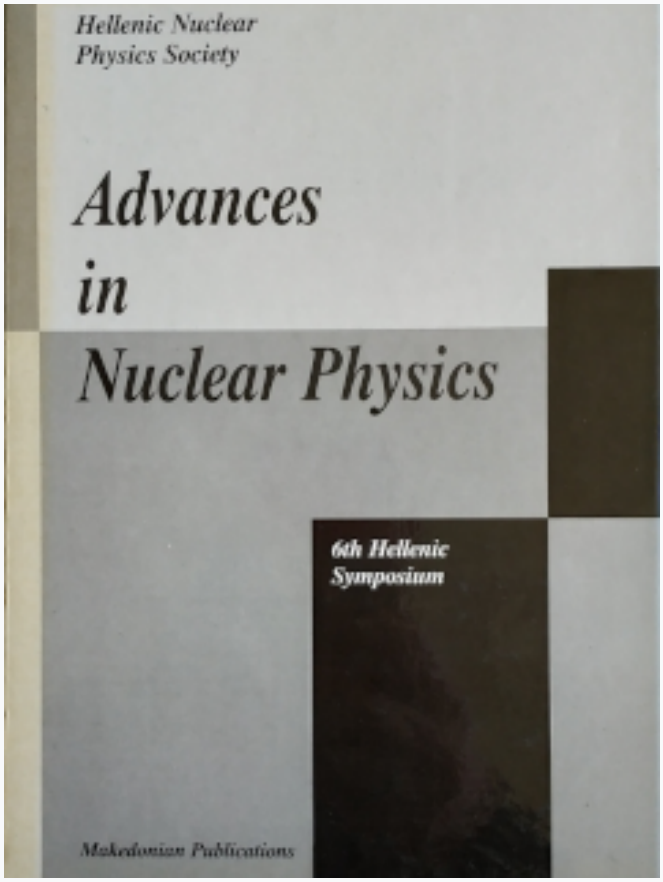
ePublishing

ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
NATIONAL DOCUMENTATION CENTRE

HNPS Advances in Nuclear Physics

Vol 6 (1995)

HNPS1995



Ενισχυτής ενέργειας, μια πιο πράσινη πηγή πυρηνικής ενέργειας

S. Charalambous

doi: 10.12681/hnps.2942

To cite this article:

Charalambous, S. (2020). Ενισχυτής ενέργειας, μια πιο πράσινη πηγή πυρηνικής ενέργειας. *HNPS Advances in Nuclear Physics*, *6*, 352–369. https://doi.org/10.12681/hnps.2942

https://epublishing.ekt.gr | **e-Publisher:** EKT | **Downloaded at:** 27/02/2026 17:05:51

ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Μια πιό Πράσινη πηγή Πυρηνικής Ενέργειας

Στεφ. Χαραλάμπους

Πανεπιστήμιο Θεσ/νίκης

Abstract. Με την σημερινή Εμπειρία και την Τεχνολογία πάνω στους Αντιδραστήρες σχάσης και τους επιταχυντές είναι δυνατόν να κατασκευαστεί εύκολα και φτηνά σύστημα Επιταχυντή-Αντιδραστήρα για παραγωγή (Πυρηνικής) Ενέργειας, ο Ενισχυτής Ενέργειας (ΕΑ).

Στην ομιλία θα παρουσιασθούν αφενός τα πρώτα αποτελέσματα πειράματος ΕΑ που έγινε στο CERN. Το πείραμα ήταν θετικό με την έννοια της περίσσιας ενέργειας, είσοδος-έξοδος του ΕΑ. Αφετέρου θα αναλυθούν τόσο η παρούσα ενεργειακή κατάσταση του πλανήτη που επιβάλει την αναζήτηση μεγάλων πηγών, ενέργειας, όπως επίσης θα παρουσιασθούν τα πλεονεκτήματα που θα έχει ο ΕΑ. Τα κυριότερα από αυτά είναι: α) θα είναι ο ΕΑ, "πρασινώτερος" από πλευράς ραδιενέργειας, β) Δεν θα παράγει Pu-239 για στρατιωτικές εφαρμογές, γ) δεν θα γίνεται σχεδόν ποτέ υπερκρίσιμος, εκρηκτικός και δ) στην περίπτωση που το σχάσιμο είναι Th τότε θα υπάρχει επάρκεια πρώτης ύλης, στον πλανήτη, για εκατομμύρια χρόνια.

1) Εισαγωγή. Οι αντιδραστήρες σχάσης για πολλούς λόγους, αλλά κυρίως ύστερα από το μεγάλο ατύχημα του Τσερνόμπιλ, έχουν κατατρομάξει την πλατειά μάζα των ανθρώπων. Ιδιαίτερα εμείς οι Ελληνες που γνωρίσαμε αρκετά καλά τις επιπτώσεις του μεγάλου πυρηνικού ατυχήματος του Τσερνόμπιλ και που κοντά μας, στην Βουλγαρία, υπάρχουν όχι πρώτης τάξεως αντιδραστήρες και που υπομιαζόμαστε (και καλά κάνουμε) ότι μπορεί να υπάρξει αποθήκευση πυρηνικών αποβλήτων στις φτωχές γειτονικές μας Δημοκρατίες (έναντι των λογιών ανταλλαγμάτων προς τους κυβερνώντες τους) και μόνο η λέξη πυρηνική ενέργεια από αντιδραστήρες δημιουργεί τόσο στους απλούς ανθρώπους όσο και στους επαϊόντες δυσάρεστα συναισθήματα.

Η ενέργεια όμως είναι απαραίτητη στον "Τεχνολογικό μας Πολιτισμό". Επίσης λόγω των τόσων συγχρόνων μέσων επικοινωνίας, μεγάλες μάζες ανθρώπων (αυτοί των υπό ανάπτυξη χωρών) μπαίνουν με γοργό ρυθμό στο χορό, άμεσα ή έμμεσα, της μεγάλης κατανάλωσης ενέργειας. Και είναι πλέον ή βέβαιο ότι πολύ σύντομα, ας πούμε σε τριάντα-σαράντα χρόνια, οι συμβατικές πηγές ενέργειας (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, κάρβουνο) θα αρχίσουν να "στενεύουν". Αυτό το στενεύουν θα πρέπει να το

δούμε με πολλές παραμέτρους, με δυο τουλάχιστον. Η μία είναι ότι τα αποθέματα των συμβατικών πηγών ενέργειας, η ποσότητα τους, είναι πεπερασμένα και όχι πολλά. Η άλλη παράμετρος είναι ότι οι πηγές αυτές βαρύνουν το περιβάλλον υπερβολικά (π.χ. το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η τρύπα του όζοντος κ.λ.π.). Αυτή η επιβάρυνση δεν θα πρέπει, δεν μπορεί να αγνοηθεί. Και η επιβάρυνση αυτή όπως και η πυρηνική ενέργεια δεν γνωρίζει σύνορα, δεν αναγνωρίζει τους συνετούς από τους μωρούς, τους φτωχούς από τους πλούσιους.

