

34^η Ενότητα:

Είσοδος Ακτινοβολιών στο Φυσικό Περιβάλλον Ι Ι. Διάσπαση των Πυρήνων των Βαρέων Στοιχείων. Πυρηνική Βόμβα. Πυρηνικός Αντιδραστήρας Biblis Α. Ασφάλεια των Πυρηνικών Αντιδραστήρων. Ραδιενεργά Απόβλητα. Σύντηξη των Πυρήνων των Ελαφρών Στοιχείων. Βόμβα Υδρογόνου και Συνέπειες. Αντιδραστήρας Σύντηξης

Ακόμη μία Απολογία

Σχεδόν σε όλες τις τελευταίες Ενότητες Σας ζητώ συγνώμη για την αργοπορία από Ενότητα σε Ενότητα. Έτσι και σήμερα Σας ζητώ άλλη μια φορά συγνώμη για την αργοπορία μου. Ο λόγος είναι, ότι παρευρέθηκα σε μία εκδήλωση, όπου βραβεύτηκαν διεθνείς προσωπικότητες που έχουν διαπρέψει στον τομέα που υπηρετούν. Σε εμένα απενεμήθη το «Χρυσό Μετάλλιο του Μεγάλου Αλεξάνδρου» για τον τομέα της Επιστήμης. Και σίγουρα θα πείτε όλα καλά, και θα ήταν βέβαια όλα καλά, αν συγχρόνως με το Μετάλλιο δεν κολλούσε τόσο η Σύζυγός μου όσο και εγώ τον Κορονοϊό (παρά τα 4 εμβόλια που είχαμε κάνει και οι δύο μας). Έτσι απενεργοποιήθηκα για περισσότερες Εβδομάδες.

Σύντομη Περίληψη της 33^{ης} Ενότητας

Στην 33^η Ενότητα ξεκινήσαμε την περιγραφή της εισόδου των Ακτινοβολιών στο φυσικό Περιβάλλον. Όσα ανέφερα στην 33^η Ενότητα, τα θεώρησα απαραίτητα, ώστε από το μεγάλο και όχι βέβαια ευκατανόητο Κεφάλαιο της Πυρηνικής Φυσικής (στα στενά πλαίσια μόνο 2 Ενοτήτων) να Σας έχω εξηγήσει τόσα, όσα είναι αναγκαία για να αποκτήσετε τέτοιες γνώσεις, ώστε να αντιληφθείτε έννοιες που δεν τις ξέρουν τα 99% του πληθυσμού της οποιασδήποτε χώρας. Έτσι, αν κάτι στην 33^η Ενότητα Σας έκανε να διερωτηθείτε, γιατί μας τα αναφέρει αυτά, η δικαιολογία είναι, ότι όλα όσα αναφέραμε στην 33^η Ενότητα είναι αναγκαία, ώστε να γίνουν αντιληπτά όσα Σας υποσχέθηκα, ότι θα μάθετε. Έτσι εξηγήσαμε:

1. Ότι όλη η φύση αποτελείται από μόνο 92 διαφορετικά υλικά που λέγονται στοιχεία.
2. Ότι η μικρότερη μάζα κάθε στοιχείου, η οποία διατηρεί ακόμη τις χημικές της ιδιότητες λέγεται **άτομο**, δηλαδή αδιαίρετο (η ελληνική λέξη άτομο χρησιμοποιείται διεθνώς προς τιμήν των περισσότερων αρχαίων Ελλήνων φιλοσόφων, που είχαν υποστηρίξει αυτήν την ιδιότητα της ύλης).
3. Την δομή του ατόμου των στοιχείων (βλέπε Σχήμα 18, σελ. 320), ότι δηλαδή το άτομο κάθε στοιχείου αποτελείται κατ' αρχάς από έναν πυρήνα. Ο πυρήνας αυτός αποτελείται από δύο ειδών σωματίδια, δηλαδή τα πρωτόνια (που είναι ηλεκτρικώς θετικά φορτισμένα) και τα νετρόνια ή ουδετερόνια (που είναι ηλεκτρικώς ουδέτερα). Γύρω από τον πυρήνα του ατόμου στρέφονται πολύ μικρά σωματίδια που λέγονται ηλεκτρόνια (που είναι ηλεκτρικώς αρνητικά φορτισμένα). Το μέγεθος του θετικού ηλεκτρικού φορτίου ενός πρωτονίου είναι ακριβώς το ίδιο με το μέγεθος του αρνητικού ηλεκτρικού φορτίου ενός ηλεκτρονίου. Επειδή όμως σε κάθε άτομο **υπό κανονικές συνθήκες** ο αριθμός των πρωτονίων είναι ίσος με τον αριθμό των ηλεκτρονίων, κάθε άτομο είναι **υπό κανονικές συνθήκες** ηλεκτρικώς ουδέτερο.
4. Την φυσική και τεχνητή ραδιενέργεια. Στην τεχνητή ραδιενέργεια έγινε φανερό, ότι «βομβαρδίζοντας» τους πυρήνες ενός στοιχείου με πυρήνες του

στοιχείου ήλιο δημιουργείται ένας παραπλήσιος πυρήνας, δηλαδή ένα παραπλήσιο στοιχείο. Έχοντας όμως εξηγήσει, πώς λειτουργεί η τεχνητή ραδιενέργεια, μπορούμε να αντιληφθούμε πώς επετεύχθη **τυχαία** το ιστορικό γεγονός η «διάσπαση του ατόμου», η οποία βέβαια πρέπει να ονομάζεται ορθότερα η «διάσπαση του πυρήνα του ατόμου». Δηλαδή οι Χάαν και Στράσμαν μιμήθηκαν την τεχνητή ραδιενέργεια και «βομβάρδισαν» πυρήνες του στοιχείου ουράνιο (που είναι το βαρύτερο στοιχείο που υπάρχει στη φύση με 92 πρωτόνια) ελπίζοντας να δημιουργήσουν κάποιο τεχνητό στοιχείο κοντά στο ουράνιο και μετά από αυτό (Transurane). Αντ' αυτού όμως επειδή επέλεξαν ως αρχικό στοιχείο το βαρύτερο στοιχείο που υπάρχει στη φύση, δηλαδή το ουράνιο, επέτυχαν τη διάσπαση του πυρήνα του ουρανίου.

5. Τις ακτινοβολίες α, β και γ, επειδή αυτές είναι το πρόβλημα, όταν εξετάζουμε την ρύπανση του Περιβάλλοντος από τις ακτινοβολίες.

6. Πώς επετεύχθη η διάσπαση του πυρήνα των ατόμων (βλέπε την πυρηνική αντίδραση στην 33^η Ενότητα, σελ. 327). Δηλαδή οι Χάαν και Στράσμαν «βομβάρδισαν» τον πυρήνα του βαρύτερου στοιχείου που υπάρχει στη φύση, δηλαδή του ουρανίου (που τα άτομά του έχουν στον πυρήνα τους 92 πρωτόνια) με γρήγορα νετρόνια και εντόπισαν μετά το πείραμα τα στοιχεία βάριο (που τα άτομά του έχουν στον πυρήνα τους 56 πρωτόνια) και κρυπτόν (που τα άτομά του έχουν στον πυρήνα τους 36 πρωτόνια). Από την πυρηνική αυτή αντίδραση προκύπτει επί πλέον, ότι μετά τη διάσπαση του πυρήνα των ατόμων του ουρανίου δημιουργούνται 3 νέα νετρόνια και ένα (μεγάλο) ποσό ενέργειας.

Αυτά τα ανάφερα σκόπιμα, διότι η τελευταία φράση εξηγεί (όπως θα περιγράψουμε στην σημερινή μας 34^η Ενότητα) γιατί είναι δυνατή η εκμετάλλευση της πυρηνικής ενέργειας τόσο για ειρηνικούς σκοπούς σε έναν Πυρηνικό Αντιδραστήρα όσο και για πολεμικούς σκοπούς σε μία Πυρηνική (που εσφαλμένα ονομάζεται Ατομική) Βόμβα.

7. Στη συνέχεια περιγράψαμε από ποια μέρη αποτελείται η ενέργεια που ελευθερώνεται κατά την διάσπαση των πυρήνων των βαρέων στοιχείων. Και αυτά τα ανάφερα σκόπιμα, διότι μόνο τότε θα αντιληφθείτε (όπως θα περιγράψουμε στην σημερινή μας 34^η Ενότητα) γιατί ήταν καταστροφικό το ατύχημα είτε στο Τσερνομπίλ είτε στη Φουκουσίμα.

8. Επίσης εξηγήσαμε, ότι κατά την διάσπαση των πυρήνων των ατόμων δημιουργείται ένα ποσό ενέργειας που προκύπτει από το γεγονός, ότι το σύνολο της μάζας των σωματιδίων μετά τη διάσπαση του πυρήνα είναι μικρότερο από ότι πριν τη διάσπαση, οπότε βάσει του τύπου του Αϊνστάιν (βλέπε 33^η Ενότητα, σελ 326) η μάζα που χάθηκε μεταβλήθηκε σε ενέργεια.

9. Εξηγήσαμε επίσης, ότι ελευθέρωση ενέργειας κατά τη σχάση ενός πυρήνα δεν επιτυγχάνεται με όλα τα στοιχεία αλλά μόνο με τη σχάση του πυρήνα των βαρέων στοιχείων από τον σίδηρο με ατομικό αριθμό (αριθμός των πρωτονίων) $Z = 26$ και προς τα επάνω. Μάλιστα η ενέργεια που δημιουργείται είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο μεγαλύτερος είναι ο ατομικός αριθμός, δηλαδή όσο βαρύτερος είναι ο πυρήνας. Γι' αυτό προκειμένου να κερδίσουμε ενέργεια από την διάσπαση των πυρήνων, χρησιμοποιούμε σχεδόν πάντα το βαρύτερο στοιχείο που υπάρχει στη φύση, δηλαδή το ουράνιο (που έχει στον πυρήνα του 92 πρωτόνια).

10. Τέλος εξηγήσαμε, ότι με τα ελαφρά στοιχεία με ατομικό αριθμό από 1 (υδρογόνο) μέχρι 26 (σίδηρος) μπορεί επίσης να απελευθερωθεί ενέργεια όχι όμως με τη σχάση αλλά αντίθετα με την **συνένωση ή σύντηξη των πυρήνων**.

Η δε ενέργεια που δημιουργείται κατά τη σύντηξη είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο μικρότερος είναι ο ατομικός αριθμός, δηλαδή όσο ελαφρύτερος είναι ο πυρήνας, δηλαδή ο πυρήνας του υδρογόνου.

Τώρα έχουμε όλες τις προϋποθέσεις για να Σας εξηγήσω όσα Σας έχω υποσχεθεί:

A. Διάσπαση των Πυρήνων των Βαρέων Στοιχείων.

Πυρηνική Βόμβα

Όπως περιγράψαμε στην 33^η Ενότητα, κατά τη διάσπαση των πυρήνων των βαρέων στοιχείων ελευθερώνεται ένα τεράστιο ποσό ενέργειας, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για πολεμικούς είτε για ειρηνικούς σκοπούς. Μάλιστα εξηγήσαμε, ότι η ενέργεια που ελευθερώνεται είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο βαρύτερο είναι το στοιχείο οι πυρήνες του οποίου διασπώνται. Έτσι στη διάσπαση των πυρήνων σχεδόν αποκλειστικό ρόλο παίζει το βαρύτερο στοιχείο, δηλαδή το ουράνιο (αλλά και το πλουτώνιο).

