

ΕΝΟΤΗΤΑ 5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 15 Πυρήνας και πυρηνικά φαινόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 16 Στοιχειώδη σωματίδια

Στοιχεία δομής της ύλης



Από τι είναι φτιαγμένος ο κόσμος; Ποια είναι τα θεμελιώδη συστατικά της ύλης; Από πού προέρχεται η ηλιακή ενέργεια;

Σ' αυτή την ενότητα διεισδύουμε στο εσωτερικό του πυρήνα του ατόμου, γνωρίζουμε τα συστατικά του και τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις. Μελετούμε μετατροπές του πυρήνα όπως είναι: οι ραδιενεργές διασπάσεις καθώς και η πυρηνική σχάση και η σύντηξη, στις οποίες απελευθερώνεται τεράστια ποσότητα πυρηνικής ενέργειας.

Στη συνέχεια γνωρίζουμε τους θεμελιώδεις δομικούς λίθους της ύλης καθώς και τις θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις. Τέλος, κάνουμε μια σύντομη περιήγηση στην ιστορία του σύμπαντος από τη δημιουργία του μέχρι σήμερα.

Πυρήνας και πυρηνικά φαινόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 15



Εικόνα 15.1

Διαμαρτυρία για τη μόλυνση του περιβάλλοντος από πυρηνικό σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 15.2

Οι δομικοί λίθοι της ύλης.

Λίγες περιοχές της Φυσικής βρίσκονται στην επικαιρότητα περισσότερο από την πυρηνική φυσική. Είτε πρόκειται για πυρηνικά όπλα, είτε για διάθεση ραδιενεργών αποβλήτων, είτε για πυρηνικούς αντιδραστήρες οι εφαρμογές της πυρηνικής φυσικής αναφέρονται συχνά στα δελτία ειδήσεων. Κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα η έρευνα στη πυρηνική φυσική είχε τεράστιες επιπτώσεις στην ανθρωπότητα, μερικές ευεργετικές, άλλες καταστροφικές.

Συγχρόνως η κατανόηση της δομής του εσωτερικού του πυρήνα οδήγησε τους φυσικούς στην αναβίωση του ονείρου του Δημόκριτου. Στην αναζήτηση των θεμελιωδών σωματιδίων της ύλης και στην απόπειρα περιγραφής της εξέλιξης του σύμπαντος με βάση τις δυνάμεις – αλληλεπιδράσεις που ασκούνται μεταξύ τους.

15.1 Περιγραφή του πυρήνα

Η ύπαρξη του πυρήνα των ατόμων αποκαλύφθηκε αρχικά από τα πειράματα σκέδασης του Ράδερφορντ (Rutherford). Ο Ράδερφορντ και οι συνεργάτες του διερεύνησαν στη συνέχεια τη δομή του πυρήνα κάνοντας πειράματα με φύλλα άνθρακα, αλουμινίου και χρυσού με τα οποία προσδιόρισαν το ηλεκτρικό φορτίο του πυρήνα.

Επειδή το άτομο είναι ουδέτερο, ο πυρήνας πρέπει να έχει θετικό ηλεκτρικό φορτίο. Το ελαφρύτερο άτομο είναι το άτομο του υδρογόνου. Στον πυρήνα του ατόμου του υδρογόνου δόθηκε το όνομα **πρωτόνιο**. Επειδή το άτομο είναι ουδέτερο, ο πυρήνας επομένως και το πρωτόνιο πρέπει να έχει θετικό φορτίο. Το φορτίο του πρωτονίου είναι αντίθετο με το φορτίο του ηλεκτρονίου (στοιχειώδες φορτίο). Η μάζα του πρωτονίου είναι περίπου 2000 φορές μεγαλύτερη από τη μάζα του ηλεκτρονίου.

Σε ένα ουδέτερο άτομο ο αριθμός των πρωτονίων του πυρήνα ισούται με τον αριθμό των ηλεκτρονίων. Αυτός ο αριθμός, που συμβολίζεται με Z , ονομάζεται **ατομικός αριθ-**

μός και καθορίζει το χημικό στοιχείο στο οποίο ανήκει το άτομο. Όλα τα άτομα ενός ορισμένου στοιχείου περιέχουν το ίδιο αριθμό πρωτονίων. Έτσι τα άτομα του άνθρακα με $Z = 6$ περιέχουν πάντα 6 πρωτόνια ενώ του αλουμινίου με $Z = 13$ περιέχουν 13 πρωτόνια. (Η μάζα του ατόμου του άνθρακα, δηλαδή η μάζα του πυρήνα του, ισούται με τη μάζα 12 πρωτονίων και όχι 6). Για να ερμηνεύσει την αυξημένη μάζα του πυρήνα ο Ράδερφορντ υπέθεσε την ύπαρξη ενός ουδέτερου σωματιδίου με μάζα σχεδόν ίση με τη μάζα του πρωτονίου. Το 1932 ο Τσαντγουικ (Chadwick), ένας μαθητής του Ράδερφορντ, ανακάλυψε ένα τέτοιο σωματίδιο που το ονόμασε **νετρόνιο**, δηλαδή ουδετερόνιο.

