MeV, επομένως πάνω από το κατώφλι του 1.2 MeV, που χρειάζεται το U-238 να υποστεί σχάση και κάτι άλλο ακόμα, ότι το U-238 είναι σε ποσοστό

99.3%, ενώ το σχάσιμο με κάθε ενέργεια, στο μηδαμινό ποσοστό 0.7%. Η εύλογη ερώτηση είναι η εξής:

Και γιατί εφ' όσον έχουμε ουδετερόνια πάνω από 1.2 MeV και είναι τα περισσότερα (στο διάγραμμα δείχνουν περίπου 3/4 του όλου), που μπορούν κάλλιστα, να προκαλέσουν σχάση στο πάρα πολύ U-238, δεν ΓΙΝΕΤΑΙ Πυρηνική βόμβα με Φυσικό Ουράνιο;

Πολύ λογική η ερώτηση, που την απάντηση δεν βρίσκεις στα εγχειρίδια Φυσικής ή πιθανόν δύσκολα βρίσκεις (εγώ δεν την έχω δει ακόμα), αλλά και με το «γκουγκλάρισμα» δεν δίνεται σαφής απάντηση.

Και είναι αυτός ο λόγος, που πολλοί με ερωτούν και για αυτό γράφω το άρθρο αυτό, για εκείνους και για όσους άλλους αυτό θα είναι χρήσιμο. Δώστε προσοχή στην ανάλυση, που είναι και η απάντηση.

Το άνω διάγραμμα λέει, ότι τα $\frac{3}{4}$ (τα 75%) από τα ουδετερόνια από τις σχάσεις (στα δεξιά της κάθετης γραμμής, που έβαλα παράλληλα στον άξονα -Y στο το κατώφλι του ~ 1 MeV), έχουν ενέργειες πάνω από το κατώφλι (1 με 4 MeV) και προφανώς απορροφούνται από τον πυρήνα του U-238 και έχοντας ενέργεια > 1.2 MeV θα έπρεπε να προκαλέσουν σχάση.

Τα ουδετερόνια που είναι αριστερά από το κατώφλι του 1 MeV, ξεχάστε τα, είναι άχρηστα για το U-238, αλλά μόνο χρήσιμα για το 0.7% του U-235 που υφίστανται μεν σχάση με κάθε ενέργεια και εδώ υπάρχει πολύ λίγο (0.7%) που δεν οδηγεί πουθενά.

Το ουράνιο 238, όπως ανάφερα στην αρχή υφίσταται σχάση, αλλά χρειάζεται γρήγορα, ενεργητικά νετρόνια για να κάνει το κόλλο (σχάση).

Από το διάγραμμά όμως φαίνεται, ότι υπάρχει πολύ U-238 (3/4 του συνόλου) στην περιοχή που τα νετρόνια που υπάρχουν στον αντιδραστήρα έχουν ενέργεια πάνω από ~ 1 MeV. Γιατί δεν υφίστανται σχάση για να συνεισφέρουν στην αντίδραση σχάσης;

Όπως ανάφερα ΝΑΙ υφίσταται σχάση, όταν το νετρόνιο έχει ενέργεια μεγαλύτερη από ~ 1 MeV, αλλά **μόνο αργά (με ενέργεια κάτω από το κατώφλι των 1.2 MeV) νετρόνια εκτοξεύονται από το U-238 κατά την απορρόφηση ουδετερονίων από άλλες σχάσεις U-238, έτσι ώστε να μην είναι δυνατή η αλυσιδωτή αντίδραση.**

Αυτά τα αργά προκαλούν άνετα σχάση στο U-235 με μεγαλύτερη ευκολία από τα ταχέα, αλλά μην ξεχνάτε ότι το U-235 είναι μηδαμινό (0.7%) να συνεχίσει την σχάση.

Αν σταματήσω εδώ την εξήγηση, έχετε την απάντηση, αλλά μερικοί από σας θα με ρωτήσετε ΠΙΑΤΙ το U-238 απορροφά ένα ενεργητικό (ταχύ) ουδετερόνιο και αντί να δώσει ένα άλλο ταχύ όπως το U-235 για να συνεχίσει την αλυσιδωτή στο πολύ U-238 και να έχουμε βόμβα με φυσικό ουράνιο μας δίνει ένα αργό, που είναι άχρηστο για το πολύ U-238. Είμαι πολυλογάς, αλλά χρειάζεται. Και θα έχετε την απάντηση.