Για πολεμικούς σκοπούς περιγράψαμε στην 33^η Ενότητα, σελ. 328 πώς έγινε η πρώτη δοκιμή της πυρηνικής βόμβας ([Trinity-Test](#)) στο Alamogordo του New Mexico, για να ακολουθήσει στην Ιαπωνία η πρώτη ρήση (Little Boy) στις 6 Αυγούστου του 1945 στη Χιροσίμα (βόμβα ουρανού) και τρεις ημέρες αργότερα η δεύτερη ρήση ([Fat Man](#)) στο Ναγκασάκι (βόμβα πλουτωνίου).

B. Διάσπαση των Πυρήνων των Βαρέων Στοιχείων.

Πυρηνικός Αντιδραστήρας

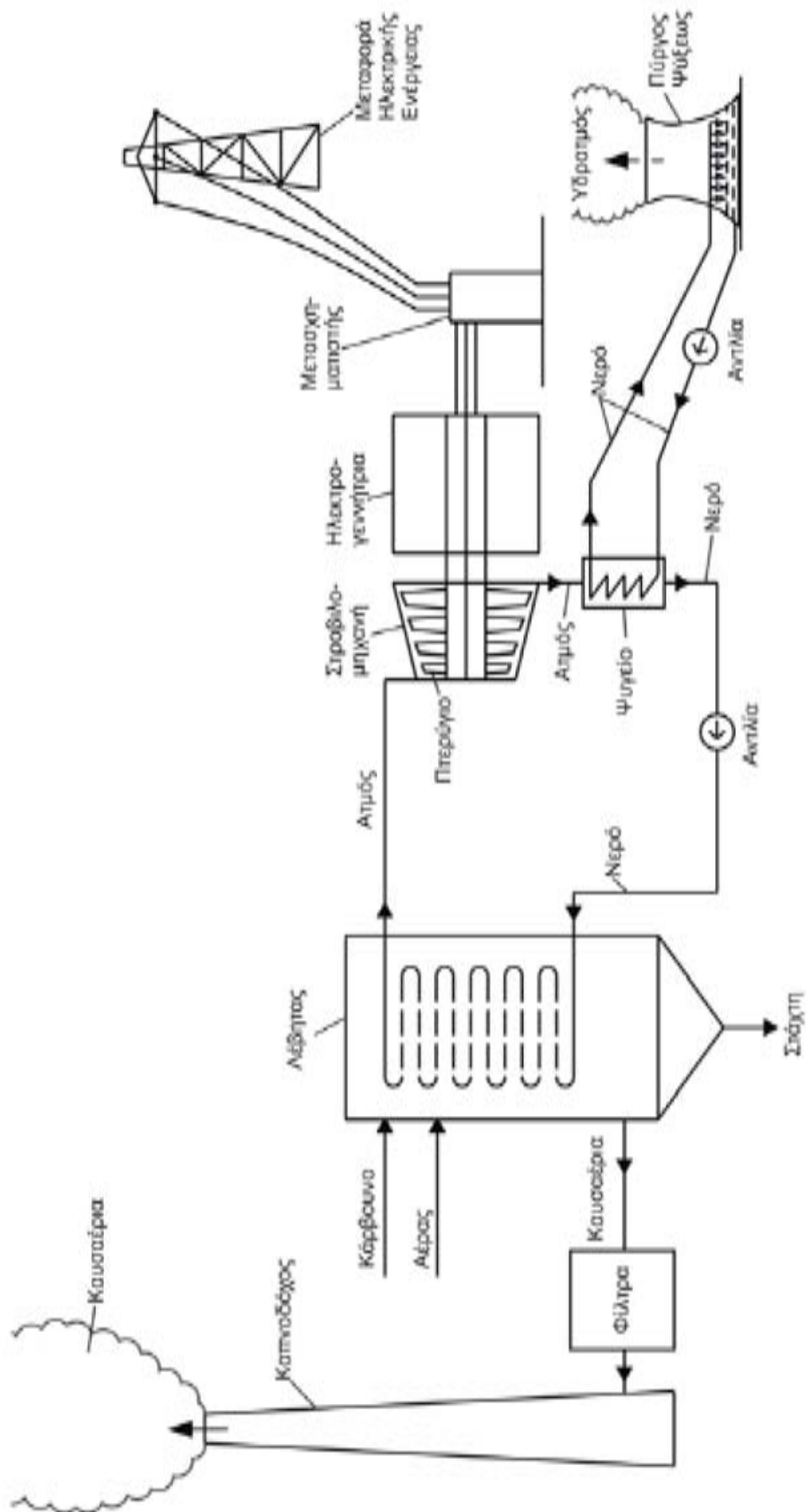
Τώρα θα ασχοληθούμε με την ειρηνική χρήση της πυρηνικής ενέργειας σε έναν πυρηνικό αντιδραστήρα. Η κύρια χρήση των πυρηνικών αντιδραστήρων είναι για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και μάλιστα σε έναν πυρηνικό ατμοηλεκτρικό σταθμό.

Σε έναν **Συμβατικό** Σταθμό Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας (βλέπε και Σχήμα 19, σελ. 333) καίγεται σε ένα λέβητα με την παρουσία αέρα ένα **συμβατικό** καύσιμο (κάρβουνο, πετρέλαιο, φυσικό αέριο, ξύλο κ.λπ.). Με τη θερμότητα που παράγεται ζεσταίνεται νερό και μεταβάλλεται σε ατμό. Ο ατμός ρέει μέσα στα πτερύγια μίας στροβιλομηχανής και με αυτό τον τρόπο στρέφει τον άξονά της. Στον ίδιο άξονα είναι όμως συνδεδεμένη και μία ηλεκτρογεννήτρια, που έτσι στρέφεται και αυτή, παράγοντας με αυτό τον τρόπο ηλεκτρική ενέργεια (όπως το δυναμό σε ένα ποδήλατο), που διανέμεται με το δίκτυο διανομής ηλεκτρισμού στους καταναλωτές. Ο ατμός μετά την έξοδό του από τη στροβιλομηχανή οδηγείται στο ψυγείο, όπου ψύχεται και μεταβάλλεται σε νερό καταλήγοντας πάλι στο λέβητα για να γίνει ατμός. Η ψύξη του ατμού στο ψυγείο επιτυγχάνεται συνήθως με ένα κύκλωμα νερού, που μεταφέρει τη θερμότητα του ατμού μέσω ενός πύργου ψύξεως στην ατμόσφαιρα.

Σε έναν **Πυρηνικό** Σταθμό Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας το μόνο που είναι διαφορετικό από τον συμβατικό ατμοηλεκτρικό σταθμό είναι, ότι η θερμότητα δεν παράγεται από την καύση ενός συμβατικού καυσίμου σε ένα λέβητα, αλλά από την σχάση των πυρήνων ενός βαρέος στοιχείου συνήθως ουρανού στον πυρηνικό αντιδραστήρα. Έτσι κατά αναλογία είναι σύνηθες να μιλάμε και για την «καύση» ενός **πυρηνικού καυσίμου**, παρότι η παραγωγή θερμότητας στον πυρηνικό αντιδραστήρα, όπως εξηγήσαμε αναλυτικά, δεν έχει τίποτα κοινό με την καύση.

α) Πυρηνικό «Καύσιμο». Ουράνιο

Το σχάσιμο υλικό στους πυρηνικούς αντιδραστήρες είναι (σχεδόν αποκλειστικά) το **ουράνιο**. Το ουράνιο είναι ένα γυαλιστερό ραδιενεργό βαρύ μεταλλικό στοιχείο. Στη φύση το ουράνιο συναντάται εκτός των άλλων και κοντά στην επιφάνεια της Γης, οπότε μπορεί να εξορυχτεί όπως το κάρβουνο, δηλαδή σε ανοικτό λατομείο ή σε υπόγειες στοές.



Σχήμα 19: Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας σε Συμβατικό (κάρβουνο) Ατμοηλεκτρικό Στάθμο

Το ορυκτό αυτό ουράνιο περιέχει μόνο τα τρία ισότοπα του ουρανίου που περιγράψαμε στην 33^η Ενότητα, σελ. 322 και μάλιστα στις ακόλουθες αναλογίες βάρους: $^{234}_{92}\text{U}_{142}$ (0,005%), $^{235}_{92}\text{U}_{143}$ (0,720%) και $^{238}_{92}\text{U}_{146}$. (99,275%) Από αυτά τα τρία ισότοπα του ουρανίου, αυτό που είναι σχάσιμο (στις συνθήκες που επικρατούν στους περισσότερους αντιδραστήρες που χρησιμοποιούνται στην πράξη) και επομένως ενδιαφέρει άμεσα για τη λειτουργία των πυρηνικών αντιδραστήρων, είναι το $^{235}_{92}\text{U}_{143}$ που συναντάται σε ένα ποσοστό βάρους μόνο 0,720% στο συνολικό ορυκτό ουράνιο. Με άλλα λόγια, όταν έχουμε ένα κομμάτι ορυκτό ουράνιο, μόνο ένας στους περίπου 139 πυρήνες ουρανίου είναι σχάσιμος και αυτό συνηθέστατα δεν είναι ικανοποιητικό για τη λειτουργία των πυρηνικών αντιδραστήρων.

Σε όλες όμως τις περιπτώσεις που δε χρησιμοποιείται φυσικό ουράνιο ως καύσιμο, το φυσικό ουράνιο πρέπει, πριν χρησιμοποιηθεί στον πυρηνικό αντιδραστήρα, να υποστεί κάποια δύσκολη, αρκετά δαπανηρή και χρονοβόρο επεξεργασία (που βασίζεται συνήθως στον φυγοκεντρισμό) και λέγεται «**εμπλουτισμός**». Κατά τον εμπλουτισμό του φυσικού ουρανίου το ισότοπο $^{235}_{92}\text{U}_{143}$ ενισχύεται από 0,720% σε τιμές μέχρι περίπου 5%.

Μέχρι τώρα αναφερθήκαμε γενικά στο πυρηνικό καύσιμο, που πρέπει να υπάρχει σε έναν πυρηνικό αντιδραστήρα. Στη συνέχεια θα αναφερθούμε πάλι γενικά στο τι άλλο πρέπει να υπάρχει σε έναν πυρηνικό αντιδραστήρα.

β) Επιβραδυντής

Στην 33^η Ενότητα, σελ. 327 περιγράψαμε πώς οι Χάαν και Στράσμαν «βομβάρδισαν» τους πυρήνες των ατόμων του στοιχείου ουράνιο, που είναι το πιο βαρύ στοιχείο που υπάρχει στη φύση, με γρήγορα νετρόνια και προέκυψε η πυρηνική αντίδραση της σελίδας 327. Δηλαδή στο πείραμα αυτό χρησιμοποιήθηκε ένα γρήγορο νετρόνιο και δημιουργήθηκαν 3 νέα νετρόνια.

Κατά την διάσπαση των πυρήνων του ουρανίου προκύπτουν διαφόρων ειδών πυρηνικές αντιδράσεις. Σε όλες όμως αυτές τις πυρηνικές αντιδράσεις προκύπτουν 2 έως 3 νέα νετρόνια. Έτσι μπορούμε να φανταστούμε, ότι **υπό ειδικές συνθήκες** τα νέα νετρόνια θα μπορούσαν να διασπάσουν νέους πυρήνες ουρανίου, έτσι ώστε να έχουμε αυτό που αποκαλούμε «**αλυσιδωτή αντίδραση**», δηλαδή συνεχή παραγωγή ενέργειας. Για να δούμε όμως ποιες είναι αυτές οι ειδικές συνθήκες

Τα νετρόνια, που προκύπτουν από την διάσπαση των πυρήνων του ουρανίου, έχουν πολύ μεγάλες ταχύτητες. Έτσι, η πιθανότητα αυτά τα γρήγορα νετρόνια να μπορέσουν να δημιουργήσουν νέες διασπάσεις πυρήνων ουρανίου είναι πολύ μικρή. Γι' αυτό για τη συνεχή διάσπαση πυρήνων ουρανίου, δηλαδή για την συνεχή παραγωγή ενέργειας σε έναν πυρηνικό αντιδραστήρα είναι απαραίτητο να επιβραδύνουμε τα νέα νετρόνια που δημιουργούνται κατά την διάσπαση των πυρήνων του ουρανίου.