Ο πυρήνας κάθε ατόμου, εκτός του υδρογόνου, αποτελείται τόσο από πρωτόνια όσο και από νετρόνια. Ο συνολικός αριθμός πρωτονίων και νετρονίων ενός πυρήνα ονομάζεται **μαζικός αριθμός** και συμβολίζεται με A . Στοιχεία με ατομικό αριθμό μέχρι 20 έχουν λίγο – πολύ ίσους αριθμούς πρωτονίων και νετρονίων. Όμως τα βαρύτερα στοιχεία έχουν περισσότερα νετρόνια από πρωτόνια. Τα άτομα που έχουν τον ίδιο αριθμό πρωτονίων (ατομικό αριθμό) αλλά διαφορετικό αριθμό νετρονίων (άρα μαζικό αριθμό) ονομάζονται **ισότοπα**.

Τα ισότοπα συμβολίζονται με A_ZX , όπου Σ το σύμβολο του στοιχείου. Το υδρογόνο έχει τρία ισότοπα (εικόνα 15.4), το χλώριο δύο με σύμβολα $^{35}_{17}\text{Cl}$ και $^{37}_{17}\text{Cl}$ ενώ στο γήινο φλοιό υπάρχουν τρία ισότοπα του ουρανίου με πιο κοινό το $^{238}_{92}\text{U}$. Διαφορετικά ισότοπα ενός στοιχείου έχουν διαφορετικές φυσικές ιδιότητες, όπως πυκνότητα, σημείο τήξης, σημείο βρασμού κ.λ.π. Από τα 83 στοιχεία που υπάρχουν στη Γη σε αξιόλογη ποσότητα, μόνο τα 20 έχουν μια μόνο σταθερή μορφή. Τα υπόλοιπα έχουν από δυο έως δέκα σταθερά ισότοπα. Αν λάβουμε υπόψη όλα τα ισότοπα τότε ο αριθμός των διαφορετικών πυρήνων ανέρχεται περίπου σε 2500.

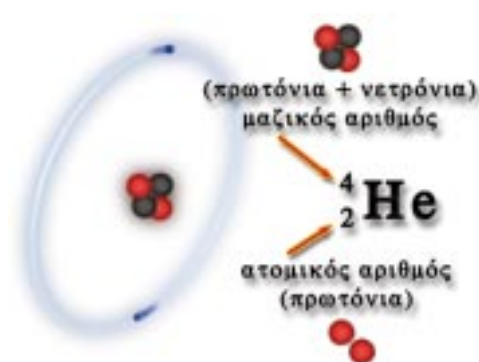
Τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια τα οποία περιβάλλουν το θετικά φορτισμένο πυρήνα ενός ατόμου συγκρατούνται από ελκτικές ηλεκτρικές δυνάμεις.

Ποιες δυνάμεις συγκρατούν τα συστατικά του πυρήνα;

Ο πυρήνας αποτελείται από θετικά φορτισμένα πρωτόνια και από ουδέτερα νετρόνια. Μεταξύ των πρωτονίων ασκούνται ισχυρές απωστικές δυνάμεις.

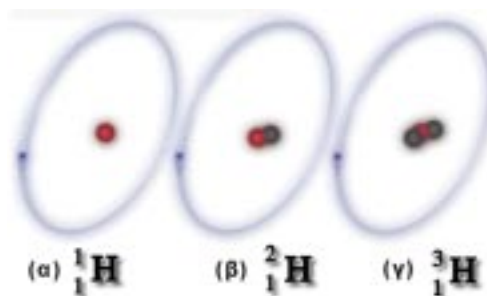
Με ποιο τρόπο λοιπόν εξηγούμε ότι τα πρωτόνια δεν εκσφενδονίζονται μακριά το ένα από το άλλο;

Μέσα στον πυρήνα ασκείται μια ισχυρότατη ελκτική δύνα-



Εικόνα 15.3

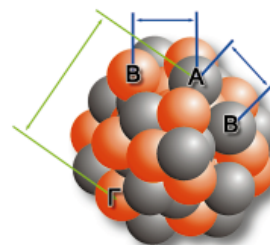
Ο πυρήνας του στοιχείου Ηλίου αποτελείται από δυο πρωτόνια και δυο νετρόνια.



