

# ΝΑ ΠΩΣ ΦΤΑΣΑΜΕ ΣΤΟΝ ΑΥΓΟΥΣΤΟ 1945, Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ Α-BOMB

Γράφει ο Κώστας Πάππας

7η Συνέχεια

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 (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. Υπήρξε σύμβουλος 2008-2009 στην Νότιο Αφρική στο project PBMR (Pebble Bed Modular Reactor) και παρακολούθησε επίσης μαθήματα στο Πανεπιστήμιο της Πραιτόρια στο διάστημα που ήταν εκεί, χωρίς να σπαταλάει τον ελεύθερο χρόνο του.



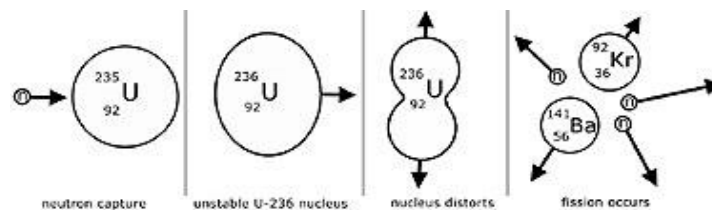
Φτάσαμε στην καθοριστική στιγμή που η μη ελεγχόμενη αλυσιδωτή αντίδραση έπρεπε να μπει σε εφαρμογή. Στο παρόν άρθρο θα κάνω μια ανακεφαλαίωση των όσων έχω ήδη αναφέρει στο παρελθόν σχετικά με την αντίδραση της πυρηνικής σχάσης, για να προετοιμάσω τον αναγνώστη να κατανοήσει το σκεπτικό της ομάδος Οπενχάιμερ, στα στάδια που ακολουθήθηκαν για να συναρμολογηθεί ο μηχανισμός της A-bomb. Θα αναγκασθώ λοιπόν να κάνω μια σύντομη περίληψη των αρχών της σχάσης (διάσπασης) του πυρήνα του Ουρανίου-235 ή Πλουτωνίου-239 για να ξαναθυμίσω στους ενδιαφερομένους, ότι η πυρηνική συνεκτική δύναμη (binding force), που συνδέει τα πρωτόνια και τα ουδετερόνια (νετρόνια) μέσα στον πυρήνα για να μην σκορπίσουν, παρουσιάζει μία "αναστροφή" στο στοιχείο σίδηρος (Fe-56). Το στοιχείο αυτό είναι το πιο σταθερό του περιοδικού συστήματος των στοιχείων. Στοιχεία με ατομική μάζα μικρότερη από τον σίδηρο έχουν την τάση να συντήκονται (σχηματίζοντας βαρύτερα στοιχεία) και με τον τρόπο αυτό να αποδεσμεύουν ενέργεια (Σύντηξη – Fusion), ενώ εκείνα με μάζες μεγαλύτερες του σιδήρου τείνουν να διασπώνται (σε ελαφρύτερα στοιχεία, Σχάση - Fission) και με τον τρόπο αυτό να αποδεσμεύουν ενέργεια.

Η Ραδιενέργεια είναι απλά μια παρενέργεια αυτής ακριβώς της αστάθειας. Το πρόβλημα είναι ότι τα πρωτόνια μέσα στον πυρήνα, τείνουν να απωθούνται αμοιβαία μεταξύ τους (όμοια ηλεκτρικά φορτία), αλλά η ισχυρή πυρηνική δύναμη τα συγκρατεί. Τα νετρόνια βρίσκονται μέσα στον πυρήνα τοποθετημένα από την φύση σκόπιμα, λόγω της ιδιότητάς τους (έλλειψη φορτίου) να μετριάζουν αυτή την ηλεκτρική άπωση με την παρουσία τους. Τα ουδετερόνια (νετρόνια) παίζουν τον ρόλο θάλαγγε κανείς, του αμμοκονιάματος που συνδέει και συγκροτεί τα πρωτόνια.

Έρχεται όμως ένα σημείο, όπου η πυρηνική συνεκτική δύναμη, όσο μεγάλη και να είναι, να μην μπορεί να αντισταθμίσει την αποσπική ηλεκτρική, ακόμη και στην περίπτωση, που προσθέτουμε ακόμη περισσότερα νετρόνια στον πυρήνα. Σαν παράδειγμα, το στοιχείο με την μεγαλύτερη ατομική μάζα που υπάρχει στη φύση, το ουράνιο. Το ουράνιο σαν βαρύτερο από το σίδηρο, τείνει να διασπασθεί. Το ουράνιο έχει πολλά ραδιενεργά ισότοπα.