Προς τούτο χρησιμοποιούμε «**επιβραδυντές**». Επιβραδυντής είναι ένα υλικό συνήθως νερό ή γραφίτης, το οποίο περιβάλλει το ουράνιο και έχει την ικανότητα να επιβραδύνει τα γρήγορα νετρόνια της σχάσης, δηλαδή να τους μειώνει την ταχύτητα, με μικρή όμως πιθανότητα ο ίδιος ο επιβραδυντής να ενσωματώνει νετρόνια. Με αυτά λοιπόν τα νετρόνια που έχουν μικρότερη ταχύτητα από ότι αρχικά, δηλαδή τώρα περίπου 2 000 μέτρα ανά δευτερόλεπτο και τα αποκαλούμε θερμικά νετρόνια, επιτυγχάνουμε τη σχάση νέων πυρήνων ουρανίου, δηλαδή επιτυγχάνουμε την αλυσιδωτή αντίδραση. Με τον επιβραδυντή εξασφαλίσαμε την συνεχή σχάση των πυρήνων του ουρανίου, δηλαδή τη συνεχή δημιουργία ενέργειας στον πυρηνικό αντιδραστήρα.

γ) Ράβδοι Ελέγχου

Ο συνήθης σκοπός όμως του πυρηνικού αντιδραστήρα είναι η ελεγχόμενη παροχή ενέργειας. Αυτό σημαίνει, ότι ανάλογα με τις ανάγκες μας άλλοτε θα θέλουμε λιγότερη και άλλοτε περισσότερη ενέργεια. Η περισσότερη ενέργεια μάλιστα μπορεί να παραχθεί και άθελά μας, αν ανεξάρτητα για ποιο λόγο οι σχάσεις των πυρήνων του ουρανίου γίνουν τόσο πολλές, ώστε οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται να πλησιάζουν τις μέγιστες επιτρεπόμενες θερμοκρασίες για την ασφάλεια του αντιδραστήρα.

Έτσι σε ένα πυρηνικό αντιδραστήρα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα της ρύθμισης της ενέργειας που παρέχει. Αυτό επιτυγχάνεται προφανώς με τη ρύθμιση του αριθμού των σχάσεων των πυρήνων του ουρανίου, δηλαδή με τη ρύθμιση του αριθμού των νέων νετρονίων που διατίθενται προς περαιτέρω σχάσεις.

Η ρύθμιση δε αυτή επιτυγχάνεται με διάφορες μεθόδους. Μία δυνατότητα είναι μέσα στον πυρηνικό αντιδραστήρα να υπάρχουν «**ράβδοι ελέγχου**» από ένα υλικό που απορροφά νετρόνια. Τέτοια υλικά είναι π.χ. το βόριο, το κάδμιο και το ίνδιο.

Όταν λοιπόν θέλουμε να μειώσουμε την ισχύ του πυρηνικού αντιδραστήρα, βυθίζουμε τις ράβδους ελέγχου του πυρηνικού αντιδραστήρα περισσότερο μέσα στον πυρηνικό αντιδραστήρα, το υλικό των ράβδων ελέγχου απορροφά περισσότερα νέα νετρόνια, ο αριθμός των σχάσεων των πυρήνων του ουρανίου μικραίνει και επομένως η ισχύς του πυρηνικού αντιδραστήρα μειώνεται.

Το αντίθετο συμβαίνει, όταν θέλουμε να αυξήσουμε την ισχύ του πυρηνικού αντιδραστήρα. Δηλαδή τότε εξάγουμε τις ράβδους ελέγχου περισσότερο έξω από τον πυρηνικό αντιδραστήρα, το υλικό των ράβδων ελέγχου απορροφά λιγότερα νετρόνια, ο αριθμός των σχάσεων των πυρήνων του ουρανίου αυξάνεται και επομένως αυξάνεται και η ισχύς του πυρηνικού αντιδραστήρα.

Υπάρχουν βέβαια και περιπτώσεις, κατά τις οποίες είναι αναγκαίο να σταματήσει ακαριαία η λειτουργία του πυρηνικού αντιδραστήρα (π.χ. στην περίπτωση ενός σεισμού). Σ' αυτή την περίπτωση βυθίζονται αυτόματα όλοι οι ράβδοι ελέγχου μέσα στον αντιδραστήρα και σταματούν τη λειτουργία του.

Σε κάθε τύπο πυρηνικού αντιδραστήρα υπάρχουν, όπως περιγράψαμε στο Κεφάλαιο Β, σελ. 332, το πυρηνικό «καύσιμο», ο επιβραδυντής και οι ράβδοι ελέγχου. Όλα αυτά είναι μεν κοινά για σχεδόν όλους τους τύπους πυρηνικών αντιδραστήρων, πλην όμως η γεωμετρία, η κατανομή στο χώρο, τα συστήματα ασφάλειας κ.λπ. διαφέρουν από τύπο σε τύπο πυρηνικού αντιδραστήρα. Πάντως η περιοχή μέσα στον πυρηνικό αντιδραστήρα που βρίσκονται το πυρηνικό «καύσιμο», ο επιβραδυντής και οι ράβδοι ελέγχου ονομάζεται **καρδιά ή πυρήνας** του αντιδραστήρα. Στο «Κεφάλαιο Ασφάλεια του Πυρηνικού Αντιδραστήρα», θα δείξουμε ένα Σκίτσο του πυρηνικού αντιδραστήρα. Εκεί μπορείτε να εντοπίσετε και την καρδιά ή τον πυρήνα του αντιδραστήρα (βλέπε Σχήμα 22, σελ.339).

δ) Τύποι Πυρηνικών Αντιδραστήρων.

Περιγραφή του Γερμανικού Πυρηνικού Αντιδραστήρα Biblis A

Υπάρχουν περισσότεροι τύποι πυρηνικών αντιδραστήρων. Εδώ θα περιοριστούμε για ευνόητους λόγους στην περιγραφή μόνο ενός τύπου που ονομάζεται «Πυρηνικός Αντιδραστήρας Ελαφρού Πεπιεσμένου Ύδατος». Ο πυρηνικός αντιδραστήρας ελαφρού πεπιεσμένου ύδατος είναι ο τύπος του αντιδραστήρα που είναι ο πιο διαδεδομένος παγκοσμίως (264 αντιδραστήρες σε σύνολο 436). Δηλαδή περίπου τα 2/3 των πυρηνικών αντιδραστήρων σχάσης των πυρήνων του ουρανίου ανήκουν σ' αυτόν τον τύπο (60,6% ως προς τον αριθμό των αντιδραστήρων και 65,4% ως προς τη συνολική ισχύ). Ο πιο χαρακτηριστικός αντιπρόσωπος αυτού του είδους είναι ο Γερμανικός Πυρηνικός Αντιδραστήρας Biblis A της Εταιρείας RWE Energie AG (της

οποίας ήμουν επί περίπου 20 χρόνια υπεύθυνος για την Προστασία του Περιβάλλοντος). Όλες οι αναφορές σε νούμερα που ακολουθούν ισχύουν αποκλειστικά για τον Γερμανικό Πυρηνικό Αντιδραστήρα Biblis A:

Συνολική Ηλεκτρική Ισχύς, Συνολική Μάζα Ουρανίου, Ράβδοι Καυσίμου και Στοιχεία Καυσίμου, Ράβδοι Ελέγχου

- Η συνολική παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς είναι 1 225 Μεγαβάτ. Είναι σκόπιμο βέβαια να γνωρίζετε, ότι με μία παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ 1 000 Μεγαβάτ μπορούμε **χοντρικά** να εξυπηρετήσουμε τις ανάγκες ενός πληθυσμού ενός εκατομμυρίου ανθρώπων.
- Η συνολική μάζα ουρανίου είναι 102,7 τόνοι. Το πυρηνικό καύσιμο είναι εμπλουτισμένο ουράνιο, όπου ο εμπλουτισμός σε $^{235}_{92}\text{U}_{143}$ είναι 3,4%. Το πυρηνικό καύσιμο έχει τη μορφή διοξειδίου του ουρανίου, που είναι ανθεκτικό σε υψηλές θερμοκρασίες. Έχει το σχήμα μικρών πεπιεσμένων δισκίων (pellets) με διάμετρο περίπου 10 mm και ύψος περίπου 15 mm. Τα δισκία αυτά του ουρανίου βρίσκονται το ένα επάνω στο άλλο μέσα σε ένα μεταλλικό σωλήνα ύψους 4,17 μέτρων που ονομάζεται «**ράβδος καυσίμου**». Το πυρηνικό καύσιμο είναι καταναμημένο σε 193 μονάδες που λέγονται «**στοιχεία καυσίμου**». Ένα στοιχείο καυσίμου είναι μία τετράγωνη διάταξη $16 \times 16 = 256$ σωλήνων. Από αυτούς τους 256 σωλήνες οι 236 είναι ράβδοι καυσίμου (όπως τις περιγράψαμε προηγουμένως). Οι υπόλοιποι 20 σωλήνες είναι σωλήνες υποδοχής των ράβδων ελέγχου. Επομένως ο συνολικός αριθμός των ράβδων καυσίμου είναι 193 στοιχεία καυσίμου \times 236 ράβδοι καυσίμου ανά στοιχείο καυσίμου = 45 548 ράβδοι.
- Στον αντιδραστήρα ελαφρού ύδατος συνηθισμένο νερό (όπου όμως έχουν αφαιρεθεί τόσο τα άλατα όσο και τα αέρια) περιβάλλει τις ράβδους του πυρηνικού καυσίμου. Έτσι το συνηθισμένο νερό παίζει καταρχάς το ρόλο του **επιβραδυντή**, δηλαδή του μέσου που επιβραδύνει τα νέα νετρόνια που παράγονται κατά την σχάση των πυρήνων του ουρανίου. Συγχρόνως όμως το συνηθισμένο αυτό νερό είναι το μέσο μέσα στο οποίο ελευθερώνεται η ενέργεια της σχάσης των πυρήνων, η οποία έχει τελικά τη μορφή της θερμότητας. Η παραγωγή αυτής της θερμότητας είναι βέβαια ο σκοπός της λειτουργίας του πυρηνικού αντιδραστήρα, αφού με αυτόν τον τρόπο πετυχαίνουμε ό,τι στον λέβητα ενός συμβατικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Από το ζεστό αυτό νερό πρέπει τέλος να παραχθεί ο ατμός που θα κινήσει τη στροβιλομηχανή.
- Η περιοχή μέσα στον πυρηνικό αντιδραστήρα που βρίσκονται το πυρηνικό καύσιμο (ράβδοι καυσίμου και στοιχεία καυσίμου), ο επιβραδυντής (νερό) και οι ράβδοι ελέγχου ονομάζεται **καρδιά** ή **πυρήνας** του αντιδραστήρα. Στο επόμενο Κεφάλαιο, που θα ασχοληθούμε με την ασφάλεια των πυρηνικών αντιδραστήρων θα χρησιμοποιήσουμε ένα σκίτσο του Biblis A (βλέπε Σχήμα 22, σελ.339), όπου μπορείτε να εντοπίσετε εκτός των άλλων και την **καρδιά** ή **πυρήνα** του αντιδραστήρα.