Η εφαρμοσμένη φυσική επεξεργάζεται την λύση του ενεργειακού σε πολλά επίπεδα. Εχουν προταθεί πολλές λύσεις, πολλές από τις οποίες δίνουν όχι απλώς καθαρή, αλλά "υπερκαθαρή" ενέργεια (π.χ. φωτοβολταϊκά κύτταρα, αιολική ενέργεια, γεωθερμική, κ.λ.π., κ.λ.π.). Ομως είναι προφανές ότι μιλάμε για πηγές μεγάλων ποσών ενέργειας και ενέργειας μη εξαρτωμένης από μέρα και νύχτα, χειμώνα και καλοκαίρι, βορρά και νότο.

Σε δύο άξονες υπάρχουν πολλές ελπίδες, τουλάχιστον με την σημερινή γνώση, να βρεθεί λύση με επιτρεπτούς, στο μέτρο τους, συμβιβασμούς. Ο ένας άξονας είναι η ελεγχόμενη σύντηξη με *"μαγνητική σύσφιξη"* ή *με "Lasers"*, ή με *"τεμνόμενες δέσμες σωματιδίων"* κ.λ.π. Ο άλλος άξονας είναι η κλασσική μας σχάση (π.χ. του ουρανίου) με την έννοια ότι θα μπορούσαμε να έχουμε πιο σίγουρους (και όχι μόνο) αντιδραστήρες σχάσης. Ο κύριος σκοπός της παρούσης ομιλίας είναι να δώσει πληροφορίες σε όσο το δυνατό πιο ληπτή, για μή σπεσιαλίστες μορφή, για τις "νέες" ιδέες που έχουν προταθεί πάνω στους αντιδραστήρες σχάσης.

Η σημερινή Τεχνολογία των αντιδραστήρων σχάσης θα ήθελε να επιλύσει πολλά, αλλά κυρίως, τρία προβλήματα.

i) Πως θα αποφευχθεί, να μήν είναι δυνατόν, να φθάσει ποτέ ένα σύστημα σχάσης σε "υπερκρισιμότητα" (για να μή ξαναγίνει κάποιο Τσερνόμπιλ).

ii) Πως θα αποφευχθεί η συσσώρευση των παραγομένων ισοτόπων του πλουτωνίου και των άλλων άκρως τοξικών καταλοίπων της σχάσης, που είναι πλούσια σε ακτινίδες (αυτές είναι άκρως τοξικές).

iii) Πως θα αποφευχθεί η διασπορά των ανοικοδομημένων υλικών κατά την σχάση (π.χ. το Pu-239), υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή πυρηνικών βομβών.

Με γνώμονα τις πιο πάνω απαιτήσεις τον τελευταίο καιρό παρουσιάσθηκαν δύο προτάσεις, που είναι πρακτικά ίδιες και που τα σπέρματά τους βρίσκονται στην δεκαετία του 60. Προτάσεις που ίσως δίνουν λύσεις. Οι Αγγλικοί τίτλοι των προτάσεων είναι:

α) *"Nuclear Energy Generation and Waste Transmutation Using an Accelerator-Driven Instense Thermal Neutron Source"* (Παραγωγή Πυρηνικής Ενέργειας και μετασχηματισμός των καταλοίπων χρησιμοποιόντας έναν επιταχυντή οδηγό, σαν έντονη πηγή θερμικών νετρονίων), Bowman et al [1] .

β) *"An Energy Amplifier for Cleaner and Inexhaustible Nuclear Energy Production Driven by a Particle Beam Accelerator"* (Ενας Ενισχυτής Ενέργειας για καθαρή και Αστήρευτη παραγωγή Πυρηνικής Ενέργειας οδηγούμενος από έναν επιταχυτή σωματιδίων), εν συντομία ΕΑ: (Energy Amplifier), Carminati et al [2].

Οι προτάσεις έγιναν από ξεχωριστές ομάδες (Los Alamos, ΗΠΑ, η πρώτη, CERN, Γενεύη, η δεύτερη). Η πατρότητα των ιδεών, η κατάθεση ευρεσιτεχνίας, το βαρύγδουπο των τίτλων κ.λ.π. είναι από αυτά που δεν απασχολούν την παρούσα ομιλία*. Οπως βλέπουμε το βασικό και κύριο στοιχείο και στις δύο προτάσεις είναι η χρησιμοποίηση επιταχυντών. Οι επιταχυντές είναι αυτοί που θα ελέγχουν την κρισιμότητα του αντιδραστήρα. Χάρις σ' αυτούς το σύστημα δεν μπορεί σχεδόν ποτέ να γίνει εκρηκτικό. Ενα χοντρικό διάγραμμα του συστήματος ΕΑ παρουσιάζεται **στο σχήμα 1**, στο οποίο θα αναφερθούμε στην συνέχεια.

---

*FN. η παρούσα ομιλία έχει σαν γνώμονα και χρησιμοποιεί διαγράμματα και λοιπά δεδομένα από σειρά παρουσιάσεων του ΕΑ από το Rubbia, και του Rubbia και των συνεργατών τους [5,6].

Η δομή της ομιλίας θα είναι: Η σημερινή ενεργειακή κατάσταση, τα προβλήματα της σχάσης, τα πλεονεκτήματα που θα έχει ο ΕΑ, και τέλος, τα αποτελέσματα προσφάτου πειράματος ΕΑ που έγινε στο CERN. Σε πολλά σημεία θα υπάρξουν αναπόφευκτοι πλατειασμοί καθόσον το ακροατήριο δεν είναι αμιγές. Θεωρώ ότι στο σύνολο τους το ακροατήριο δεν είναι ούτε οικείο με τους αντιδραστήρες, ούτε με τους επιταχυντές, ούτε είναι Τεχνολόγοι Ενεργειακοί.

2) Η σημερινή Ενεργειακή Κατάσταση. Εκτιμάται ότι η ετήσια κατανάλωση ενέργειας είναι περίπου 8 Gtoe (Γιγατόνοι ισοδύναμοι πετρελαίου). Τα ποσοστά των σπουδαιοτέρων πηγών ενέργειας δείχνονται στο **σχήμα 2.** Παρά το ότι τα δεδομένα αφορούν το έτος 1991 δεν είναι διάφορα των σημερινών (1995). Εκείνο που επισημαίνεται είναι ότι το 90% της καταναλισκόμενης ενέργειας είναι πηγές καύσης (ορυκτών καυσίμων και βιομάζας) που δίνουν. CO_2, βλέπε συνέχεια. Υπάρχει ένα υψηλότατο ποσοστό για το πετρέλαιο που εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι το ορυκτό αυτό, 1) Είναι ένα "αγαθό εν ανεπαρκεία", πολύτιμο και για τις επερχόμενες γεννεές και 2) παραδόξως (!) πάρα πολύ φτηνό!!!