Εικόνα 15.4

Τα τρία ισότοπα του υδρογόνου

- (α) πρώτιο
- (β) δευτέριο
- (γ) τρίτιο



Εικόνα 15.5

Μεταξύ των Α και Β ασκείται ισχυρή πυρηνική (ελκτική) δύναμη. Μεταξύ των Α και Γ αυτή σχεδόν μηδενίζεται.



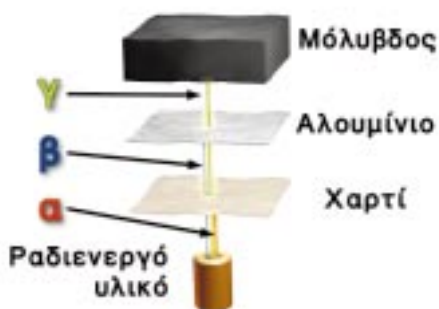
Εικόνα 15.6

Χιντέκι Γιουκάβα (Ykawa ideki, 1907-1981)
Ιάπωνας φυσικός που πρώτος ερμήνευσε την
ελκτική δύναμη μεταξύ πρωτονίων νετρονίων,
το 1935.



Εικόνα 15.7

Πέτρος και Μαρία Κιουρί στο εργαστήριό τους
στο Παρίσι.



Εικόνα 15.8

Ένα λεπτό φύλλο χαρτί είναι αρκετό για να σταματήσει την ακτινοβολία α. Για να απορροφηθεί η ακτινοβολία β χρειάζεται ένα λεπτό φύλλο μετάλλου. Οι ακτίνες γ μπορούν να διαπερνούν διάφορα υλικά και μεγάλου πάχους. Για να τις σταματήσουμε χρησιμοποιούμε στρώματα μολύβδου μεγάλου πάχους.

μη η οποία υπερνικά την άπωση μεταξύ των πρωτονίων. Αυτή η δύναμη, που ονομάζεται **ισχυρή πυρηνική δύναμη**, ασκείται ανάμεσα στα πρωτόνια και νετρόνια που είναι πολύ κοντά το ένα στο άλλο. Η ισχυρή πυρηνική δύναμη, ή αλληλεπίδραση, είναι πολύ μικρής εμβέλειας. Ασκείται μόνο μεταξύ γειτονικών πρωτονίων και νετρονίων, είναι ελκτική και εξίσου ισχυρή για τα ζεύγη πρωτονίου – πρωτονίου, πρωτονίου – νετρονίου και νετρονίου – νετρονίου (εικόνα 15.5). Εξαιτίας αυτής της ισοδυναμίας τα πρωτόνια και τα νετρόνια ονομάζονται με μια λέξη **νουκλεόνια**.

15.2 Ραδιενέργεια

Το 1896, μερικούς μήνες μετά την ανακάλυψη των ακτίνων Χ από τον Ρέντγκεν ο Γάλλος φυσικός Μπεκερέλ (Becquerel) ανακάλυψε ότι μερικά στοιχεία όπως το Ουράνιο, εξέπεμπαν αυθόρμητα κάποιες ακτίνες οι οποίες αμαύρωναν τις φωτογραφικές πλάκες. Η έρευνα συνεχίστηκε από τον Ράδερφορντ και τους Πιερ και Μαρία Κιουρί (Curie) οι οποίοι ανακάλυψαν δυο νέα στοιχεία που εξέπεμπαν παρόμοιες ακτίνες, το Πολώνιο και το Ράδιο. Οι ακτίνες αυτές δεν προέρχονταν από μεταβολές των ενεργειών των ηλεκτρονίων των ατόμων αλλά από αλλαγές που συνέβαιναν στην καρδιά του ατόμου, στον πυρήνα του. Ήταν αποτέλεσμα της αυθόρμητης διάσπασης του ατομικού πυρήνα, φαινόμενο που ονομάζεται **ραδιενέργεια**. Τα στοιχεία των οποίων οι πυρήνες διασπώνται αυθόρμητα λέγονται **ραδιενεργά στοιχεία**.