Ασφάλεια των Πυρηνικών Αντιδραστήρων

Η λειτουργία των πυρηνικών αντιδραστήρων παρουσιάζει μία ιδιαιτερότητα η οποία εκτός των άλλων θα μας επιτρέψει να κατανοήσουμε τα μεγάλα προβλήματα που προκαλούνται, όταν γίνεται ένα ατύχημα σε έναν πυρηνικό εργοστάσιο. Η ιδιαιτερότητα αυτή προκύπτει από τα όσα περιγράψαμε στην 33^η Ενότητα, σελ. 329 (τίποτα από τα όσα αναφέραμε στην 33^η Ενότητα δεν ήταν τυχαίο, αλλά ήταν απαραίτητο για τα όσα εξηγούμε στην σημερινή 34^η Ενότητα):

Όπως αναφέραμε λοιπόν στην 33^η Ενότητα, σελ.329, την ενέργεια που ελευθερώνεται κατά την σχάση των πυρήνων του ουρανίου μπορούμε να την υποδιαιρέσουμε σε δύο μέρη: α) την ενέργεια που δημιουργείται σχεδόν ακαριαία και β) την ενέργεια που ελευθερώνεται καθυστερημένα.

α) Η ενέργεια που ελευθερώνεται κατά τη σχάση ενός πυρήνα ουρανίου σχεδόν ακαριαία αποτελείται από την κινητική ενέργεια που έχουν αφ' ενός μεν οι δύο πυρήνες θραύσματα αφετέρου δε τα γρήγορα νέα νετρόνια που δημιουργήθηκαν κατά τη σχάση του αρχικού πυρήνα (βλέπε πυρηνική αντίδραση, σελ. 327). Επιπλέον η ενέργεια αυτή αποτελείται και από την ακαριαία εκπομπή ακτινοβολίας γ. Τα ποσοστά των επί μέρους αυτών ενεργειών ως προς τη συνολικά παραγόμενη ενέργεια της σχάσης είναι 80%, 3% και 4% αντίστοιχα, δηλαδή τα 87% της συνολικά παραγόμενης ενέργειας της σχάσης. Τα υπόλοιπα 13% της συνολικά παραγόμενης ενέργειας της σχάσης ελευθερώνεται καθυστερημένα.

β) Η ενέργεια που ελευθερώνεται καθυστερημένα από τους δύο πυρήνες θραύσματα. προκύπτει ως εξής: Οι πυρήνες θραύσματα, που δημιουργήθηκαν κατά τη σχάση του πυρήνα του ουρανίου, είναι αμέσως μετά τη σχάση ασταθείς πυρήνες (σχετικά με τον αριθμό των νετρονίων που περιέχουν) και ευρίσκονται σε διέγερση. Αυτό σημαίνει, ότι οι ασταθείς αυτοί πυρήνες θα καταλήξουν σε μία ευσταθή κατάσταση πιθανότατα μετά από μία σειρά μεταπτώσεων σε λιγότερο ασταθείς πυρήνες και αντίστοιχων εκπομπών ακτινοβολίας β και γ. Τα αντίστοιχα ποσοστά των επί μέρους αυτών ενεργειών ως προς τη συνολικά παραγόμενη ενέργεια της σχάσης είναι: ακτινοβολία β 4% και ακτινοβολία γ 4%. Στην ενέργεια που ελευθερώνεται καθυστερημένα ανήκουν και τα υπόλοιπα 5% (για να έχουμε 100%), με τη διαφορά ότι τα σωματίδια που έχουν την ενέργεια αυτή και ονομάζονται **νετρίνα** είναι σωματίδια που δεν εξηγούνται από το απλοποιημένο ατομικό μοντέλο που χρησιμοποιήσαμε.

Όλες αυτές όμως οι μεταπτώσεις πυρήνων και οι ραδιενεργές εκπομπές συντελούνται στον αντίστοιχο χρόνο ημιζωής τ (βλέπε 33^η Ενότητα, σελ. 326). Δηλαδή στο χρόνο τ έχει μεταπέσει μόνο ο μισός αριθμός πυρήνων ενός ασταθούς πυρήνα στον αμέσως λιγότερο ασταθή πυρήνα. Και αυτό για όλους τους πυρήνες θραύσματα και για όλη τη σειρά εκπομπών ακτινοβολίας. Αυτό όμως σημαίνει, ότι ανάλογα με το σχάσιμο υλικό, ανάλογα με τους πυρήνες θραύσματα κ.λπ. ακόμη και μετά την παύση της λειτουργίας του αντιδραστήρα μέσα στον αντιδραστήρα συνεχίζουν ραδιενεργές σχάσεις εκπέμποντας ενέργεια υπό τη μορφή θερμότητας. Η θερμότητα αυτή εκπέμπεται για πολλά χρόνια, έστω και αν το ποσό αυτής της θερμότητας γίνεται με τον χρόνο συνεχώς μικρότερο.

Όταν λοιπόν τεθεί ο πυρηνικός αντιδραστήρας εκτός λειτουργίας, ανεξάρτητα από το ποιος ήταν ο λόγος προς τούτο, πρέπει αμέσως να τεθεί σε λειτουργία ένα σύστημα συνεχούς ψύξης της καρδιάς του αντιδραστήρα, διαφορετικά η θερμοκρασία στην καρδιά του αντιδραστήρα συνεχώς θα αυξάνει, όπου στη χειρότερη περίπτωση θα λειώσει το πυρηνικό καύσιμο με καταστροφικές συνέπειες.

Με αυτά που εξηγήσαμε προηγουμένως έχετε τα εφόδια να καταλάβετε τι συνέβη σε ένα από τα δύο μεγαλύτερα ατυχήματα στην ιστορία των πυρηνικών αντιδραστήρων.

Κατ' αρχάς τα δύο αυτά ατυχήματα ήταν στο Τσερνομπίλ (πρώην Σοβιετική Ένωση) και στη Φουκουσίμα (Ιαπωνία).

Στη συνέχεια θα περιγράψουμε τι **συνέβη στη Φουκουσίμα**. Την 1.3.2011 συνέβη στην Ιαπωνία μία βιβλική καταστροφή, δηλαδή ένας σεισμός που συγκαταλέγεται στους 4 πιο ισχυρούς σεισμούς που έχουν μετρηθεί ποτέ παγκοσμίως και ο ισχυρότερος για την Ιαπωνία. Το επίκεντρο του σεισμού εντοπίστηκε 163

χιλιόμετρα βορειοανατολικά του πυρηνικού εργοστασίου Fukushima (Φουκουσίμα) και το βάθος 24 χιλιόμετρα κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Το πυρηνικό εργοστάσιο (Φουκουσίμα) είχε συνολικά έξι πυρηνικούς αντιδραστήρες, όπου σε λειτουργία ήταν μόνο οι τρεις. Όλοι οι πυρηνικοί αντιδραστήρες κοντά στο επίκεντρο του σεισμού (και οι πυρηνικοί αντιδραστήρες Φουκουσίμα 1, 2 και 3) αντέδρασαν όπως προβλέπεται και επιβάλλεται σε περίπτωση σεισμού, διακόπτοντας δηλαδή αυτόματα τη λειτουργία τους. Όπως όμως εξηγήσαμε προηγουμένως, όταν ένας πυρηνικός σταθμός τεθεί εκτός λειτουργίας, η παραγωγή θερμότητας συνεχίζεται για μήνες και χρόνια. Αυτή η θερμότητα πρέπει επομένως να απομακρύνεται, διότι διαφορετικά θα ήταν δυνατό ο πυρηνικός αντιδραστήρας να καταστραφεί και να καταλήξει ραδιενέργεια στο Περιβάλλον με καταστρεπτικές συνέπειες. Γι' αυτό υπάρχει πάντα ένα σύστημα ψύξης του πυρηνικού αντιδραστήρα. Ο σεισμός κατέστρεψε καταρχάς την εξωτερική παροχή ρεύματος. Για την ειδική περίπτωση που θα υπάρξει διακοπή ρεύματος, επιβάλλεται να υπάρχει ένα εφεδρικό σύστημα ψύξης (ντιζελοκίνητη ηλεκτρογεννήτρια και αντλίες). Και αυτό υπήρχε στη Φουκουσίμα και έτσι 13 από τις 14 ντιζελοκίνητες ηλεκτρογεννήτριες (η μία επισκευαζόταν) ετέθησαν αυτόματα σε λειτουργία δίχως προβλήματα. Ο καταστροφικός όμως σεισμός δημιούργησε ένα τσουνάμι, που 49 λεπτά μετά το σεισμό έφτασε στην ακτή. Το τσουνάμι ύψους 13 έως 15 μέτρων υπερπήδησε το προστατευτικό τείχος ύψους 5,7 μέτρων του εργοστασίου της Φουκουσίμα που υπήρχε γι' αυτό το σκοπό. Στη συνέχεια υπήρξε γενική διακοπή ρεύματος. Το χειρότερο όμως ήταν, ότι, επειδή τα 14 εφεδρικά συστήματα ψύξης ευρίσκονταν στον προαύλιο χώρο, το τσουνάμι τα παρέσυρε και αχρήστευσε τις ντιζελοκίνητες γεννήτριες και τις αντλίες. Χωρίς το σύστημα ψύξεως των αντιδραστήρων η συμφορά που ακολούθησε τις επόμενες ημέρες (εκρήξεις, μεγάλη διαρροή ακτινοβολίας κ.λπ.) ήταν αναμενόμενη. Αφού το σύστημα ψύξης των στοιχείων του καυσίμου δε λειτουργούσε, η θερμοκρασία στο εσωτερικό των αντιδραστήρων συνεχώς αυξανόταν με τις καταστροφικές συνέπειες