Ο ρυθμός αυξήσεως της καταναλισκώμενης ενέργειας (%) ανά έτος είναι μικρότερος του 1% για τις αναπτυγμένες χώρες (χώρες του OCDE) και 5% για τις υπό ανάπτυξη χώρες. Και επειδή τα μέσα επικοινωνίας πάνε να άρουν τα σύνορα (τουλάχιστον της ενέργειας) των φτωχών-πλούσιων χωρών και επειδή είναι μεγάλο το πλήθος του πληθυσμού των υπό ανάπτυξη χωρών υπολογίζεται ότι στην σύγκλιση, που θα συμβεί μεταξύ 2010-2020, η ετήσια κατανάλωση ενέργειας θα είναι περί τα 20 Gtoe.

Ο πίνακας Ι παρουσιάζει τα ενεργειακά αποθέματα των συμβατικών ορυκτών καυσίμων. Η στήλη Α είναι τα εξακριβωμένα αποθέματα, ενώ η στήλη Β δίνει τις ακρότατες εκτιμήσεις τους. Η Τεχνολογία επεξεργάζεται λύσεις εξωρύξεως και εκμεταλλεύσεως και των ακροτάτων ποσών ενέργειας. Πάρα ταύτα τα ενεργειακά αποθέματα των συμβατικών ορυκτών καυσίμων είναι και πεπερασμένα και λίγα. Με τους ρυθμούς αυξήσεως της ενέργειας που αναφέρθηκαν προηγούμενα επαρκούν για κάτι μεταξύ 50-200y. Επαρκούν, για τρεις με τέσσερις γενεές ανθρώπων, μια που ο μέσος χρόνος ζωής σήμερα είναι περίπου 70y.

Ενα ακόμη μεγάλο πρόβλημα με τις συμβατικές πηγές ενέργειας καύσεως είναι η παραγωγή του CO_2. **Στο σχήμα 3** παρουσιάζεται η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα από την αρχή της βιομηχανικής περιόδου. Η αύξηση του είναι ανησυχητική με όλα τα προβλήματα του θερμοκηπίου που συνεπάγεται, που παρέλκει όμως να αναφερθούν και εδώ.

Για την εφαρμοσμένη Φυσική δεν είναι ορατές παρά μόνο δύο λύσεις για το ενεργειακό: Η ενέργεια από σχάση και η ενέργεια από σύντηξη.

3) Πυρηνική Ενέργεια. Πυρηνική Ενέργεια; Οχι ευχαριστώ!! Πράγματι λόγω των ατυχημάτων, και όχι μόνο, στους αντιδραστήρες σχάσης, είναι μεγάλο το δίλημμα της χρήσης ή μη των Πυρηνικών Αντιδραστήρων (Π.Α). Το πυρηνικό δίλημμα ταλανίζει εδώ και 50 χρόνια φιλοσόφους, πολιτικούς, οικονομολόγους, κοινωνιολόγους και, πρωτίστως του φυσικούς.

Αφενός η μεγάλη πετρελαϊκή κρίση περί το 1970 και αφετέρου η μη γνώση ή γνωστοποίηση των μεγάλων ατυχημάτων στους ΠΑ έδωσαν ώθηση για την μαζική κατασκευή ΠΑ. **Στο σχήμα 4** παρουσιάζονται οι χρόνοι έναρξης της κατασκευής Πυρηνικών Αντιδραστήρων, σε όλο τον κόσμο. Ομως μετά το ατύχημα του αντιδραστήρα του Three Miles Island, στις ΗΠΑ , όπου η πίεση της "κοινής γνώμης" έγινε μεγάλη, σε συνάρτηση με το γεγονός ότι η ύπαρξη των αντιδραστήρων σημαίνει ύπαρξη-παρουσία πλουτωνίου 239, που σημαίνει πυρηνικά όπλα (εδώ μπαίνουν τα κινήματα ειρήνης), όπως επίσης και ότι το πετρέλαιο έγινε σχετικά φτηνότερο η κατασκευή των αντιδραστήρων άρχισε να ελαττώνεται δραστικά. Πάντως και σήμερα, περίπου 7% της παγκοσμίως καταναλισκόμενης ενέργειας είναι από Π.Α. Υπάρχουν δε χώρες όπως η Γαλλία και η Ιαπωνία που το 60% της ενεργειακής ισχύος των είναι από αντιδραστήρες. Δεν πρέπει να λησμονηθεί, και το επαναλαμβάνω για άλλη μια φορά, ότι τα αποθέματα των κλασσικών ορυκτών καυσίμων (κάρβουνο, πετρέλαιο και φυσικό αέριο), τα βεβαιωμένα, αλλά και τα ακρότατα, είναι και πεπερασμένα και λίγα.

Οι σημερινοί αντιδραστήρες στηρίζονται, κυριώς, στην σχάση του U-235 και του Pu-239. Με τους Π.Α. αναγενέσεως, του U-238, ή τουTh-232 έχουμε ενέργεια από την σχάση του Pu-239 και του U-233, αντίστοιχα. Εχουν προταθεί και υπάρχουν πολλοί τύποι αντιδραστήρων. Η ονομασία τους απορρέει από το είδος και τον εμπλουτισμό του σχασίμου υλικού, από τον επιβραδυντή-θερμοποιητή των

νετρονίων, από τον μεταφορέα και ενάλλακτη της θερμότητας, κ.λ.π. Ομως όλα αυτά τα τεχνικά χρακτηριστικά των ΠΑ. δεν απασχολούν την παρούσα ομιλία. Για τον ενισχυτή ενέργειας μας ενδιαφέρουν δύο θέματα. Η ανοικοδόμηση των στοιχείων και η αποτέφρωση.

Οπως γνωρίζετε η ανοικοδόμηση των στοιχείων μπορεί να γίνει με την ενσωμάτωση σε κάποιο (βαρύ) πυρήνα (στόχος) ενός άλλου ελαφρότερου πυρήμα (βλήμα). Εδώ στους αντιδραστήρες γίνεται με την ενσωμάτωση - αρπαγή νετρονίων (συνήθως θερμικών), αντιδράσεις (n,γ) και στην συνέχεια ο νέος ανοικοδομηθής πυρήνας να διασπάται με β^- διάσπαση.