Πως ερμηνεύουμε το γεγονός ότι κάποιοι πυρήνες διασπώνται αυθόρμητα;

Ενώ η ισχυρή πυρηνική αλληλεπίδραση ελαττώνεται πολύ γρήγορα με την απόσταση, η ηλεκτρική αλληλεπίδραση ελαττώνεται πιο αργά ή είναι όπως λέμε μεγαλύτερης εμβέλειας. Έτσι αν τα πρωτόνια βρίσκονται πολύ κοντά, κάτι που συμβαίνει στους μικρούς πυρήνες, η ισχυρή πυρηνική δύναμη υπερνικά εύκολα την απωστική ηλεκτρική. Στα πρωτόνια που απέχουν πολύ μεταξύ τους, όπως εκείνα που βρίσκονται στα αντίθετα άκρα ενός μεγάλου πυρήνα, η άπωση είναι ισχυρότερη από την έλξη. Επομένως οι μεγάλοι πυρήνες δεν είναι τόσο σταθεροί όσο οι μικρότεροι.

Ακτινοβολίες α, β, γ

Τα ραδιενεργά στοιχεία εκπέμπουν τρία διαφορετικά είδη ακτινοβολιών, τα οποία απορροφώνται σε διαφορετικό βαθμό από την ύλη. Οι ακτινοβολίες αυτές πήραν τα ονόματά τους από τα τρία πρώτα γράμματα της Ελληνικής αλφαβήτου α, β και γ (εικόνα 15.8). Με βάση τον τρόπο που κινούνται μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο προσδιορίστηκε η φύση τους (εικόνα 15.9). Έτσι προέκυψε ότι οι ακτίνες α είναι θετικά φορτισμένα σωμάτια και μάλιστα πυρήνες ηλίου ${}^4_2\text{He}$, οι β αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια και οι γ ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, όπως το ορατό φως (εικόνα 15.10).

Διάσπαση α

Κατά τη διάσπασή τους κάποιοι πυρήνες εκπέμπουν σωμάτια α. Μια τέτοια διάσπαση ονομάζεται διάσπαση α. Ο αρχικός πυρήνας που διασπάται ονομάζεται μητρικός και αυτός που προκύπτει θυγατρικός. Επειδή τα σωματίδια α περιέχουν πρωτόνια και νετρόνια πρέπει να προέρχονται από τον πυρήνα του ατόμου. Έτσι ο θυγατρικός πυρήνας θα έχει μάζα και φορτίο διαφορετικό από εκείνο του μητρικού πυρήνα. Ο ατομικός του αριθμός (Z) θα είναι μικρότερος κατά δυο μονάδες ενώ ο μαζικός αριθμός (A) κατά τέσσερις. Για παράδειγμα ο πυρήνας του ουρανίου ${}^{238}_{92}\text{U}$ εκπέμπει ένα σωματίο α και μετατρέπεται σε πυρήνα θορίου ${}^{234}_{90}\text{Th}$.

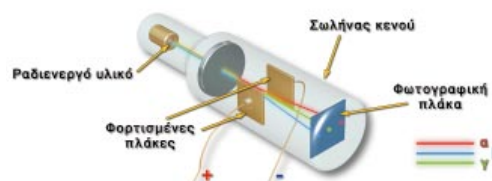
Διάσπαση β

Κατά τη διάσπαση β, από τον μητρικό πυρήνα εκπέμπονται σωματίδια β (ακριβέστερα β⁻). Τα σωματίδια β είναι ηλεκτρόνια και επομένως ο θυγατρικός πυρήνας θα έχει σχεδόν την ίδια μάζα αλλά διαφορετικό φορτίο από τον μητρικό.

Πώς όμως εκπέμπονται ηλεκτρόνια από τον πυρήνα, αφού ο πυρήνας δεν περιέχει ηλεκτρόνια;

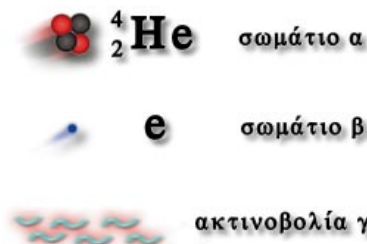
Μέσα στον πυρήνα ένα νετρόνιο μετασχηματίζεται σε ένα πρωτόνιο εκπέμποντας ένα ηλεκτρόνιο. Έτσι ο αριθμός των πρωτονίων δηλαδή ο ατομικός αριθμός (Z) αυξάνεται κατά μια μονάδα, ενώ ο μαζικός αριθμός (A) διατηρείται σταθερός. Για παράδειγμα, ο πυρήνας του θορίου ${}^{234}_{90}\text{Th}$ εκπέμπει ένα σωματίδιο β και μετατρέπεται σε πυρήνα του στοιχείου πρωτακτίniu ${}^{234}_{91}\text{Pa}$.