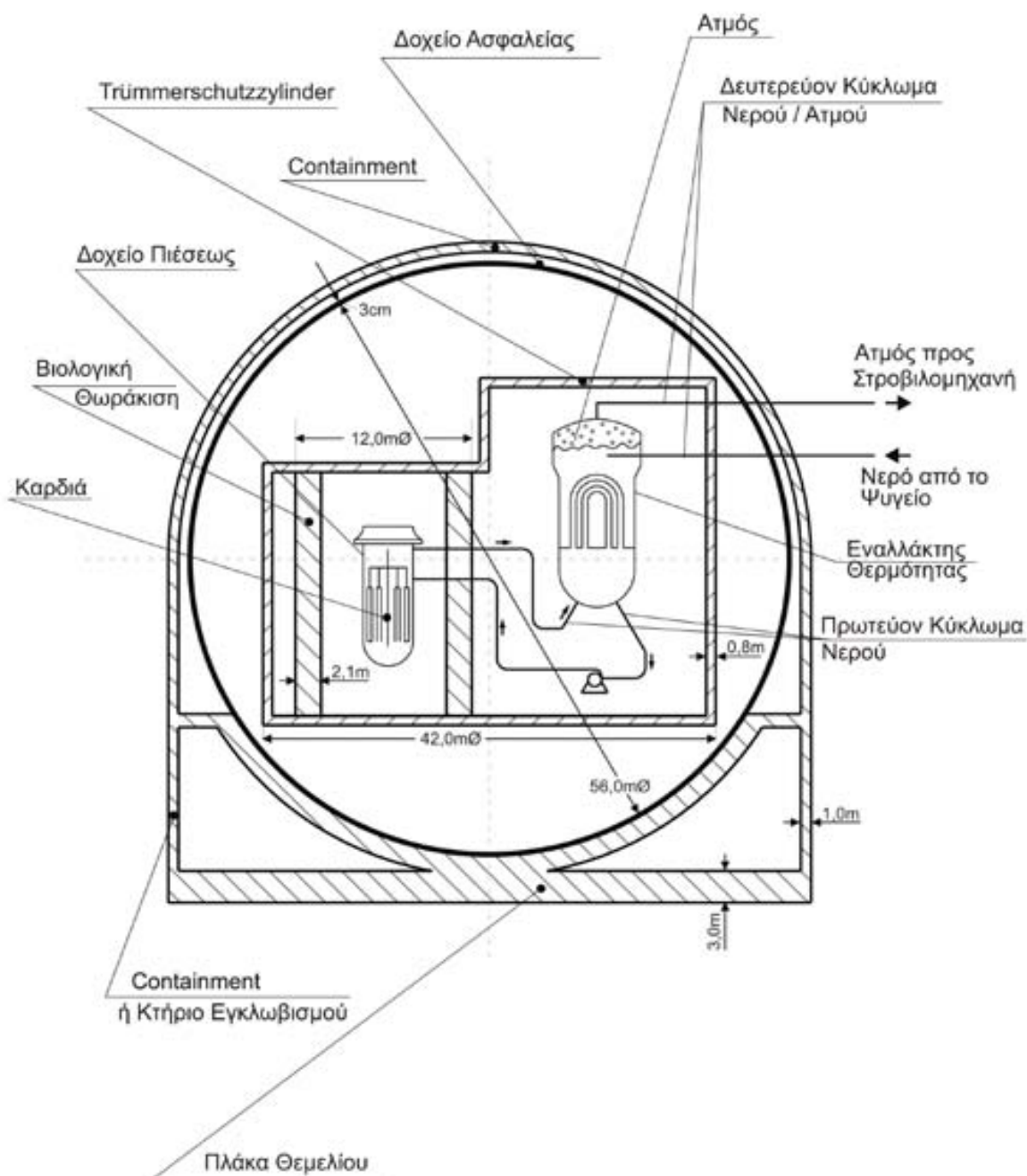
Άδεια Λειτουργίας ενός Πυρηνικού Σταθμού

Σε χώρες της Δύσης, προκειμένου να δοθεί ή άδεια λειτουργίας ενός πυρηνικού σταθμού, πρέπει να πληρούνται πολλές προϋποθέσεις για την ασφάλεια του πυρηνικού σταθμού. Στις χώρες του πρώην Ανατολικού Μπλοκ (π.χ. στο Τσερνομπίλ) επειδή όλα ορίζονταν κεντρικά δεν υπήρχαν (όπως θα δούμε στη συνέχεια) αυστηρές προδιαγραφές για την ασφάλεια των πυρηνικών αντιδραστήρων.

Στη συνέχεια θα Σας περιγράψω ποια εμπόδια διαθέτει ο Γερμανικός Πυρηνικός Αντιδραστήρας Biblis A προκειμένου να αποκλειστεί η περίπτωση να καταλήξει ραδιενέργεια έξω από τον αντιδραστήρα. Ισχύει δε, ότι η Γερμανική Νομοθεσία είναι η αυστηρότερη παγκοσμίως εις ότι αφορά στην ασφάλεια από προβλήματα πυρηνικής ενέργειας.

Υπάρχουν συνολικά 7 εμπόδια, τα οποία δεν επιτρέπουν να καταλήξει ραδιενέργεια έξω από τον αντιδραστήρα. Για την καλλίτερη κατανόηση Σας έχω φτιάξει ένα Σκίτσο του αντιδραστήρα Biblis A, όπου μπορείτε να εντοπίσετε όλα τα συστήματα ασφάλειας που θα αναφερθούν στη συνέχεια (βλέπε Σχήμα 22, σελ. 339).

1. Όλα τα προϊόντα της σχάσης των πυρήνων του ουρανίου δημιουργούνται κατά τη λειτουργία του πυρηνικού αντιδραστήρα μέσα στα δισκία του ουρανίου. Ένα μέρος όμως της ακτινοβολίας και ένα μεγάλο ποσοστό των στερεών ραδιενεργών σωματιδίων παραμένουν μέσα στη στερεά κρυσταλλική δομή που έχουν τα κεραμικά δισκία του ουρανίου. Έτσι τα ίδια τα δισκία του ουρανίου αποτελούν ένα πρώτο παθητικό εμπόδιο,



Σχήμα 22: Πυρηνικός Αντιδραστήρας Ελαφρού Πεπιεσμένου Ύδατος: Biblis A

2. Τα δισκία του ουρανίου βρίσκονται, όπως προαναφέραμε, κλεισμένα αεροστεγώς μέσα στις ράβδους του καυσίμου. Έτσι το μεταλλικό τοίχωμα των ράβδων του καυσίμου (πάχους 0,6 έως 0,8 mm) είναι ένα δεύτερο εμπόδιο.
3. Ένα μέρος όμως της ακτινοβολίας αλλά και των ραδιενεργών σωματιδίων διαπερνά και το μεταλλικό τοίχωμα των ράβδων του καυσίμου, έτσι ώστε το ελαφρύ νερό που περιβάλλει τις ράβδους του καυσίμου είναι ραδιενεργό. Όπως έχουμε προαναφέρει, η περιοχή μέσα στον πυρηνικό αντιδραστήρα που βρίσκονται το πυρηνικό καύσιμο (ράβδοι καυσίμου και στοιχεία καυσίμου), ο επιβραδυντής (νερό) και οι ράβδοι ελέγχου ονομάζεται **καρδιά** ή **πυρήνας** του αντιδραστήρα (βλέπε Σχήμα 22, σελ. 339). Επομένως όλη η καρδιά του πυρηνικού αντιδραστήρα είναι ραδιενεργή. Έτσι προκειμένου να εμποδιστεί η εκπομπή της ακτινοβολίας αυτής προς τα έξω η καρδιά βρίσκεται μέσα σε ένα δοχείο που λέγεται **δοχείο πίεσεως** του αντιδραστήρα (βλέπε Σχήμα 22, σελ. 339), το οποίο είναι ένα τρίτο εμπόδιο. Το δοχείο πίεσεως είναι κυλινδρικό ύψους 13,25 μέτρων με διάμετρο 5 μέτρων από ατσάλι πάχους 24,2 εκατοστών του μέτρου (!) και ζυγίζει περίπου 550 τόνους (!). **Παρεμπιπτόντως εδώ τελείωναν τα εμπόδια του Τσερνομπίλ**, δηλαδή ότι ακολουθεί για έναν Γερμανικό πυρηνικό σταθμό δεν υπήρχε στο Τσερνομπίλ.
4. Ένας κύλινδρος από προεντεταμένο σκυρόδεμα διαμέτρου 12 μέτρων, ύψους 24 μέτρων και πάχους τοιχωμάτων 2,10 μέτρων προστατεύει το χώρο έξω από αυτόν από την άμεση ακτινοβολία του αντιδραστήρα. Ο κύλινδρος αυτός ονομάζεται «**βιολογική θωράκιση**», διότι έξω από αυτόν η ακτινοβολία είναι τόσο μικρή, ώστε δεν δημιουργεί πρόβλημα στους ανθρώπους του εργοστασίου. Η «βιολογική θωράκιση» είναι το τέταρτο εμπόδιο.
5. Το δοχείο πίεσεως, η «βιολογική θωράκιση» αλλά και ολόκληρο το πρωτεύον κύκλωμα νερού περιβάλλονται από το πέμπτο εμπόδιο, δηλαδή ένα κυλινδρικό κτήριο από προεντεταμένο σκυρόδεμα με εξωτερική διάμετρο 42 μέτρων, πάχος τοιχώματος 0,80 μέτρου και ύψος 24 μέτρων ή 34 μέτρων (εάν ληφθεί υπόψη και η κάλυψη του εναλλάκτη θερμότητας που παράγεται ο ατμός). Το κτήριο αυτό ονομάζεται στα γερμανικά **Trümmerschutzzylinder** (βλέπε Σχήμα 22, σελ. 339), δηλαδή «κύλινδρος προστασίας από θρύψαλα». Και πράγματι έχει το σκοπό να εμποδίσει την έξοδο από αυτό το χώρο σε κομμάτια από σωλήνες, δοχεία και λοιπά εξαρτήματα σε περίπτωση ατυχήματος στο εσωτερικό του αντιδραστήρα.
6. Επειδή όμως τίποτα δεν είναι τέλει, θα ήταν δυνατό μερικά από τα κομμάτια των πυρήνων (που προαναφέραμε, ότι προκύπτουν κατά την διάσπαση των πυρήνων του ουρανίου), να διαφύγουν προς τα έξω και από τον Trümmerschutzzylinder. Έτσι υπάρχει έξω από τον Trümmerschutzzylinder το έκτο εμπόδιο. Αυτό είναι ένα σφαιρικό δοχείο από χάλυβα διαμέτρου 56 μέτρων με πάχος του τοιχώματός του 3 εκατοστά του μέτρου που περικλείει όλα, όσα περιγράψαμε μέχρι τώρα. Το δοχείο αυτό ονομάζεται **δοχείο ασφαλείας** (βλέπε Σχήμα 22, σελ. 339) και προφυλάσσεται από το εσωτερικό του αντιδραστήρα με τον Trümmerschutzzylinder, από δε το Περιβάλλον του πυρηνικού σταθμού με το επόμενο και τελευταίο έβδομο εμπόδιο.
7. Παρ' όλα αυτά επομένως υπάρχει και το έβδομο εμπόδιο, δηλαδή το «**κτήριο εγκλωβισμού**» ή και διεθνώς **containment**. Αυτό είναι το εξωτερικό περίβλημα του πυρηνικού σταθμού από προεντεταμένο σκυρόδεμα πάχους ενός μέτρου με θεμέλιο πάχους τριών μέτρων. Το κτήριο εγκλωβισμού εκτός των άλλων προστατεύει τον πυρηνικό σταθμό από εξωτερικούς κινδύνους

(π.χ. πτώση αεροπλάνου, σεισμό κ.λπ.). Αποτελεί όμως και ένα τελευταίο έβδομο εμπόδιο από ανεξέλεγκτη εκπομπή ακτινοβολίας στο Περιβάλλον.

Εδώ τελειώσαμε με την περιγραφή του Κεφαλαίου Διάσπαση των Πυρήνων των Βαρέων Στοιχείων και μάλιστα τόσο με την εφαρμογή στην πυρηνική βόμβα, όσο και για ειρηνικούς σκοπούς σε έναν πυρηνικό αντιδραστήρα.

Πρέπει όμως να παραδεχτώ, ότι ποτέ μέχρι τώρα όταν περιγράφω την Ρύπανση και την Προστασία του Περιβάλλοντος (εκτός πανεπιστημιακού επιπέδου) δεν έχω διηγηθεί τόσα πολλά για την ειρηνική εφαρμογή της Διάσπασης των Πυρήνων των Βαρέων Στοιχείων σε έναν πυρηνικό αντιδραστήρα. Αυτό έχει σχέση με το γεγονός, ότι είμαι πεπεισμένος, ότι, εάν μία Αναγνώστρια ή ένας Αναγνώστης της Ιστοσελίδας μου την έχει παρακολουθήσει σε 34 Ενότητες και επί δύο χρόνια, είναι κάτι ιδιαίτερο και ότι αξίζει μία περιγραφή σαν να ακούει Παραδόσεις σε ένα Πανεπιστήμιο για Πυρηνική Φυσική. Να είστε όμως βέβαιες και βέβαιοι, ότι ορισμένα από αυτά που περιγράψαμε στις δύο τελευταίες Ενότητες δεν διδάσκονται ούτε στο Πανεπιστήμιο.