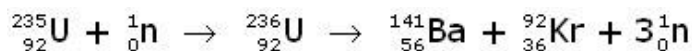
Αυτά περιλαμβάνουν το U-234, U-235 και U-238. Από αυτά, μόνο το U-235 χρησιμοποιείται στην κατασκευή πυρηνικών όπλων (καυσίμων), λόγω της ιδιότητάς του να διασπάται από βραδέα, αλλά και ταχέα σε μικρότερη κλίμακα βέβαια, νετρόνια.

Εάν προσπαθήσει κανείς να βομβαρδίσει το U-238 με βραδέα νετρόνια, το μόνο που θα πετύχει είναι να το αναγκάσει, αφού καταβροχθήσει το νετρόνιο, να μετατραπεί στο βαρύτερο στοιχείο πλουτώνιο (Pu-239).



Η πιο πάνω εικόνα, που παριστάνει την σχάση του πυρήνα U-235, στην πυρηνική φυσική γράφεται με μία εξίσωση, που εκφράζει την πυρηνική αντίδραση της Σχάσης, που είναι μαθηματικά γραμμένη, η πραγματικότητα που παριστάνει η εικόνα και μας επιτρέπει να υπολογίσουμε την ενέργεια που αποδεσμεύεται, μετατρέποντας την «χαμένη μάζα», σε ισοδύναμη ενέργεια, σύμφωνα με την γνωστή σχέση  $E = mc^2$ .

Κατά την σχάση παράγονται δύο μικρότεροι πυρήνες, τα πολύ ραδιενεργά προϊόντα της σχάσης ή τα κοινώς γνωστά ραδιενεργά κατάλοιπα (το ουράνιο καθ' εαυτό, πριν την σχάση δεν θεωρείται έντονα ραδιενεργό), δύο ή τρία νετρόνια, να συνεχίσουν την αλυσιδωτή και ποσόν θερμότητας, που όπως θα δούμε δημιουργεί την πυρηνική έκρηξη. Μια πυρηνική αντίδραση σχάσης είναι:



Η πάρα πάνω εξίσωση, την οποία πρώτη δημιούργησε και υπολόγισε η Λίζα Meitner με τον ανιψιό της Otto Frisch (πυρηνική αντίδραση επαληθεύει την εικόνα) και λέει, ότι ένα νετρόνιο (n) προσκρούει σε ένα πυρήνα U-235, τότε ο πυρήνας του U-235, που περιέχει 92 θετικά πρωτόνια και  $235 - 92 = 143$  νετρόνια, απορροφά και ενσωματώνει το νετρόνιο, αυξάνοντας την μάζα του κατά μονάδα σε U-236 και στιγμιαία σε  $10^{-14}$  δευτερόλεπτα (σε 100 τρισεκατομμυριοστά του δευτερολέπτου), ο πυρήνας δεν μπορεί να ανεχθεί 144 νετρόνια, ταλαντεύεται, στενεύει στη μέση και κόβεται στα δύο (όπως δείχνει η εικόνα). Αυτή η αντίδραση είναι η πυρηνική Σχάση. Δημιουργούνται δυο νέοι πυρήνες με στοιχεία, που το άθροισμα των ατομικών αριθμών είναι πάντα 92 (στην περίπτωση μας  $56 + 36 = 92$ ). Τα στοιχεία που δημιουργούνται δεν είναι πάντα τα ίδια, αλλά γύρω στα 300 στατιστικά ζευγάρια, τα προϊόντα σχάσης ή ραδιενεργά κατάλοιπα ( π.χ.  ${}_{37}\text{Rb} + {}_{55}\text{Cs}$ ,  ${}_{57}\text{La} + {}_{35}\text{Br}$  κ.λπ.), αλλά εκτός της ενέργειας που απελευθερώνει, το σπουδαίο είναι, ότι απελευθερώνει και άλλα 2-3 νετρόνια (στην αντίδραση αυτή 3), να συνεχίσουν την αλυσιδωτή.

Αντιδρώντα	Μαζες αντιδρώντων σε amu	Προϊόντα	Μαζες προϊόντων σε amu
${}_{92}^{235}\text{U}$	235.043924	${}_{56}^{141}\text{Ba}$	140.914406
${}_0^1\text{n}$	1.008665	${}_{36}^{92}\text{Kr}$	91.926152
		3 [ ${}_0^1\text{n}$ ]	3.02599
	236.052589		235.856548

$$\begin{aligned} \text{Έλλειμα Μάζης } (\Delta m) &= \text{Μαζες αντιδρώντων} - \text{Μαζες προϊόντων} \\ &= 236.052589 \text{ amu} - 235.856548 \text{ amu} = 0.196041 \text{ amu} \end{aligned}$$

Το έλλειμα μάζας,  $\Delta m$  μπορεί να μετατραπεί σε ισοδύναμη ενεργειακή μάζα, που δίνεται από την εξίσωση του Einstein (ένα παράρτημα θα εξηγήσει τα 931.5 MeV/amu):

$$E_{\text{σχάσης}} = \text{Binding energy} = 0.196041 \text{ amu} \left[ \frac{931.5 \text{ MeV}}{\text{amu}} \right] = 182.6 \text{ MeV}$$