Τα διαγράμματα 5 και 6 παρουσιάζουν, αντίστοιχα για το ουράνιο και το θόριο, την διαδοχική νετρονιακή ανοικοδόμηση σαν συνάρτηση της ολοκληρωμένης ροής των νετρονίων.

Εάν το καύσιμο του αντιδραστήρα είναι το ουράνιο (κύκλος ουρανίου-πλουτωνίου) εκείνα που παράγονται (τα υπερουράνια) είναι πολλά, **σχήμα 5β**. Αυτό που κυρίως ενδιαφέρει εδώ, και λόγω του μεγάλου χρόνου ζωής **του** και λόγω της ραδιοτοξικότητας του είναι το Pu-239. Στην περίπτωση που το καύσιμο για αναπαραγωγή του αντιδραστήρα είναι-περιέχει- Th-232 (κύκλος θορίου-ουρανίου) το αναπαράγιμο είναι το U-233. Αλλά όπως παρατηρούμε πρακτικά απουσιάζουν τα ισότοπα του πλουτωνίου, **σχήμα 6β.**

Στους αντιδραστήρες αυτά που καίγονται είναι κυρίως το υπάρχον στην φύση U-235 και τα ακοικοδομούμενα Pu-239 και U-233. Η ενεργός διατομή σχάσης των νουκλιδίων αυτών με θερμικά νετρόνια, μέση ενέργεια 0.025 eV, είναι παραπλήσια (582, 746 και 527 barns, αντίστοιχα). Εκείνο που θα πρέπει να τονισθεί είναι ότι τα παράγωγα της σχάσης για τους τρεις αυτούς πυρήνες είναι πρακτικά τα ίδια, **σχήμα 7.** Αυτό σημαίνει ότι τα μακρόβια θυγατρικά από την σχάση, από τα **οποία** εκπηγάζει το μέγα πρόβλημα και οι κίνδυνοι τόσο για την αποθήκευσή τους όσο και όταν γίνει ατύχημα, θα πρέπει να αντιμετωπισθούν σαν γενικό πρόβλημα, ανεξάρτητο του σχάσιμου υλικού.

Το πρόβλημα αυτό των μακροβίων ραδιενεργών από την σχάση προσπαθεί να επιλύσει η λεγόμενη μέθοδος αποτέφρωσης (incineration) που έχει προταθεί από την δεκαετία του 60. Η μέθοδος της αποτέφρωσης προτείνει να χρησιμοποιηθούν πρωτόνια από επιταχυντές υψηλής ενέργειας, που με την δευτερογενή παραγωγή

νετρονίων θα μεταστοιχειώνουν τα παραχθέντα από την σχάση μακρόβια παράγωγα της σχάσης σε βραχυβιώτερα. Ως εκτενώς αναλύεται στην εργασια των Bowman et al, αναφορά 1, τα περισσότερα νουκλίδια που παράγονται από την σχάση έχουν μικρή ενεργό διατομή σύλληψης θερμικών νετρονιων και ως εκ τούτου δεν μπορούν να μεταστοιχειωθούν στους τυπικούς Πυρηνικούς Αντιδραστήρες. Τα δευτερογενή νετρόνια από τα πρωτόνια των επιταχυντών (50-60 νετρόνια ανά πρωτόνιο των - 1.5 GeV) όμως έχουν ενέργειες στην περιοχή των KeV-MeV. Οι ενέργειες αυτές, όπως δείχνεται, επιτρέπουν την αποτέφρωση των μακροβίων νουκλιδίων της σχάσης.

Το επόμενο βήμα (πείραμα) της ομάδας του ΕΑ είναι ακριβώς αυτό, της αποτέφρωσης. Εάν το πείραμα της αποτέφρωσης αποδειχθεί θετικό τότε ο ΕΑ δεν θα έχει μόνο υπέρ αυτού τον έλεγχο της κρισιμότητας και την μη παραγωγή Pu-239, αλλά συγχρόνως θα επιτελεί και αποτέφρωση των αποβλήτων της σχάσης.

4)Το πείραμα ΕΑ του CERN. Το πείραμα ΕΑ του CERN ήταν το επακόλουθο σειρά προτάσεων από τον C.Rubbia και Rubbia με τους συνεργάτες του. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο CERN από τους S. Andriamonje et al[4]. Είναι πείραμα συνεργασίας 15. Ευρωπαϊκών Εργαστηριών. Από την Ελλάδα συμμετέχουν τα Εργαστήρια Πυρηνικής Φυσικής των Π. Αθηνών και Π. Θεσ/νίκης. Ο συντονιστής των Ελληνικών Ομάδων είναι ο Π. Παυλόπουλος. Ο κύριος σκοπός του πειράματος ήταν να μετρηθεί ο πολλαπλασιαστικός παράγοντας G, βάση της σχέσεως:

$$G = Go/1-K$$

όπου K ο παράγοντας κρισιμότητας.

Για το πείραμα υπήρξε η σκέψη να χρησιμοποιηθεί ο υποκρίσιμος αντιδραστήρας (ΥΑ) του Εργαστηρίου Θεσ/νίκης. Υπήρξαν όμως πάμπολες γραφειοκρατικές, και όχι μόνο, δυσκολίες για την εξαγωγή του ΥΑ από την Ελλάδα. Γιαυτό χρησιμοποιήθηκε ένας παρόμοιος ΥΑ που υπάρχει στο Π. της Μαδρίτης. Ο ΥΑ έχει περίπου 2500 κιλά φυσικού ουρανίου σε 270 σωλήνες σε κυγελοειδή σχηματισμό. Κάθε ράβδος έχει πέντε "φυσίγγια" ουρανίου καλυμένου με αλουμίνιο. Ο επιβραδυντής είναι φυσικό νερό. Τομή του αντιδραστήρα δείχνεται **στο σχήμα 8.**

Ο ΥΑ τέθηκε σε λειτουργία στο πείραμα από τα **νετρόνια** που παραγόντουσαν όταν τα πρωτόνια από εξωτερική δέσμη του PS του CERN. Τα πρωτόνια της δέσμης έπεφταν σε στόχο Pb στο κέντρο του ΥΑ. Χρησιμοποιήθηκαν

πρωτόνια από 0.6 έως 2.7 GeV. Η ροή των πρωτονίων ήταν 10^9ppp. Διάρκεια των pulses ‹ 100 ns.

Η βαθμολογία της δέσμης των οδηγών πρωτονίων έγινε ποικιλοτρόπως, όπως με "beam transformer" και με ενεργοποίηση.

Η νετρονική συμπεριφορά του ΥΑ μελετήθηκε με βαθμολογημένη πηγή νετρονίων από πηγή Am-Be (1.4 Gi). Προσδιορίστηκε ο παράγοντας κρισιμότητας K και βρέθηκε ότι για τις συνθήκες του πειράματος η τιμή του ήταν K = 0.9.