Ραδιενεργά Απόβλητα

Με τον όρο ραδιενεργά απόβλητα ονομάζουμε οτιδήποτε προκύπτει από την ενασχόληση με ραδιενεργά υλικά και δε μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί είτε προσωρινά είτε ποτέ πια. Ενασχόληση με ραδιενεργά υλικά προκύπτει στην εξόρυξη των πυρηνικών «καυσίμων», στους πυρηνικούς αντιδραστήρες, στα εργοστάσια κατασκευής πυρηνικών όπλων, στα κέντρα ερευνών, στη βιομηχανία και στην ιατρική.

Το μεγαλύτερο ποσοστό ραδιενεργών αποβλήτων, όμως ως προς την δραστηριότητα και όχι ως προς τον όγκο, ανήκει στα ραδιενεργά απόβλητα, που προκύπτουν από τη λειτουργία των πυρηνικών αντιδραστήρων. Γι' αυτό στη συνέχεια θα ασχοληθούμε μόνο με αυτά.

Όπως έχουμε αναφέρει πολλές φορές, το σχάσιμο ισότοπο του ουρανίου είναι το $^{235}_{92}\text{U}_{143}$. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας ενός πυρηνικού αντιδραστήρα η ποσότητα του $^{235}_{92}\text{U}_{143}$ συνεχώς μικραίνει (ως απόρροια των συνεχών διασπάσεων των πυρήνων του), έτσι ώστε μετά από ένα χρονικό διάστημα το υπάρχον $^{235}_{92}\text{U}_{143}$ δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποδοτικά για την παραγωγή ενέργειας. Το ουράνιο που χρησιμοποιείται στους πυρηνικούς αντιδραστήρες (εκτός από ελάχιστες εξαιρέσεις βρίσκεται μέσα στις ράβδους καυσίμου (περισσότερες των οποίων μαζί αποτελούν ένα στοιχείο καυσίμου) Έτσι τα στοιχεία καυσίμου των οποίων το $^{235}_{92}\text{U}_{143}$ δεν μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί αποδοτικά πρέπει να αντικατασταθούν με καινούργια στοιχεία καυσίμου. Η αντικατάσταση αυτή γίνεται υπό κανονικές συνθήκες μετά από 3 έως 5 χρόνια Τα χρησιμοποιημένα στοιχεία καυσίμου είναι **ραδιενεργά απόβλητα** και χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής.

Όπως όμως εξηγήσαμε αρκετές φορές, οι ράβδοι και επομένως και τα στοιχεία του καυσίμου ακόμη και όταν σταματήσουμε τη λειτουργία του πυρηνικού αντιδραστήρα συνεχίζουν να είναι σε ισχυρό βαθμό ραδιενεργά και να εκπέμπουν θερμότητα.

Έτσι τα πυρηνικά απόβλητα τοποθετούνται για κάποιο χρονικό διάστημα καταρχάς σε μία δεξαμενή αποθήκευσης χρησιμοποιημένων πυρηνικών καυσίμων. Η δεξαμενή αυτή περιέχει νερό, που πρέπει επίσης συνεχώς να ψύχεται, για να αποβάλλει τη συνεχώς δημιουργούμενη θερμότητα. Ο χρόνος αυτός είναι κατά μέσον όρο 5 χρόνια, στην πράξη όμως μπορεί να είναι από 4 έως 15 χρόνια και είναι τόσος όσος είναι απαραίτητος για να μπορεί να γίνει η μεταφορά τους προκειμένου να καταλήξουν στην τελική αποθήκευσή τους.

Η δεξαμενή αποθήκευσης χρησιμοποιημένων πυρηνικών καυσίμων βρίσκεται πάντα κοντά στους πυρηνικούς αντιδραστήρες λόγω των προβλημάτων που θα προέκυπταν κατά τη μεταφορά τους μακριά από τον πυρηνικό αντιδραστήρα, αφού πρέπει συνεχώς να ψύχονται.

Ο τόπος της τελικής αποθήκευσης είναι συνήθως κενές στοές σε υπόγεια αλατωρυχεία (που έχει βέβαια εξορυχτεί ήδη το αλάτι) και βρίσκονται σε βάθος περίπου 1000 μέτρα.

Η τελική αποθήκευση των πυρηνικών αποβλήτων είναι μαζί με τα προβλήματα που προκύπτουν από ένα πυρηνικό ατύχημα (βλέπε Τσερνομπίλ και Φουκουσίμα), οι κύριοι λόγοι για τους οποίους η ειρηνική χρήση της πυρηνικής ενέργειας με τη βοήθεια πυρηνικών αντιδραστήρων δεν κυριάρχησε στην παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Θα κλείσουμε το Κεφάλαιο των Ακτινοβολιών με την Περιγραφή της Σύντηξης των Πυρήνων των Ελαφρών Στοιχείων και μάλιστα τόσο με την εφαρμογή στην βόμβα υδρογόνου, όσο και για ειρηνικούς σκοπούς σε έναν πυρηνικό αντιδραστήρα σύντηξης πυρήνων υδρογόνου.

Γ. Σύντηξη των Πυρήνων των Ελαφρών Στοιχείων.

Από τους πυρήνες των 92 στοιχείων που υπάρχουν στη φύση μπορούν να ελευθερωθούν τεράστια ποσά ενέργειας (όπως έχουμε περιγράψει περισσότερες φορές στην 33^η και 34^η Ενότητα) με δύο τρόπους:

1. Με την διάσπαση των πυρήνων των βαρέων στοιχείων (δηλαδή στοιχείων που έχουν στον πυρήνα τους 26 πρωτόνια, δηλαδή ο σίδηρος και επάνω).
2. Με την σύντηξη των πυρήνων των ελαφρών στοιχείων (δηλαδή στοιχείων που έχουν στον πυρήνα τους λιγότερα των 26 πρωτονίων, δηλαδή κάτω από τον σίδηρο).

Τα τεράστια αυτά ποσά ενέργειας προκύπτουν από το γεγονός, ότι το σύνολο της μάζας των σωματιδίων μετά τη διάσπαση ή την σύντηξη των πυρήνων είναι μικρότερο από ότι πριν τη διάσπαση ή την σύντηξη, οπότε βάσει του τύπου του Αϊνστάιν (βλέπε 33^η Ενότητα, Κεφάλαιο Μάζα και Ενέργεια, σελ 326) η μάζα που χάθηκε μεταβλήθηκε σε ενέργεια.

Όπως δε έχουμε περιγράψει επίσης περισσότερες φορές στην 33^η και 34^η Ενότητα, η ενέργεια που προκύπτει από τη διάσπαση των πυρήνων είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο βαρύτεροι είναι οι πυρήνες, έτσι ώστε η διάσπαση πυρήνων πραγματοποιείται σχεδόν αποκλειστικά με τους πυρήνες του βαρύτερου στοιχείου που υπάρχει στη φύση, δηλαδή με τους πυρήνες του ουρανίου (που έχουν 92 πρωτόνια). Αντίστροφα, η ενέργεια που προκύπτει από τη σύντηξη των πυρήνων είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο ελαφρότεροι είναι οι πυρήνες, έτσι ώστε η σύντηξη πυρήνων πραγματοποιείται σχεδόν αποκλειστικά με τους πυρήνες του ελαφρότερου στοιχείου που υπάρχει στη φύση, δηλαδή με τους πυρήνες του υδρογόνου (που έχουν 1 πρωτόνιο).

Η διάσπαση των πυρήνων είναι ένα ευκολότερο πρόβλημα από ότι η σύντηξη των πυρήνων, όπως θα εξηγήσουμε στη συνέχεια.

Οι πυρήνες των ατόμων είναι (όπως έχουμε περιγράψει περισσότερες φορές στην 33^η και 34^η Ενότητα) ηλεκτρικώς θετικά φορτισμένοι, αφού αποτελούνται από πρωτόνια που είναι ηλεκτρικώς θετικά φορτισμένα και νετρόνια που είναι ηλεκτρικώς ουδέτερα. Έτσι, αν θέλουμε να ενώσουμε 2 πυρήνες υδρογόνου και τους πλησιάσουμε, αυτοί απωθούνται, αφού έχουν το ίδιο ηλεκτρικό θετικό φορτίο. Μάλιστα οι πυρήνες αυτοί απωθούνται τόσο ισχυρότερα, όσο πιο κοντά πλησιάζουν

μεταξύ τους. Έτσι η σύντηξη πυρήνων επιτυγχάνεται, αν οι πυρήνες βρεθούν υπό πολύ μεγάλη πίεση και θερμοκρασία.

Η σύντηξη των πυρήνων του στοιχείου υδρογόνο σε πυρήνες του στοιχείου ήλιο είναι η αιτία για την οποία ο Ήλιος μας και όλα τα αστέρια εκπέμπουν τεράστια ποσά ενέργειας υπό τη μορφή ακτινοβολίας (βλέπε π.χ. 6^η Ενότητα, σελ. 48). Στο κέντρο του Ήλιου η σύντηξη των πυρήνων του υδρογόνου επιτυγχάνεται, επειδή επικρατούν θερμοκρασίες 10 εκατομμυρίων (!) βαθμών Κελσίου υποβοηθούμενη (η σύντηξη) και από τις τεράστιες πιέσεις που επικρατούν εκεί λόγω της βαρύτητας του Ήλιου. Για να επιτευχθεί σύντηξη πυρήνων υδρογόνου επάνω στη Γη, είναι απαραίτητες (λόγω των μικρότερων πιέσεων που μπορούν να δημιουργηθούν στη Γη) θερμοκρασίες της τάξης όχι των 10 αλλά 100 εκατομμυρίων (!) βαθμών Κελσίου.

Όπως κατά τη διάσπαση των πυρήνων έτσι και κατά τη σύντηξη των πυρήνων η ενέργεια που ελευθερώνεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ελεγχόμενα σε ένα Πυρηνικό Αντιδραστήρα Σύντηξης είτε μη ελεγχόμενα π.χ. σε μία βόμβα υδρογόνου. Και στις δύο περιπτώσεις οι πυρήνες που χρησιμοποιούνται για τη σύντηξη είναι τα δύο ισότοπα του στοιχείου υδρογόνο το δευτέριο και το τρίτιο, βλέπε 33^η Ενότητα, σελ. 322. Αυτός είναι και ο λόγος που με ανάγκασε να εισαγάω στην 33^η Ενότητα την έννοια «**Ισότοπα ενός Στοιχείου**» παρά το ότι η έννοια αυτή δεν ανήκει στις εύκολες έννοιες, αλλά δεν μπορούμε να αναφερόμαστε δίχως αυτήν στη σύντηξη πυρήνων. Όπως εξηγήσαμε εκεί, το σύμβολο του δευτέρου είναι ${}^2_1\text{H}_1$, δηλαδή το δευτέριο είναι ένα ισότοπο του στοιχείου υδρογόνο, ο πυρήνας του οποίου περιέχει ένα πρωτόνιο και ένα νετρόνιο και επομένως δύο νουκλεόνια. Αντίστοιχα το σύμβολο του τρίτιου είναι ${}^3_1\text{H}_2$, δηλαδή το τρίτιο είναι ένα ισότοπο του στοιχείου υδρογόνο, ο πυρήνας του οποίου περιέχει ένα πρωτόνιο και δύο νετρόνια και επομένως τρία νουκλεόνια.

Η πυρηνική αντίδραση σύντηξης του δευτέρου και του τρίτιου δίνεται από τη σχέση:



που σημαίνει, ότι συνενώνεται ένας πυρήνας δευτέρου με ένα πυρήνα τρίτιου και δημιουργούν ένα πυρήνα του στοιχείου ήλιο και ένα νετρόνιο ελευθερώνοντας μία μεγάλη ποσότητα ενέργειας.