Πριν προχωρήσω θα δώσω ορισμένες εξηγήσεις για να καταλάβει ο αναγνώστης τα επόμενα.

Όταν ένα ουδετερόνιο συγκρούεται με ένα πυρήνα είτε U-235 ή U-238 διάφορες αντιδράσεις μπορούν να συμβούν, ανάλογα με την ενέργεια (την ταχύτητα) του ουδετερονίου, αλλά και με το είδος του πυρήνα (U-235 ή U-238).

- Μπορεί να κάνει «γκελ» επάνω στον πυρήνα και να αλλάξει κατεύθυνση, όπως κάνει μια μπάλα ring-pong πάνω σε ένα τοίχο, χωρίς να χάσει ενέργεια. Την αντίδραση αυτή την λέμε «ελαστική σκέδαση» (elastic scattering).
- Άλλη αντίδραση είναι, ο πυρήνας να απορροφήσει το ουδετερόνιο, στην περίπτωση αυτή ορισμένες αντιδράσεις μπορούν να συμβούν, που εγώ θα αναφέρω 3 από αυτές.
 1. ο πυρήνας να διεγερθεί, να αποβάλλει την περισσή ενέργεια με ένα φωτόνιο και να επανέλθει στη πρώτη του κατάσταση. Εδώ δεν έχουμε την ποθητή σχάση.
 2. εάν η ενέργεια του ουδετερονίου είναι μεγαλύτερη, να υποστεί αυτό που λέμε «μη ελαστική σκέδαση» (inelastic scattering). Δηλαδή να απορροφηθεί και αντί να υποστεί σχάση, να διώξει ένα άλλο ουδετερόνιο, αλλά με ενέργεια μικρότερη από το κατώφλι των 1.2 Mev, που δεν μπορεί να προκαλέσει σχάση σε άλλον πυρήνα U-238. Αυτό συμβαίνει στο 238 τις περισσότερες φορές. Κακούργα φύση.
 3. να απορροφηθεί και αντί να προκαλέσει την περιπόθητη σχάση του πυρήνα του U-238, να προκαλέσει μεταστοιχείωση. Δηλαδή να κρατήσει το νετρόνιο και να μεταστοιχειωθεί σε άλλο στοιχείο. Απορρόφηση νετρονίου δεν προκαλεί μεταστοιχείωση, αλλά ισότοπο, αλλά υπάρχει μηχανισμός για αυτό, που θα εξηγήσω παρακάτω.
 4. να απορροφηθεί και να προκαλέσει την περιπόθητη σχάση του πυρήνα του U-238, εφ' όσον βέβαια το ουδετερόνιο έχει την απαιτούμενη ενέργεια μεγαλύτερη απλό το 1.2 Mev.

Και ένα τελευταίο. Κατά την σχάση ενός πυρήνα, 2 με 3 άλλα ουδετερόνια απελευθερώνονται, που δημιουργούν την αλυσιδωτή αντίδραση.

Ο Μέσος όρος των ουδετερονίων ανά σχάση χαρακτηρίζεται με το ελληνικό γράμμα - ν (το ελληνικό γράμμα - ν χρησιμοποιείται διεθνώς) = 2.3 ουδετερόνια / σχάση.

Περιττό να τονίσω, ότι για να έχουμε αλυσιδωτή αντίδραση πρέπει να έχουμε $\nu > 1$ ανά σχάση, (περισσότερα από 1 ουδετερόνια ανά σχάση, αλλιώς δεν υπάρχει αλυσιδωτή, εφ' όσον δεν υπάρχουν περισσότερα από 1 ουδετερόνια να την συνεχίσουν).

Εάν μια σχάση αρχίσει με $\nu = 2.3$ ουδετερόνια και η επόμενη σχάση δεν δώσει τουλάχιστον 1 ουδετερόνιο, δεν υπάρχει αλυσιδωτή, δεν υπάρχει πυρηνικός αντιδραστήρας, δεν υπάρχει βόμβα. Και τώρα με τα εφόδια αυτά στο προκείμενο.

Είδαμε στο διάγραμμα παραπάνω, ότι τα $\frac{3}{4}$ δηλαδή τα 0.75 των ουδετερονίων στο φυσικό ουράνιο έχουν ενέργειες πάνω από ~ 1 Mev και μπορούν να προκαλέσουν σχάση. Εάν αρχίζαμε με $\nu = 2.3$, τότε στην επόμενη σχάση θα είχαμε $\nu = 0.75 \times 2.3 = 1.7$ ουδετερόνια, αλλά περιμένετε μια στιγμή.