Και κατά τις δυο εκπομπές α και β ο ατομικός αριθμός Z του πυρήνα μεταβάλλεται. Συνεπώς ο αρχικός πυρήνας μετατρέπεται σε πυρήνα άλλου στοιχείου ή συμβαίνει όπως λέμε **μεταστοιχείωση**.



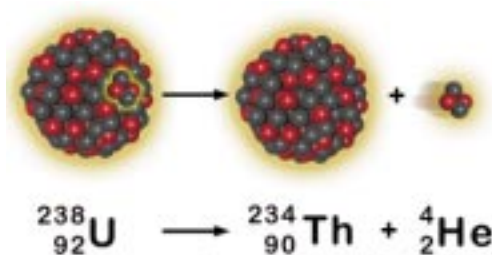
Εικόνα 15.9

Οι ακτινοβολίες α, β, γ συμπεριφέρονται με διαφορετικό τρόπο όταν διέρχονται μέσα από ηλεκτρικό πεδίο.



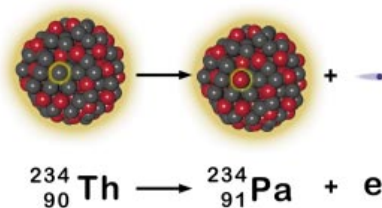
Εικόνα 15.10

Τα τρία είδη της ραδιενεργού ακτινοβολίας.



Εικόνα 15.11

Διάσπαση α - εκπομπή σωματιδίου α.



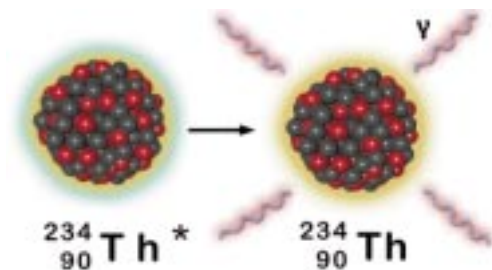
Εικόνα 15.12

Διάσπαση β - εκπομπή σωματιδίου β.



Εικόνα 15.13

Ερμηνεία διάσπασης β
Ένα νετρόνιο του πυρήνα μετατρέπεται σε πρωτόνιο και ηλεκτρόνιο. Το ηλεκτρόνιο διαφεύγει με πολύ μεγάλη ταχύτητα από τον πυρήνα με μορφή ακτινοβολίας β.



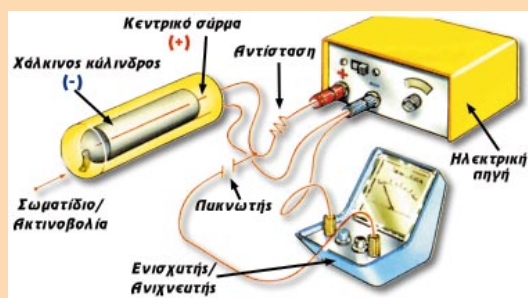
Εικόνα 15.14

Εκπομπή ακτινοβολίας γ.
Ο Διεγερμένος πυρήνας εκπέμπει ενέργεια με μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (φωτόνια πολύ μεγάλης ενέργειας).

Διάσπαση γ

Πως παράγεται η ακτινοβολία γ κατά τη διάσπαση των ραδιενεργών πυρήνων;

Μετά από μια διάσπαση α ή β ο θυγατρικός πυρήνας βρίσκεται μερικές φορές σε διεγερμένη κατάσταση. Περικλείει δηλαδή ενέργεια περισσότερη από αυτήν που αντιστοιχεί στη σταθερή του κατάσταση, την οποία και ονομάζουμε θεμελιώδη. Στη συνέχεια ο πυρήνας μεταπίπτει στη θεμελιώδη κατάσταση εκπέμποντας ένα φωτόνιο μεγάλης ενέργειας που ονομάζεται φωτόνιο ακτινοβολίας γ.



Εικόνα 15.15

Ο χάλκινος σωλήνας περιέχει αέριο με χαμηλή πίεση. Οι ακτίνες γ προκαλούν ιονισμό του αερίου και έτσι μεταξύ του κεντρικού αγωγού και του κυλίνδρου δημιουργείται ηλεκτρικό ρεύμα.