Βόμβα Υδρογόνου Ισχύς Εκρηκτικών Όπλων

Μέχρι το 1945 η δράση όλων των εκρηκτικών όπλων ήταν συνέπεια ενέργειας, που προερχόταν από χημικές αντιδράσεις διαφόρων υλικών, κατά τις οποίες οι πυρήνες των ατόμων έμεναν αναλλοίωτοι. Επειδή σχεδόν όλα αυτά τα εκρηκτικά περιείχαν και το εκρηκτικό TNT (τρινιτροτολουόλιο), ήταν και είναι σύνηθες την ενέργεια ενός εκρηκτικού να την συγκρίνουμε με την εκρηκτική ενέργεια μίας ποσότητας TNT. Έτσι π.χ. η εκρηκτική ενέργεια ενός τόνου TNT είναι η ενέργεια που προκύπτει από την έκρηξη ενός τόνου TNT, δηλαδή μίας μάζας TNT με ειδικό βάρος 1,65 και επομένως, αν είχε τη μορφή ενός κύβου, θα είχε πλευρά μήκους 84,63 εκατοστά του μέτρου.

Με την 1^η δοκιμαστική έκρηξη της πυρηνικής βόμβας στο Alamogordo του New Mexico το 1945 και τις δύο ρίψεις που ακολούθησαν στη Χιροσίμα και στο Ναγκασάκι της Ιαπωνίας (βλέπε 33^η Ενότητα, σελ.328), εγκαινιάστηκε η χρήση όπλων, κατά την έκρηξη των οποίων στις αντιδράσεις που έλαβαν χώρα (σ' αυτές τις 3 περιπτώσεις) διασπάστηκαν οι πυρήνες των ατόμων, με αποτέλεσμα (βάσει των όσων εξηγήσαμε στην 33^η Ενότητα, σελ. 328) να ελευθερωθεί ένα τεράστιο ποσό

ενέργειας. Το ποσό ενέργειας που ελευθερώθηκε στις εκρήξεις αυτές αντιστοιχούσε σε 13 000 έως 21 000 ! τόνους TNT.

Αλλά τα πράγματα «αγρίεψαν» ακόμη περισσότερο. Στις 31 Οκτωβρίου του 1952 έγινε από την Αμερική στα νησιά Μάρσαλ η πρώτη ρίψη της βόμβας υδρογόνου. Το ποσό ενέργειας που ελευθερώθηκε αντιστοιχούσε στη έκρηξη 10 400 000 ! τόνων TNT.

Όπως αναφέραμε στο προηγούμενο Κεφάλαιο, για να επιτευχθεί σύντηξη πυρήνων υδρογόνου επάνω στη Γη, είναι απαραίτητες θερμοκρασίες της τάξης των 100 εκατομμυρίων (!) βαθμών Κελσίου. Και διερωτάται κανείς πώς είναι δυνατόν να δημιουργηθούν επάνω στη Γη τέτοιες θερμοκρασίες; Και όμως είναι δυνατόν!: Την πρώτη βόμβα υδρογόνου την κατασκεύασαν οι Αμερικανοί και συγκεκριμένα την κατασκεύασε, μετά από μία μεγαλοφυή ιδέα που είχε, ο επιστήμονας με τις περισσότερες τιμές και αξιώματα που έδωσε ποτέ η κυβέρνηση των ΗΠΑ, ο Αμερικανός Φυσικός Edward Teller (Τέλλερ).

Η μεγαλοφυής ιδέα του Τέλλερ ήταν, ότι η βόμβα υδρογόνου περιείχε και μία ατομική βόμβα (δηλαδή βόμβα διάσπασης πυρήνων του ουρανίου), η οποία εκρήγνυται πρώτα και χρησιμεύει σαν πυροκροτητής για τη βόμβα υδρογόνου, αφού δημιουργεί τις τεράστιες θερμοκρασίες και πιέσεις που είναι αναγκαίες.

Ο Τέλλερ γεννήθηκε στην Ουγγαρία και σπούδασε σε περισσότερα Γερμανικά Πανεπιστήμια και μάλιστα έχοντας εκτός των άλλων Καθηγητή του τον περίφημο Γερμανό Φυσικό Werner Heisenberg (Χάιζενμπεργκ). Επειδή όμως ήταν Εβραίος στο θρήσκευμα, εγκατέλειψε τη Γερμανία και πήγε στην Αμερική. Εκεί εργάστηκε κατ' αρχάς στο περίφημο «Σχέδιο Μανχάταν» υπό τον χαρισματικό Φυσικό Robert Oppenheimer (Οπενχάιμερ). Αργότερα ο Τέλλερ έγινε ο Φυσικός με τη μεγαλύτερη πολιτική επιρροή του 20ού αιώνα (εκτός των άλλων συμβούλευε και επηρέαζε τον Πρόεδρο Ρόναλντ Ρήγκαν σε προβλήματα εξοπλισμών).

Επιβάρυνση του Περιβάλλοντος από τις Πυρηνικές Βόμβες Σχάσης και Σύντηξης

Η επιβάρυνση του Περιβάλλοντος από τις εκρήξεις των βομβών με πυρηνικές μεταβολές (σχάση ή σύντηξη) είναι πολλαπλή. Οι επιπτώσεις στο Περιβάλλον, που θα αναφέρουμε στη συνέχεια, εξαρτώνται τόσο στο απόλυτο μέγεθός τους, όσο όμως και στη σχετική τους βαρύτητα από τον τρόπο της έκρηξης, δηλαδή αν η έκρηξη έγινε στην ατμόσφαιρα, στο έδαφος, στο υπέδαφος (προκειμένου να καταστραφούν υπόγεια εργοστάσια, καταφύγια κ.λπ.) ή υποθαλάσσια. Σε περίπτωση δε που η έκρηξη έγινε στην ατμόσφαιρα πολύ σημαντικό είναι το ύψος από το έδαφος που έγινε η έκρηξη. Οι επιπτώσεις λοιπόν στο Περιβάλλον είναι οι ακόλουθες:

α) Κρουστικό Κύμα

Από το σημείο της έκρηξης της πυρηνικής βόμβας εξαπλώνεται προς όλες τις διευθύνσεις (σε σχήμα σφαίρας) ένα κρουστικό κύμα, δηλαδή ένα κύμα πολύ ισχυρής πίεσης. Υπολογίζεται, ότι περίπου το 50 έως 60% της ενέργειας της πυρηνικής έκρηξης μετατρέπεται στο κρουστικό κύμα.

Συνέπεια αυτού του κρουστικού κύματος είναι η απόλυτη ισοπέδωση του τοπίου στο σημείο της έκρηξης. Όσο δε απομακρυνόμαστε από το σημείο της έκρηξης, συμβαίνουν τα εξής: Γενική καταστροφή όλων των υπέργειων κτηρίων, καταστροφή ή σοβαρές ζημιές των κτηρίων από μπετόν και θάνατος των περισσότερων κατοίκων.

Το κρουστικό κύμα είναι επίσης η αιτία για πυρκαγιές που προκαλούνται από την καταστροφή αγωγών αερίου, ηλεκτρικών καλωδίων και σε αποθήκες καυσίμων.

β) Θερμική και Φωτεινή Ακτινοβολία

Υπολογίζεται, ότι περίπου το 35% της ενέργειας της πυρηνικής έκρηξης μετατρέπεται σε θερμική και φωτεινή ακτινοβολία.

Η θερμική ακτινοβολία είναι τόσο ισχυρή, ώστε στο έδαφος κάτω από την πυρηνική έκρηξη (σε περίπτωση μίας εναέριας έκρηξης) ζώντες οργανισμοί καίγονται ακαριαία δίχως να μπορεί να γίνει αναγνώρισής τους, ενώ μέταλλα εξατμίζονται.

Τα εγκαύματα που προκαλεί μία πυρηνική έκρηξη στον άνθρωπο σε διάφορες αποστάσεις από το σημείο της έκρηξης γίνονται βέβαια λιγότερο σοβαρά, όσο πιο πολύ απομακρυνόμαστε από το σημείο της έκρηξης.

Τα εγκαύματα που προκαλεί μία πυρηνική έκρηξη στον άνθρωπο σε μία συγκεκριμένη απόσταση από την έκρηξη γίνονται λιγότερο σοβαρά, όταν ανάμεσα στον άνθρωπο και την έκρηξη επικρατεί υγρασία ή υπάρχουν αιωρούμενα σωματίδια (π.χ. σκόνη), διότι υγρασία και αιωρούμενα σωματίδια απορροφούν τη θερμότητα και την λιγοστεύουν. Αντίθετα τα εγκαύματα γίνονται πιο σοβαρά, όταν ανάμεσα στον άνθρωπο και την έκρηξη υπάρχει χιόνι, πάγος, λευκή άμμος ή νέφωση επάνω από το σημείο της έκρηξης.

Εάν κοιτάξει κάποιος προς το σημείο της έκρηξης, είτε ακριβώς κατά την χρονική στιγμή της έκρηξης είτε λίγο μετά, τότε μπορεί ανάλογα με την απόσταση να χάσει το φως του είτε μόνιμα είτε παροδικά.

γ) Άμεση Πυρηνική Ακτινοβολία

Η άμεση πυρηνική ακτινοβολία είναι η ακτινοβολία που εκπέμπεται από το σημείο της πυρηνικής έκρηξης κατά τη διάρκεια του πρώτου λεπτού της ώρας. Αποτελείται δε κυρίως από ελεύθερα νετρόνια, που προέρχονται από τις πυρηνικές αντιδράσεις σχάσης και σύντηξης, καθώς και από ακτινοβολία γάμμα.

δ) Έμμεση Πυρηνική Ακτινοβολία

Όπως αναφέραμε προηγουμένως από την πυρηνική έκρηξη προκύπτουν διάφορα ραδιενεργά στοιχεία, τα οποία εξ ορισμού εκπέμπουν διάφορες ακτινοβολίες.

Τα βαριά ραδιενεργά στοιχεία εναποτίθενται γρήγορα στο έδαφος, όπου ανάλογα με τη διάρκεια ζωής των μπορούν να δημιουργούν προβλήματα στην περιοχή επί πολύ χρόνο.

Τα πιο ελαφριά ραδιενεργά στοιχεία όμως αιωρούνται στην ατμόσφαιρα και μπορούν με τον άνεμο να μεταφερθούν σε πολύ μεγάλες αποστάσεις δημιουργώντας προβλήματα μακριά από την έκρηξη. Αν δε περάσουν κάτω από ένα σύννεφο την ώρα που βρέχει μπορεί να μολύνουν το έδαφος επάνω στο οποίο καταλήγουν, τα ζώα, τα φυτά ακόμη και το υπόγειο νερό.

ε) Ηλεκτρομαγνητικός Παλμός

Σε μία πυρηνική έκρηξη ονομάζουμε ηλεκτρομαγνητικό παλμό τη δημιουργία ενός ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, του οποίου η συμπεριφορά είναι όπως η συμπεριφορά μίας αστραπής, μόνο ότι τώρα η ηλεκτρική τάση είναι πολύ μεγαλύτερη από ότι στην περίπτωση της αστραπής και πολύ μικρότερης χρονικής διάρκειας.

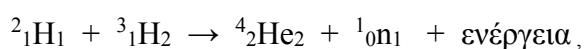
Γι' αυτό τα αλεξικέρανα συστήματα δεν μπορούν να προστατεύσουν τα δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας ή τα τηλεφωνικά δίκτυα, με αποτέλεσμα τις βλάβες στην ηλεκτροδότηση, στα τηλέφωνα, στους ραδιοφωνικούς και τηλεοπτικούς σταθμούς, στις οικιακές συσκευές, στις ηλεκτρονικές συσκευές κ.λπ.