Η ενέργεια που απέθετε η δέσμη των πρωτονίων μέσα στον ΥΑ ήταν περίπου 1 Watt.

Για τις μετρήσεις των παραγομένων νετρονίων, των σχάσεων, της ενέργειας που εκλείεται κ.λ.π. χρησιμοποιήθηκαν διάφορα συστήματα, όπως απαριθμητές αερίου, ημιαγωγοί, φωτοκύτταρα, απαριθμητές ενεργοποιήσεως, θερμηστορ, ανιχνευτές πυρηνικών ιχνών κ.λ.π.

Τα αποτελέσματα του πειράματος παρουσιάζονται στην αναφορά 4. Συνοπτικά παρουσιάζονται εδώ δύο καμπύλες. Η πρώτη για να δείξει ότι οι υπολογισμοί δεν αφίστανται των πειραματικών αποτελεσμάτων, η δεύτερη για να δείξει ότι για την λειτουργία του ΕΑ δεν απαιτείται και πάρα πολύ μεγάλη ενέργεια επιτάχυνσης.

Το σχήμα 9 δείχνει την ευρεθείσα πυκνότητα των νετρονίων κατά μήκος οριζοντίου άξονα στο κέντρο του αντιδραστήρα. Τα πειραματικά δεδομένα, τα σημεία, είναι σε πλήρη συμφωνία με τους υπολογισμούς με monte Carlo, η συνεχής καμπύλη.

Με τα δεδομένα του πειράματος Go=3.1+0.4 υπολογίσθηκε το G, ο ο οδηγός πολλαπλασιαστικός παράγοντας σχάσεως σαν συνάρτηση της ενέργειας των πρωτονίων. Βρέθηκε, όπως δείχνει **το σχήμα 10**, ότι το G είναι πρακτικά σταθερό για ενέργειες των πρωτονίων **μεγαλύτερες** από 1 GeV . Για την περίπτωση του πειράματος το G βρέθηκε ίσο περίπου με 30.

Είναι προφανές πως εάν το K ανεβεί στα 0.95 τότε το κέρδος από περίπου 30 θα πάει στα -60. Η επίπτωση της καμπύλης του διαγράμματος είναι ότι ο οδηγός επιταχυντής του ΕΑ αρκεί να είναι μέχρι 1 GeV.

5) ΕΑ Θορίου και Συμπεράσματα. Το πείραμα ΕΑ με ουράνιο ήταν θετικό και αποφασιστικό. Όμως ο **κεντρικός** στόχος του ΕΑ είναι αφενός η αποτέφρωση των μακροβίων παραγώγων της σχάσης και αφετέρου να χρησιμοποιηθεί σαν σχάσιμο το

θόριο και ο κύκλος του θορίου-ουρανίου. Για τον λογο αυτό το πείραμα συνεχίζεται, και για πολλά έτη. Η διερεύνηση και σε συνάρτηση με τα προαναφερθέντα δείχνει ότι το θόριο έναντι του ουρανίου είναι:

i) "καθαρότερο" καύσιμο.

ii) Είναι πιο "αποτελεσματικό'. Πράγματι 750 kgr Φυσικού Th-232 δίνει την ίδια ενέργεια (800 MW έτος) όπως 167t Φυσικού U σε συνθήκες PWR που λειτουργεί με ισοτοπικώς εμπλουτισμένο ουράνιο.

iii) Οι στρατιωτικές εφαρμογές (χρήσεις) λόγω της απουσίας του Pu-239 είναι πρακτικώς ΜΗΔΕΝΙΚΕΣ.

Η σημεριμή γνώση-τεχνολογία τόσο για τους επιταχυντές όσο και για τους αντιδραστήρες επιτρέπουν την κατασκευή ΕΑ (θορίου ή ουρανίου) σε κόστος όχι μεγάλο.

Η διαθέσιμη ενέργεια, που απορρέει από την διαθέσιμη ποσότητα του θορίου και με κατανάλωση τα ακρότατα κατανάλωσης του σημερινού ανθρώπου, επαρκεί για περιπου 1.10^6 χρόνια. Είναι περίπου της ίδιας τάξης επάρκειας για την ενέργεια που μπορεί να ληφθεί με σύντηξη (χρησιμοποιόντας το υπάρχον δευτέριο και λίθιο).

Οι επιταχυντές χρησιμοποιούνται στην Πυρηνική Φυσική από την δεκαετία του 40. Η γνώση και εμπειρία των τόσων ετών πάνω στους επιταχυντές είναι άκρως προωθημένη. Ετσι ένας επιταχυντής πρωτονίων υψηλού ρεύματος , χαμηλής ενέργειας (2 GeV) είναι εύκολα να φτιαχτεί, εύκολα να συντηρείται, εύκολα να λειτουργεί.

Οι υπέρμαχοι του ΕΑ θεωρούν ότι υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα που αξίζει τον κόπο και τα χρήματα για να συνεχιστεί η διερεύνηση. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι για τις προοπτικές που αναφέρθηκαν πιο πάνω, η Ευρωπαϊκή Ενωση επιχορήγησε, πρόσφατα, τις ομάδες που εργάζονται για τον ΕΑ με 1.8 MECU.

Αναφορές

1) C. Bowman et al NIM A320 (1992) 336

2) F. Carminati et al CERN/AT/93-47(ET)

3) L. Hebel et al Rev. Mod Phys. 50 (1978) part II, p 1

4) S. Andriamonje et al Phys. Lett. B 348 (1995) 697

5) C. Rubbia. A High Gain Energy Amplifier. Conf. "Las Vegas" 1994.

6) F.Carminati et al CERN/AT/ET 94-007.

Τίτλοι Σχημάτων και Πίνακα

Σχήμα 1. Χοντρικό διάγραμμα του Ενισχυτή Ενέργειας. Ο επιταχυντής οδηγεί το σύστημα και αποφεύγεται η υπερκρισιμότητα. Τα νετρόνια που παράγονται από τα πρωτόνια του επιταχυντή έχουν ενέργεια που μπορούν να αποτεφρώσουν τα μακρόβια παράγωγα της σχάσης του αντιδραστήρα.

Σχήμα 2. Ποσοστά των διαφόρων διαθεσίμων και εν λειτουργία μεγάλων πηγών ενέργειας.

Πίνακας 1. Αποθέματα των συμβατικών ορυκτών καυσίμων. Τα βεβαιομένα αποθέματα, στήλη Α, αντιστοιχούν σε 830 Gtoe. Οι ακρότατες εκτιμήσεις των αποθεμάτων φτάνουν στα 4400 Gtoe.