Θυμάστε τι είπα παραπάνω; Είπα και έγγραψα, ότι τα $\frac{3}{4}$ των ουδετερονίων που είναι πάνω από ~ 1 Mev, απορροφούνται από τον πυρήνα του U-238 και:

- Είτε δημιουργούν ελαστική κρούση, οπότε δεν διατίθενται για σχάση

- είτε δημιουργούν σχάση ή «μη ελαστική κρούση», που κρατάει μέσα στον πυρήνα, το ταχύ ουδετερόνιο και μας δίνει ένα «κάλπικο», με ενέργεια λιγότερη από 1 Mev, που είναι άχρηστο για το U-238 αλλά, πολύ χρήσιμο για το U-235, που είναι μηδαμινό, μέσα στο φυσικό ουράνιο.
- Είτε υφίσταται μεταστοιχείωση που δεν προκαλεί σχάση.

Αλλά η κακούργα φύση και εδώ κλέβει. Από τα ουδετερόνια (των $\frac{3}{4}$), που απορροφούνται από τους πυρήνες U-238, το ένα μόνο δημιουργεί σχάση, ένα άλλο «ελαστική κρούση» και αλλάζει διεύθυνση, ένα άλλο διεγείρει τον πυρήνα και εκπέμπει φωτόνιο, ένα άλλο μεταστοιχείωση και μόνο ένα απορροφάται και εκπέμπει νετρόνιο.

Δηλαδή μόνο το ($\frac{1}{4}$ από $\frac{3}{4}$ με ενέργειες μεγαλύτερες από 1.2 Mev) δημιουργεί σχάση.

Με άλλα λόγια αρχίζοντας με $\nu = 2.3$ ουδετερόνια ανά σχάση με φυσικό ουράνιο U-238 καταλήγουμε στο εξής καινούργιο ν .

$$\nu \sim \frac{1}{4} \times \frac{3}{4} \times 2.3 = 0.25 \times 0.75 \times 2.3 = 0.4 \text{ το καινούργιο- } \nu, \text{ δηλαδή μικρότερο από } 1$$

Προφανώς μια τιμή μεγαλύτερη από 1 χρειάζεται για να συντηρήσει μια αλυσιδωτή αντίδραση.

Επομένως χρειάζεται η συνδρομή τουλάχιστον 0.6 ακόμα (να συμπληρώσει την μονάδα), που βέβαια θα την επιτύχουμε με την συνδρομή του U-235.

Εδώ είναι που μπαίνει ο «περιβόητος εμπλουτισμός» με U-235 για να πετύχουμε το $\nu > 1$.

Με άλλα 0.6 περισσότερο, δηλαδή 60% U-235 μόλις και με την βία δημιουργεί κρίσιμη μάζα ($\nu=1$), με ταχέα ουδετερόνια, αλλά όχι πυρηνική βόμβα ακόμα (που θέλει $\nu > 1$).

Επομένως 4 είναι τα πορίσματα της ανάλυσης μας:

- Με φυσικό ουράνιο δεν γίνεται πυρηνική βόμβα.
- Η Πυρηνική βόμβα δουλεύει μόνο με ταχέα ουδετερόνια.
- Η φύση, όπως και στη ζωή κρατάει το καλύτερο και μας δίνει τον κατιμά και δεν μπορούμε να κάνουμε τίποτα με το U-238, να διορθώσουμε το 1 προς 4 (σχάση versus «μη ελαστική κρούση»),
- Για να πετύχουμε την βόμβα, πρέπει να εμπλουτίσουμε θεωρητικά το φυσικό ουράνιο, τουλάχιστον περισσότερο από 70% με U-235, για να έχουμε μια εκρηκτική πυρηνική αντίδραση με $\nu > 1$. Υπάρχουν βέβαια απώλειες από παρασιτικά υλικά που απορροφούν νετρόνια εις μάτην και το 80% και πάνω είναι αναγκαίο.

Για πληροφόρησή σας, η ποσότητα των 60 κιλών, που έφτασε από το εργοστάσιο εμπλουτισμού του Oak Ridge- Tennessee, στο Los Alamos, για να φτιάξουν το Little Boy, που έπεσε στη Χιροσίμα, ήταν εμπλουτισμένη στα 80% με U-235.