Από όσα προαναφέραμε έγιναν κατανοητές οι καταστροφικές επιπτώσεις που θα είχε για την ανθρωπότητα η χρήση των πυρηνικών όπλων. Αυτό όμως ακριβώς είναι και ο λόγος για τον οποίο τα τελευταία περίπου 80 χρόνια απεφεύχθη ένας πόλεμος μεταξύ των μεγάλων δυνάμεων. Μήπως λοιπόν η ανακάλυψη αυτών των καταστρεπτικών πυρηνικών όπλων είχε σα συνέπεια την αποφυγή παγκοσμίων πολέμων; Η απάντηση είναι ναι, όσο δεν παρουσιασθεί κάποιος σίγουρα τρελός, που θα διανοηθεί να τα χρησιμοποιήσει.

Δ. Ελεγχόμενη Σύντηξη των Πυρήνων των Στοιχείων. Πυρηνικός Αντιδραστήρας Σύντηξης

Στις προσπάθειες που καταβάλλει ο άνθρωπος για την παραγωγή ενέργειας από την ελεγχόμενη σύντηξη πυρήνων σε ένα πυρηνικό αντιδραστήρα σύντηξης οι πυρήνες που χρησιμοποιούνται για τη σύντηξη είναι τα δύο ισότοπα του στοιχείου υδρογόνο το δευτέριο και το τρίτιο (βλέπε σελ. 322). Όπως εξηγήσαμε εκεί, το σύμβολο του δευτέρου είναι ${}^2_1\text{H}_1$, δηλαδή το δευτέριο είναι ένα ισότοπο του στοιχείου υδρογόνο, ο πυρήνας του οποίου περιέχει ένα πρωτόνιο και ένα νετρόνιο και επομένως δύο νουκλεόνια. Αντίστοιχα το σύμβολο του τρίτιου είναι ${}^3_1\text{H}_2$, δηλαδή το τρίτιο είναι ένα ισότοπο του στοιχείου υδρογόνο, ο πυρήνας του οποίου περιέχει ένα πρωτόνιο και δύο νετρόνια και επομένως τρία νουκλεόνια.

Η πυρηνική αντίδραση σύντηξης του δευτέρου και του τρίτιου δίνεται από τη σχέση:



που σημαίνει, ότι συνενώνεται ένας πυρήνας δευτέρου με ένα πυρήνα τρίτιου και δημιουργούν ένα πυρήνα του στοιχείου ήλιο και ένα νετρόνιο ελευθερώνοντας μία μεγάλη ποσότητα ενέργειας.

Υπολογίζεται ότι ένα χιλιόγραμμα τέτοιου υλικού (δευτέρου και τρίτιου) παράγει το ίδιο ποσό ενέργειας με δέκα εκατομμύρια χιλιόγραμμα ορυκτών καυσίμων.

Στη συνέχεια θα ασχοληθούμε λίγο με τη λειτουργία του πυρηνικού αντιδραστήρα σύντηξης. Όπως αναφέραμε στη σελίδα 343, για να επιτευχθεί η σύντηξη των πυρήνων του δευτέρου και του τρίτιου σε ένα πυρηνικό αντιδραστήρα σύντηξης απαιτούνται θερμοκρασίες 100 εκατομμυρίων (!) βαθμών Κελσίου και πιέσεις επίσης εκατομμυρίων (!) ατμοσφαιρών. Αυτό δημιουργεί τεράστια προβλήματα, όπως π.χ. το πώς θα εξουρευθεί η απαιτούμενη ενέργεια για τη δημιουργία αυτών των θερμοκρασιών και πιέσεων ή πως θα κρατηθεί το μείγμα από το «καύσιμο» και τα προϊόντα του (αυτό το μείγμα στις θερμοκρασίες αυτές λέγεται πλάσμα) μακριά από τοιχώματα, που αυτόματα τα τοιχώματα θα έλιωναν κ.λπ. Η λύση αυτών των προβλημάτων επιτυγχάνεται συνήθως με τη χρήση ισχυρών μαγνητικών πεδίων, παρότι εξετάζονται και άλλες λύσεις όπως π.χ. με πολύ ισχυρά λέιζερ. Την 21^η Νοεμβρίου του 2006 υπεγράφη στο Παρίσι Σύμφωνο, με το οποίο εγκρίθηκε η κατασκευή στο Κανταράς της Γαλλίας του Διεθνούς Θερμοπυρηνικού Πειραματικού Αντιδραστήρα (ITER). Η ονομασία ITER προήλθε καταρχάς από τα αρχικά των λέξεων «International Thermonuclear Experimental Reactor». Σήμερα όμως χρησιμοποιείται η λέξη iter (με μικρά γράμματα) και εκλαμβάνεται απλώς ως λέξη, η οποία στα λατινικά σημαίνει «ο δρόμος».

Η συμφωνία υπεγράφη από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.), ΗΠΑ, Ιαπωνία, Ινδία, Κίνα, Ν. Κορέα και Ρωσία. Σήμερα συνεργάζονται 35 χώρες, πίσω από τις οποίες βρίσκονται 5 000 εταιρείες με 15 000 υπαλλήλους από όλο τον κόσμο. Το όλο εγχείρημα έχει στοιχίσει ήδη 20 δισεκατομμύρια Ευρώ (εκ των οποίων το 46% θα το προσφέρει η Ε.Ε, ενώ η κάθε μία από τις χώρες που προαναφέρθηκαν θα προσφέρει 9%) και είναι η πιο δαπανηρή διεθνής επιστημονική προσπάθεια. Ως «καύσιμο» θα χρησιμοποιηθεί δευτέριο και τρίτιο. Η δε δημιουργία και η κράτηση του πλάσματος μακριά από τα τοιχώματα θα επιτευχθεί με τη βοήθεια ισχυρών μαγνητικών πεδίων. Η κατασκευή του πειραματικού αυτού αντιδραστήρα προβλεπόταν να τελειώσει περίπου το 2020, δεν έχει όμως ολοκληρωθεί ακόμη. Εάν μετά με τα πειράματα όλα πάνε καλά, τότε περί το 2050 θα κατασκευαστεί αντιδραστήρας, ο οποίος θα

αποδεικνύει, ότι είναι δυνατή η ελεγχόμενη παραγωγή ενέργειας με τη βοήθεια της σύντηξης.

Δε θα ασχοληθούμε περισσότερο με την ελεγχόμενη σύντηξη πυρήνων. Είναι μεν βέβαιο, ότι αυτή η μορφή ενέργειας θα μπορούσε να λύσει μακροχρόνια τις ενεργειακές ανάγκες της ανθρωπότητας. Ο λόγος όμως που εγκαταλείπουμε αυτό το ενδιαφέρον Κεφάλαιο είναι, ότι όταν ήμουν νεαρός φοιτητής δηλαδή πριν περίπου 60 χρόνια, έμαθα ότι ενέργεια από την σύντηξη θα κερδίζαμε μετά από ...περίπου 50 χρόνια, ό,τι δηλαδή περίπου (αλλά κάπως καλλίτερα) λέμε και σήμερα.

Πριν όμως εγκαταλείψουμε αυτό το Κεφάλαιο, θα ασχοληθούμε με αυτό ακριβώς, που είναι το κυρίως αντικείμενο της παρούσης Ιστοσελίδας, δηλαδή με την εξέταση αυτής της ενδιαφέρουσας μορφής ενέργειας σε σχέση με την επιβάρυνση του Περιβάλλοντος.

Και εδώ τα πράγματα είναι πολύ θετικά. Διότι ο πυρηνικός αντιδραστήρας σύντηξης δεν εκπέμπει καθόλου καυσαέρια, κάτι που γίνεται κατά την παραγωγή ενέργειας με τη βοήθεια της καύσης συμβατικών ορυκτών καυσίμων (κάρβουνο, πετρέλαιο, φυσικό αέριο). Όπως δε περιγράψαμε εκτενώς στην Ιστοσελίδα μας, τα καυσαέρια αυτά επηρεάζουν αρνητικά τόσο τον άνθρωπο, όσο και το φυσικό Περιβάλλον (αέρα, νερό, έδαφος, κτήρια, φυτά, ζώα κ.λπ.). Επί πλέον το διοξείδιο του άνθρακα, που παράγεται κατά την καύση των συμβατικών ορυκτών καυσίμων είναι η κύρια αιτία για το «ανθρωπογενές φαινόμενο του θερμοκηπίου» και για την επερχόμενη κλιματική αλλαγή, που σχετίζεται με αυτό.

Ο πυρηνικός αντιδραστήρας σύντηξης σε σύγκριση με έναν πυρηνικό αντιδραστήρα σχάσης δε διατρέχει τον κίνδυνο, εάν χαθεί ο έλεγχος να «λειώσει», με καταστρεπτικές συνέπειες για το Περιβάλλον όπως π.χ. εκπομπή μεγάλων ποσών βλαβερής ραδιενέργειας, βλέπε π.χ. Τσερνομπίλ, σελ. 325 και Φουκουσίμα, σελ. 337. Διότι, για να διατηρηθεί η λειτουργία του αντιδραστήρα σύντηξης, πρέπει να καταβάλλεται μία τόσο μεγάλη προσπάθεια, ώστε στην παραμικρή διαταραχή η σύντηξη αμέσως διακόπτεται.

Επίσης τα «καύσιμα» του αντιδραστήρα σύντηξης είναι δευτέριο (μη ραδιενεργό) και τρίτιο (ραδιενεργό) Έτσι, δεν έχουμε τις επικίνδυνες μεταφορές τόσο των πυρηνικών καυσίμων που είναι απαραίτητα για τη λειτουργία όσο και των πυρηνικών αποβλήτων σε τακτά διαστήματα μετά τη χρήση των πυρηνικών καυσίμων, που αποτελεί ένα ιδιαίτερο πρόβλημα στους πυρηνικούς αντιδραστήρες σχάσης. Επίσης μετά το τέλος της λειτουργίας ενός αντιδραστήρα σύντηξης (μετά από περίπου 30 χρόνια λειτουργίας) τα υλικά, από τα οποία αποτελείται και τα οποία είναι ραδιενεργά, υπολογίζεται, ότι θα έχουν πολύ πολύ μικρότερο χρόνο ημιζωής από ότι ενός αντιδραστήρα σχάσης. Ο χρόνος ημιζωής του τρίτιου (αντιπροσωπευτικού για τον πυρηνικό αντιδραστήρα σύντηξης) είναι $\tau = 12,32$ χρόνια ενώ π.χ. του Πλουτωνίου (αντιπροσωπευτικού για τον πυρηνικό αντιδραστήρα σχάσης) $^{239}_{94}\text{Pu}_{145}$ είναι $\tau = 24\ 100$ χρόνια.

Αγαπητή Αναγνώστρια, Αγαπητέ Αναγνώστη,
Φτάσαμε με τη βοήθεια του Θεού αισίως στο τέλος του σκοπού που θέσαμε πριν περίπου 2 χρόνια, δηλαδή να Σας περιγράψω όλα όσα έχουν σχέση με τη ρύπανση και την προστασία του φυσικού Περιβάλλοντος.

Όπως όμως Σας προανήγγειλα στο τέλος της 32^{ης} Ενότητας, θα ακολουθήσουν 5 Άρθρα μου, τα οποία έχω ήδη δημοσιεύσει στο παρελθόν με τον γενικό τίτλο: «**Πώς βλέπει ένας Έλληνας που έχει ζήσει εκτός Ελλάδας αυτά που συμβαίνουν σήμερα στη χώρα μας**».