Σχήμα 3. Συγκέντρωση του CO_2 στην ατμόσφαιρα από την αρχή της Βιομηχανικής περιόδου. Η δραματική αύξηση της συγκεντρώσεως του στα τελευταία πενήντα χρόνια συνδιασμένη με την μείωση του πρασίνου έχει σαν αποτέλεσμα το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Σχήμα 4. Χρόνοι έναρξης της κατασκευής πυρηνικών αντιδραστήρων.

Σχήμα 5α. Νετρονιακή ανοικοδόμηση των υπερουρανίων, από το U-238. Το κατακόρυφο βέλος σημαίνει απορρόφηση νετρονίου και ανοικοδόμηση κατά A+1. Το οριζόντιο βέλος σημαίνει β^- διάσπαση και ανοικοδόμηση κατά Z+1.

Σχήμα 5β. Τα γραφήματα δείχνουν την ανηγμένη συγκέντρωση των ανοικοδομούμενων υπερουρανίων συναρτήσει της ολοκληρωμένης ροής των θερμικών νετρονίων.

Σχημα 6α. Νετρονιακή ανοικοδόμηση των υπερθορίων, από το Th-232. Το κατακόρυφο βέλος σημαίνει απορρόφηση θερμικών νετρονίων και ανοικοδόμηση κατά A+1. Το οριζόντιο βέλος σημαίνει β^- διάσπαση και ανοικοδόμηση κατά Z+1.

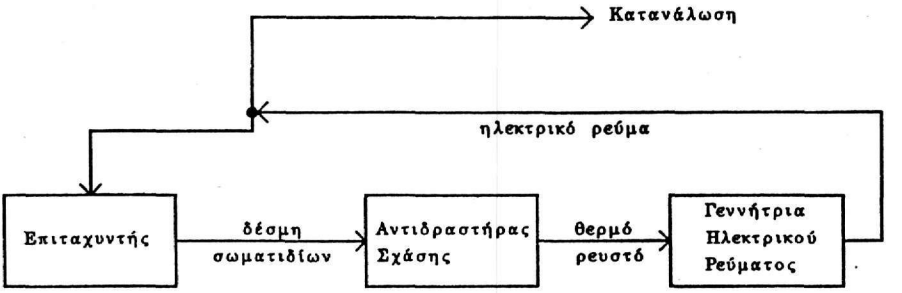
Σχήμα 6β. Τα γραφήματα δείχνουν την ανηγμένη συγκέντρωση των ανοικοδομουμένων υπερθορίων συναρτήσει της ολοκληρωμένης ροής των θερμικών νετρονίων. Πρακτικά δεν υπάρχουν εδώ ισότοπα νεπτουνίου και πλουτωνίου.

Σχήμα 7. Ποσοστά των παραγομένων νουκλιδίων της διπλής σχάσης συναρτήσει του A.

Σχήμα **8**. Τομή του υποκρισίμου αντιδραστήρα που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα EA του CERN.

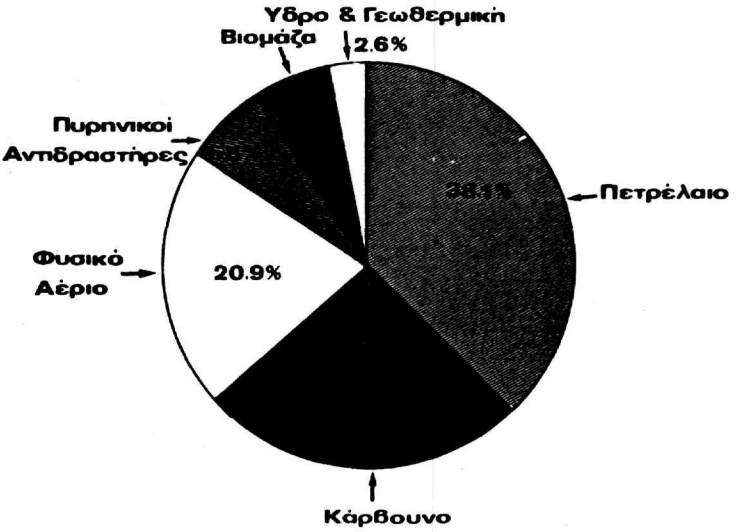
Σχήμα 9. Πυκνότητα θερμικών νετρονίων (σχάσεις) κατά μήκος οριζοντίου άξονα στο κέντρο του αντιδραστήρα στο πείραμα EA.

Σχήμα 10. Ο οδηγός πολλαπλασιαστικός παράγοντας G του EA συναρτήσει της ενέργειας των οδηγών πρωτονίων.



Σχήμα 1.

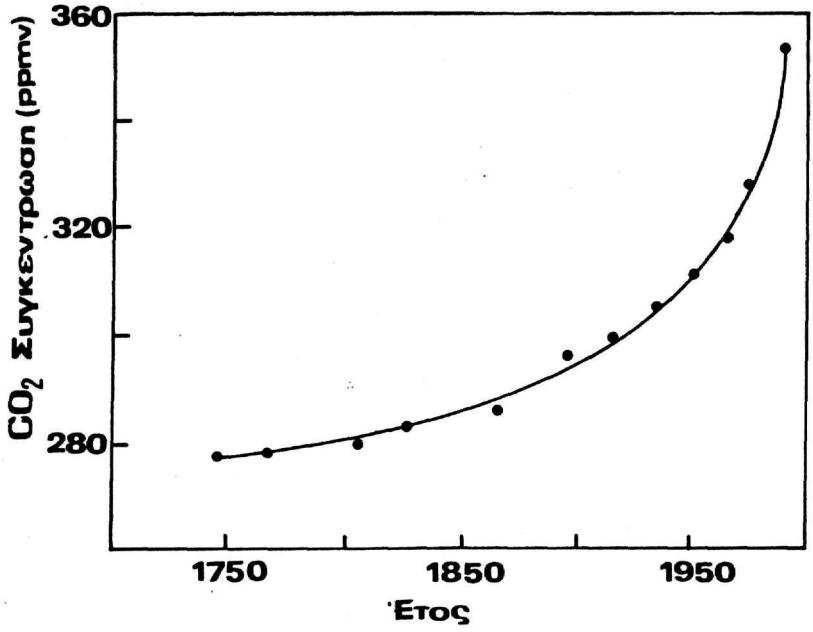
Παγκόσμια
Κανάλωση Πρωτογενούς Ενέργειας (κατά το 1991)