Οι Ιρανοί προσπαθούν να εμπλουτίσουν Ουράνιο. Λένε ότι έχουν φτάσει στα 20%, αν λένε αλήθεια, που είναι πολύ μακριά για βόμβα. Μια Weapon grade ποσότητα είναι 90% U-235 (για να ήμαστε «μέσα» που λέμε λαϊκά) στις ημέρες μας, όπως άλλωστε μας απέδειξαν τα απλά μαθηματικά παραπάνω.

Αρκετά μακριά από το ποθουμένο αποτέλεσμα οι Ιρανοί, αλλά λένε ψέματα. Υπάρχουν πληροφορίες για 60%, που πάλι είναι μακριά.



The Universal Reactor in Chalk River Nuclear Laboratories. Πίσω μου στο βάθος το Triple to Axis Spectrometer για την σκέδαση Νετρονίων (Neutron Scattering), το οποίο έδωσε το Nobel prize στον επιτηρητή του thesis μου Bernard Brockhouse.

Ως σπουδαστής του, την 10 ετία του 1970 εργαζόμουν μαζί του σε αυτό. Η φωτογραφία είναι του 2012, όταν εκείνος είχε φύγει από την ζωή.

Πλάι μου operator πυρηνικής μονάδας από Ινδία για εκπαίδευση στον αντιδραστήρα, που ο Καναδός είχε πουλήσει στην Ινδία, με τον οποίο έγιναν πυρηνική δύναμη με πλουτώνιο. Αριστερά μας, το κυλινδρικό περίβλημα όπου γίνεται η πυρηνική σχάση.

Υπάρχει και η άλλη λύση για κατασκευή καυσίμου για A-bomb, το στοιχείο Πλουτώνιο. Δεν υπάρχει όμως στην φύση, όπως το Ουράνιο και το κατασκευάζουμε σαν προϊόν μεταστοιχείωσης μέσα στους Πυρηνικούς αντιδραστήρες.

Το U-238 που δεν σχάται με slow-neutrons (βραδέα νετρόνια) τα καταπίνει λαίμαργα, όπως ήδη αναφέραμε πάρα πάνω και μεταστοιχείωνεται.

Επειδή το ουράνιο έχει ήδη πολλά ουδετερόνια στον πυρήνα του ($Z=92$ πρωτόνια και $238-92 = 146$ νετρόνια) μετατρέπει το περίσσιο ουδετερόνιο, διώχνοντας το αρνητικό του μέρος σε

μορφή ηλεκτρονίου (ακτίνα βήτα -β) σε πρωτόνιο και με ένα περισσότερο πρωτόνιο $Z=93$ γίνεται Ποσειδώνιο (Neptunium η χημική ταυτότητα του στοιχείου εκφράζεται από τον αριθμό των πρωτονίων στον πυρήνα του στοιχείου).

Πάλι όμως τα ουδετερόνια είναι πολλά και σε λίγο το ξανακάνει. Με ένα άλλο ηλεκτρόνιο φτιάχνει άλλο ένα πρωτόνιο $Z=94$ και γίνεται Πλουτώνιο.

Το Πλουτώνιο είναι πιο σχάσιμο από το ουράνιο δίνοντας $v=2.9$ ουδετερόνια ανά σχάση (Ουράνιο $v=2.3$), που σημαίνει μικρότερη κρίσιμη μάζα για το ίδιο αποτέλεσμα.

Εύλογο είναι λοιπόν όσο περισσότερο U-238 υπάρχει σε ένα αντιδραστήρα, τόσο περισσότερο πλουτώνιο παράγεται.

Και το περισσότερο U-238 υπάρχει στο Φυσικό Ουράνιο (99.3%) και τέτοιος αντιδραστήρας στον κόσμο, είναι ΜΟΝΟ ο Καναδικός CANadian Deuterium Uranium (CANDU).

Πουλήσαμε στην Ινδία και έφτιαξε βόμβα πλουτωνίου. Προσπάθησε και η Τουρκία για την βόμβα πλουτωνίου, στο Akkuyu Bay, αλλά με τα ψέματα που μας είπαν, κάποιοι Καναδοί ευπατρίδες έδωσαν τέλος στο project.

Ας είναι καλά οι άνθρωποι!