Αυτή την πυρηνική αντίδραση ανέλυσαν η Lisa Meitner και ο Otto Frisch τα χιονισμένα Χριστούγεννα του 1939 στο Gothenburg. Από τις πρώτες ημέρες της εγκατάστασης στο Λος Άλαμος, οι στόχοι της επιχείρησης Μανχάταν, είχαν συζητηθεί και προκαθορισθεί μεταξύ του Ενρίκο Φέρμι και του Εντουαρντ Τέλλερ, όταν συναντήθηκαν στο πανεπιστήμιο Κολούμπια.

Η Θεωρία του "υγρού μοντέλου" του Μπορ όπως απεκαλείτο, προέβλεπε ότι η σταθερότητα των στοιχείων του Περιοδικού πίνακα, ήταν συνάρτηση της μάζας του πυρήνα.

Οι μάζες των στοιχείων μπορούν να μετρηθούν με ένα όργανο που ονομάζεται "φασματογράφος μαζών" και οι μάζες όλων των στοιχείων, από το ελαφρύτερο στοιχείο υδρογόνο μέχρι το βαρύτερο ουράνιο, έχουν ήδη μετρηθεί.

Παρατηρήθηκε λοιπόν, ότι στις δύο άκρες του πίνακα, δηλαδή στα ελαφρότερα στοιχεία (υδρογόνο, ήλιο, λίθιο κλπ) και στα βαρύτερα (ουράνιο), οι πυρήνες είναι ασταθείς. Στη μέση του πίνακα βρίσκονται τα πιο σταθερά στοιχεία, με το στοιχείο σίδηρο το πιο σταθερό ( $Z=26$ ). Την αστάθεια αυτή του ελαφρότερου και βαρύτερου στοιχείου, έπρεπε να εκμεταλλευτούν. Οι στόχοι λοιπόν του Λος Άλαμος ήταν:

- Να δημιουργηθεί μη ελεγχόμενη αλυσιδωτή αντίδραση, πυρηνική σχάσης του βαρύτερου στοιχείου ουρανίου και να φτιάξουν την Ατομική βόμβα.
- Να δημιουργηθεί η αντίδραση της πυρηνικής σύντηξης, του ελαφρότερου στοιχείου υδρογόνου (η αντίδραση που λαμβάνει χώρα μέσα στα εσωτερικά των άστρων) και να παράγουν την Υδρογονική βόμβα.

Την πρώτη αποστολή ανέλαβε ο φυσικός Οπενχάιμερ. Την δεύτερη ο Εντουαρντ Τέλλερ, που θεωρείται ο δημιουργός της Βόμβας Υδρογόνου. Και οι δύο πέτυχαν το σκοπό τους με χρονική καθυστέρηση μερικών χρόνων. Το άλλο σχάσιμο υλικό πλουτώνιο δεν υπάρχει στη φύση, αλλά παράγεται τεχνητά, όπως είπαμε πάρα πάνω, μέσα στους αντιδραστήρες, είναι σχάσιμο και χρησιμοποιείται στην παραγωγή πυρηνικών όπλων.

Κατά τον βομβαρδισμό του U-235 κόβεται ο πυρήνας του, σε δύο κομμάτια. Στην διαδικασία αυτή, ένα ποσό ενεργείας εκλύεται σε μορφή θερμότητας και ραδιενέργειας και το σπουδαιότερο μερικά (2 η 3) νετρόνια κατά σχάση (διάσπαση).

Για να πετύχει κανείς έκρηξη, χρειάζεται να δημιουργήσει μια πυρηνική αλυσιδωτή αντίδραση, η οποία θα γεννά, όλο και περισσότερα νετρόνια. Στη ουσία απαιτείται μια κρίσιμη μάζα του σχάσιμου υλικού (U-235 ή Pu-239) που αντισταθμίζει τις απώλειες των νετρονίων.

Στο σημείο αυτό, πρέπει να ορίσουμε αυτό που καλούμε υποκρίσιμη, κρίσιμη και υπερκρίσιμη μάζα του πυρηνικού καυσίμου. Μια υποκρίσιμη μάζα δεν μπορεί να συντηρήσει μια αλυσιδωτή αντίδραση. Μια "κρίσιμη" μάζα, στην ουσία συντηρεί μια ελεγχόμενη πυρηνική αλυσιδωτή αντίδραση, που παράγει σταθερό ποσό ενεργείας.