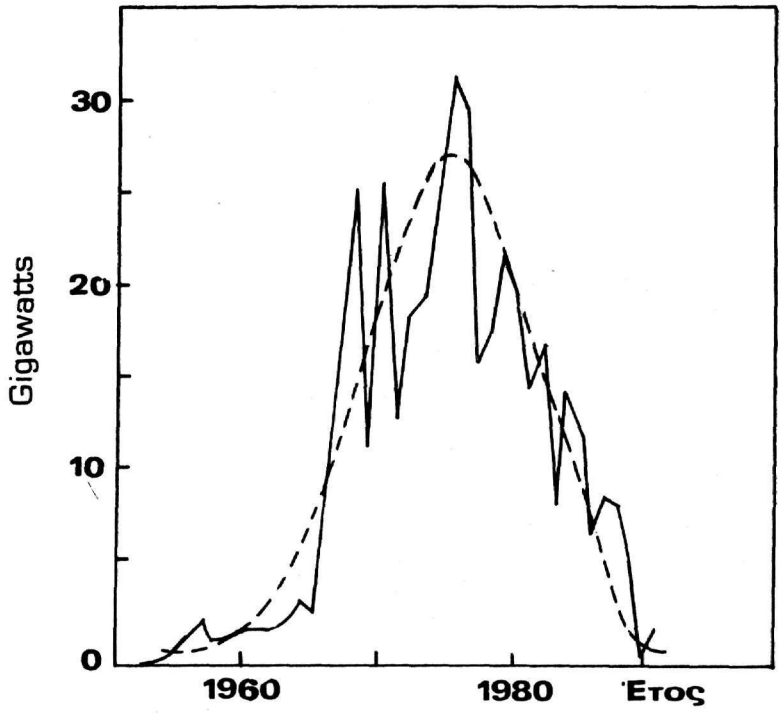
Σχήμα 2.

Πίνακας 1.

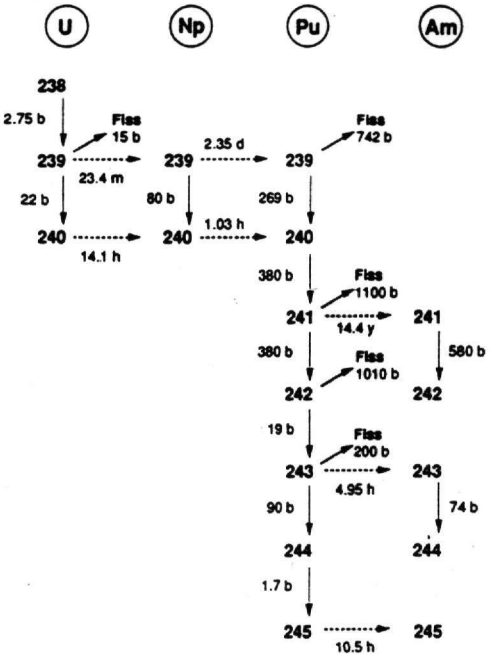
	A Gtoe	B Gtoe
"Σύνηθες" πετρέλαιο	137	200
"Ασύνηθες" πετρέλαιο		
-βαρύ αργό πετρέλαιο		75
-φυσική άσφαλτος		70
-"στερεό" πετρέλαιο		450
Φυσικό αέριο	108	220
Ανθρακίτης	474	3400
Λιγνίτης	110	
Ολικά	828	4400



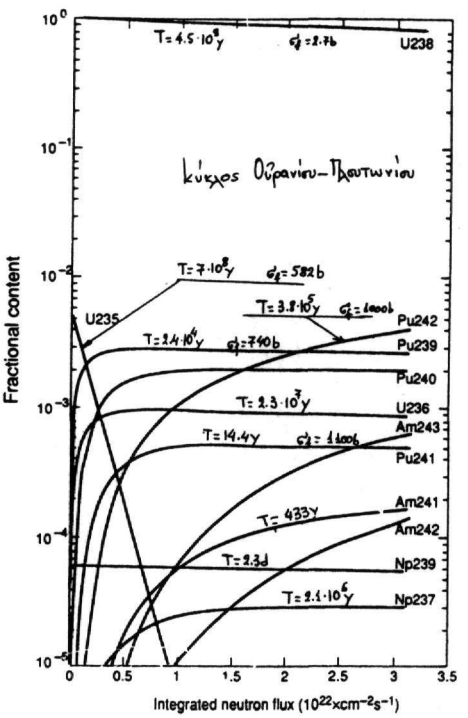
Σχήμα 3.



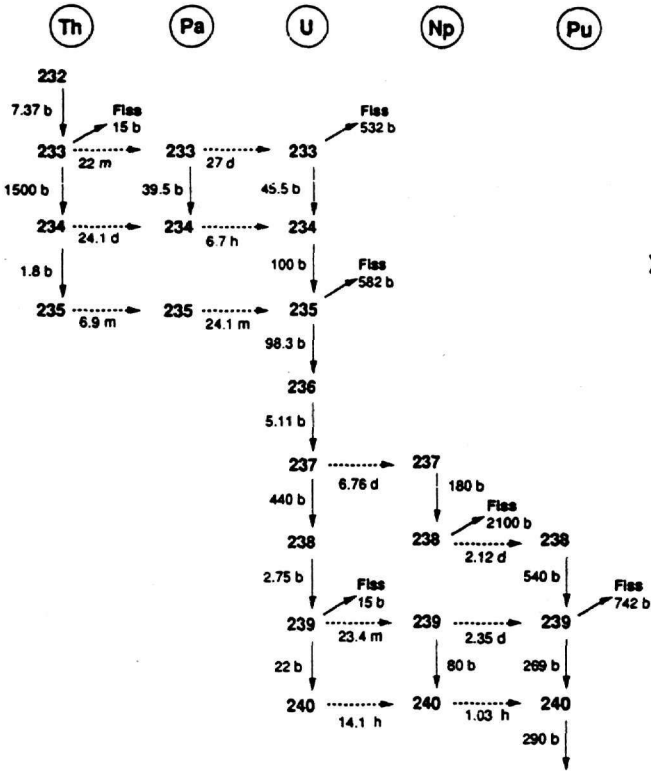
Σχήμα 4.



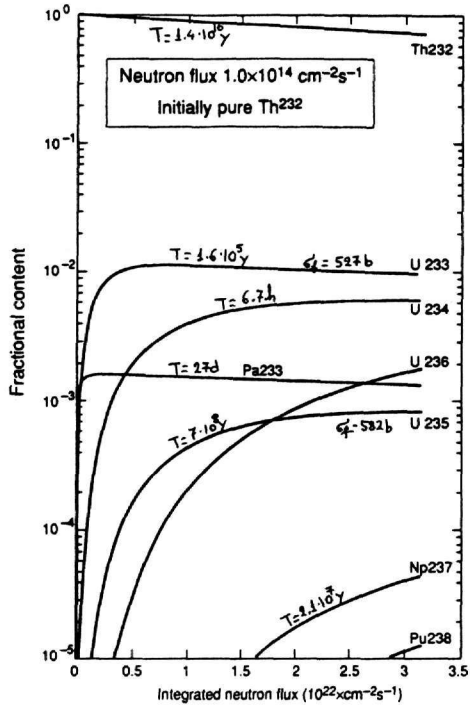
Σχήμα 5α.



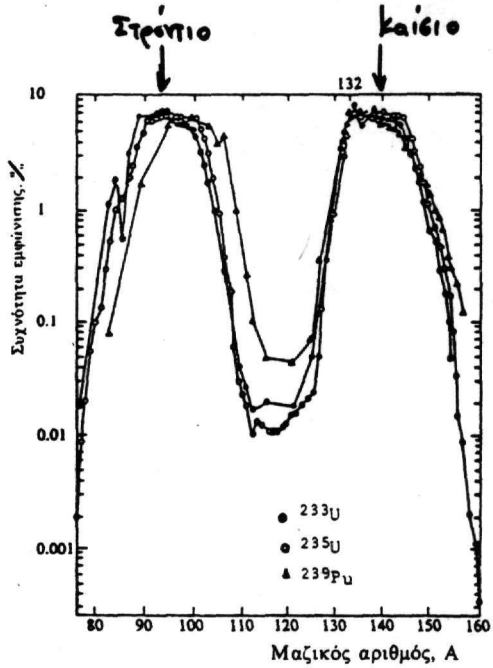
Σχήμα 5β.



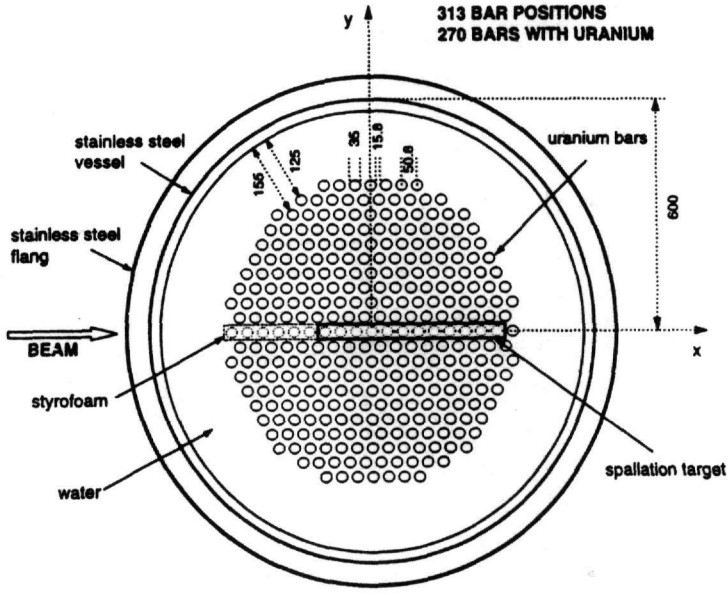
Σχήμα 6α.



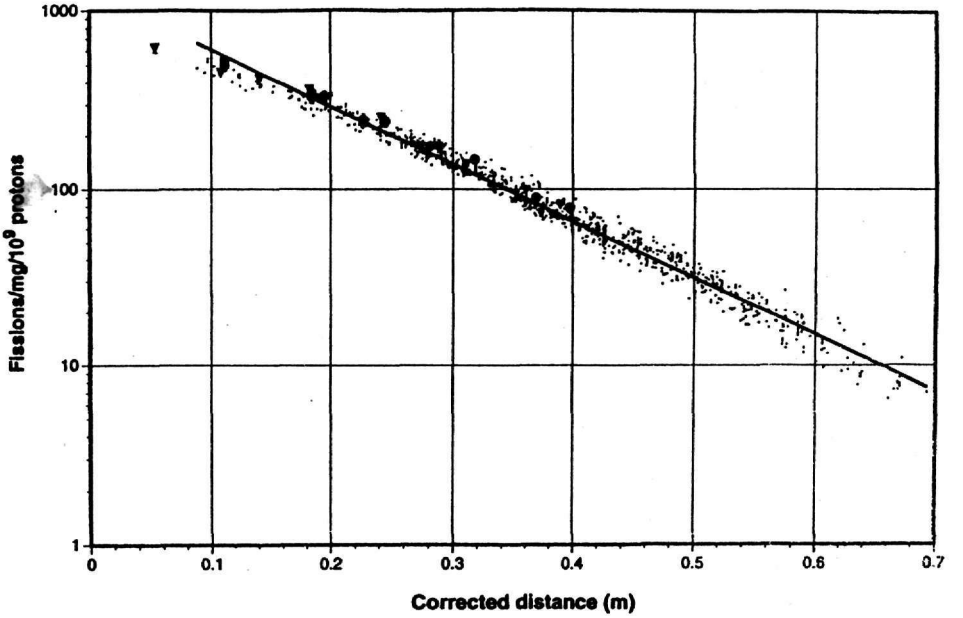
Σχήμα 6β.



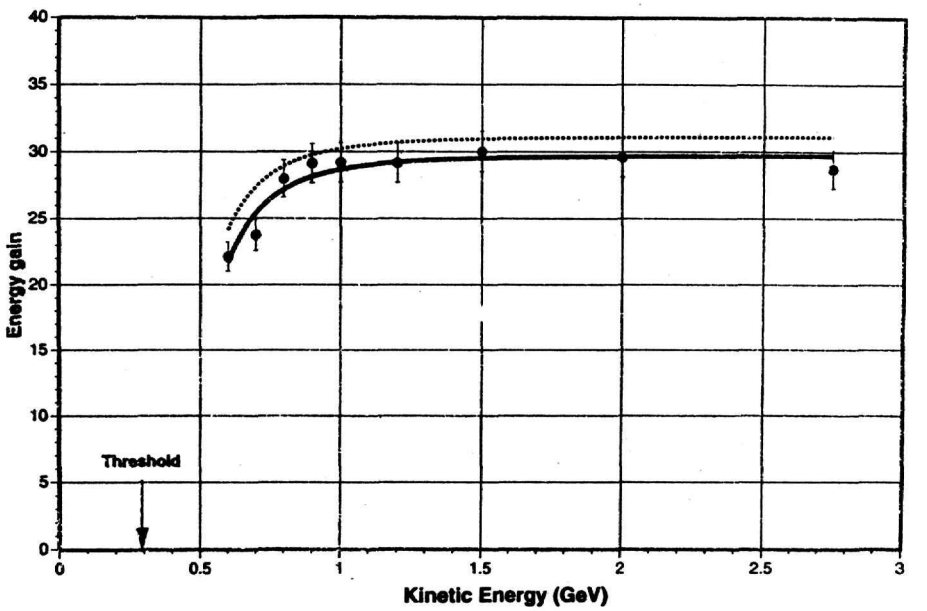
Σχήμα 7.



Σχήμα 8.



Σχήμα 9.



Σχήμα 10.