Ένας πυρηνικός αντιδραστήρας, αποτελεί ένα παράδειγμα κρίσιμης μάζας. Μια "υπερκρίσιμη" μάζα, στην ουσία παράγει περισσότερα νετρόνια, απο ότι χάνονται και είναι ένα παράδειγμα, μη ελεγχόμενης πυρηνικής αλυσιδωτής αντίδρασης, που παράγει ένα ανερχόμενο ποσό ενεργείας. Είναι μια βόμβα.

Οι λεπτομέρειες που θα δοθούν στο άρθρο αυτό, θα είναι κατατοπιστικές, με μοναδικό φραγμό, την δυσκολία να εξηγηθούν ορισμένα πράγματα και όχι το λεγόμενο απόρρητο, που αποτελεί μύθο.

Στις ημέρες μας, η γνώση δεν αποτελεί προνόμιο των ολίγων, αλλά περνάει στους πολλούς, εφ' όσον κάποιος έχει την διάθεση, να την συμμεριστεί με αυτούς.

Κρίσιμη μάζα λοιπόν, ορίζεται ως η ελάχιστη μάζα του σχάσιμου ισोटόπου, η οποία θα μπορέσει να συντηρήσει μια αλυσιδωτή αντίδραση. Η κρίσιμη μάζα εξαρτάται απο:

- α. Τις άλλες προσμίξεις, εκτός απο το σχάσιμο υλικό καθ' εαυτό.
- β. Το μέγεθος και την γεωμετρία της μάζας.
- γ. Την πυκνότητα της ύλης.

Το σχάσιμο υλικό είπαμε ότι δημιουργεί 2 η 3 νετρόνια ανά διάσπαση πυρήνα, αλλά όλα αυτά δεν επιζούν για να διασπασουν άλλους πυρήνες. Μερικά απορροφούνται απο τις προσμίξεις (κανένα υλικό δεν είναι καθαρό) ισोटόπων εκτός του U-235 ή Pu-239 που δεν διασπώνται (α).

Μερικά απο τα νετρόνια γεννιούνται κοντά στην επιφάνεια της μάζας και με την ταχύτητα που έχουν περνούν στον περιβάλλοντα χώρο και χάνονται (β).

Εάν η πυκνότητα της σχάσιμης ύλης είναι χαμηλή (οι πυρήνες βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους), τότε πολλά απο τα νετρόνια δεν θα βρουν στόχο, αποτυγχάνοντας να συγκρουστούν με άλλους πυρήνες, θα περάσουν ανάμεσα απο τους πυρήνες και θα βγουν στον περιβάλλοντα την μάζα χώρο (γ).

Εάν κατά μέσο όρο, λιγότερο απο ένα νετρόνια παραμένει σε κάθε σχάση (διάσπαση), τότε δημιουργείται θερμότητα, αλλά όχι έκρηξη, μια και δεν μπορεί να συντηρηθεί η αλυσιδωτή αντίδραση. Η μάζα αυτή λέγεται υποκρίσιμη.

Η διαχείριση της ποσότητας των διαφυγόντων νετρονίων μέσα απο την μάζα, αποτελεί το κλειδί της βόμβας. Εάν τώρα αυξήσουμε το μέγεθος, διατηρώντας την πυκνότητα της μάζας σταθερή, τότε θα πετύχουμε ένα μέγεθος όπου απο τα 2 η 3 νετρόνια που δημιουργούνται κατά την σχάση, το ένα θα επιζήσει για να κτυπήσει άλλο πυρήνα και να συντηρήσει με αυτό τον τρόπο την αλυσιδωτή αντίδραση. Η μάζα αυτή, που μόνο ένα νετρόνιο κατά διάσπαση θα επιζήσει, λέγεται "κρίσιμη".

Μόλις αυξήσουμε την κρίσιμη μάζα λίγο περισσότερο, έτσι που κατά την διάσπαση, περισσότερα απο ένα νετρόνια επιζήσει για να κτυπήσει άλλους πυρήνες, τότε η εκλυόμενη ενέργεια σε μορφή θερμότητας, θα αυξηθεί, με καλπάζοντα ρυθμό, για να δημιουργήσει έκρηξη. Η μάζα αυτή λέγεται υπερκρίσιμη.

Στο επόμενο άρθρο, θα συνεχίσουμε με την ανάλυση της σπουδαίας αρχής της κρισιμότητας της μάζας.

Περιπτώ να αναφέρω, ότι μια μάζα κρίσιμη η υπερκρίσιμη, ποτέ δεν πρέπει να αποθηκεύεται, διότι απο μόνη της, στα καλά καθούμενα, μπορεί να εκραγεί, απο κάποιο περιφερόμενο νετρόνιο, απο την κοσμική

ακτινοβολία, που έρχεται απο το σύμπαν και μπορεί ανά πάσα στιγμή, να κτυπήσει ένα πυρήνα απο την μάζα και να αρχίσει την αλυσιδωτή αντίδραση.

*Συνεχίζεται...*