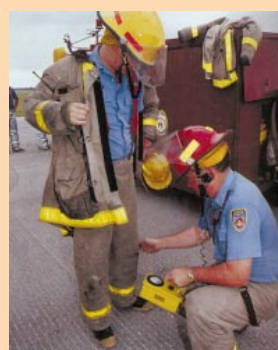


Εικόνα 15.16

Ανιχνευτής Γκάιγκερ.

Ανιχνευτές ραδιενεργών ακτινοβολιών

Τα φωτογραφικά φιλμ αμαυρώνονται όταν πέφτουν επάνω τους σωματίδια α ή β ή ακτίνες γ. Τα φιλμ, επομένως είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση αυτών των σωματιδίων και των ακτίνων. Εκτός από τα φιλμ και πολλές άλλες συσκευές χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση φορτισμένων σωματιδίων και ακτίνων γ. Η λειτουργία των περισσότερων βασίζεται στον ιονισμό της ύλης όταν αυτή βομβαρδίζεται από σωματίδια μεγάλης ταχύτητας ή φωτόνια μεγάλης ενέργειας. Όταν ένα ουδέτερο άτομο συγκρουσθεί με ένα σωματίο μεγάλης ενέργειας τότε είναι δυνατόν κάποια ηλεκτρόνια του ατόμου να απορροφήσουν ενέργεια από τα σωματίδια και να απομακρυνθούν από το άτομο. Με αυτό τον τρόπο προκύπτουν ελεύθερα ηλεκτρόνια και θετικά ιόντα, τα οποία μπορούν να ανιχνευθούν με κατάλληλη διάταξη. Ο πιο κοινός τύπος ανιχνευτή ραδιενεργού ακτινοβολίας είναι ο μετρητής Γκάιγκερ (Geiger).



Εικόνα 15.17

Έλεγχος ραδιενεργού ακτινοβολίας σε εργαζόμενους σε πυρηνικό εργοστάσιο.

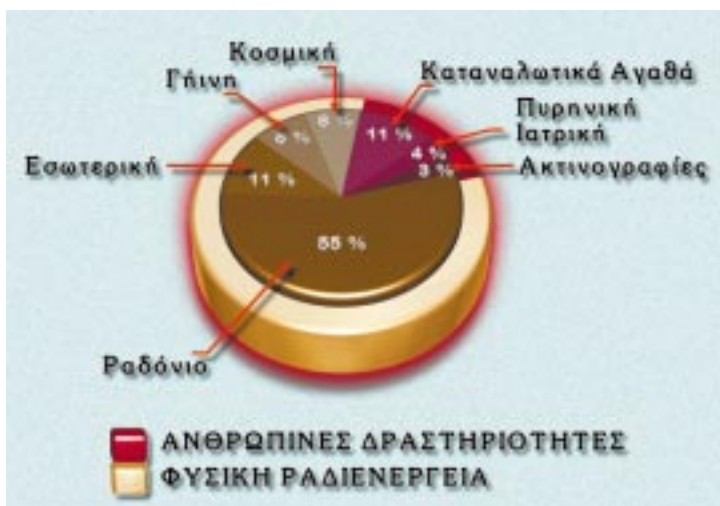
Βιολογική δράση της ακτινοβολίας

Ο τρόπος με τον οποίο η ακτινοβολία επηρεάζει τους ζωντανούς οργανισμούς είναι ενδιαφέρον και ιδιαίτερης σημασίας θέμα.

Με τον όρο ακτινοβολία εννοούμε τόσο τη ραδιενέργεια (α , β , γ και νετρόνια) όσο και την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία όπως για παράδειγμα τις ακτίνες Χ. Τα σωματίδια ή τα φωτόνια από τα οποία αποτελούνται οι ακτινοβολίες μεταφέρουν μεγάλα ποσά ενέργειας. Καθώς περνούν μέσα από την ύλη χάνουν ενέργεια διασπώντας τους δεσμούς μεταξύ των ατόμων και των μορίων δημιουργώντας ιόντα. Γι αυτό αυτές τις ακτινοβολίες τις ονομάζουμε **ιονίζουσες** ακτινοβολίες.

Γενικά η υπερβολική έκθεση σε ακτινοβολίες, όπως η ηλιακή, οι ακτίνες Χ και όλες οι ραδιενεργές, προκαλεί καταστροφή των ιστών. Το καταστροφικό αποτέλεσμα μπορεί να είναι σχετικά ήπιο, όπως για παράδειγμα ένα έγκαυμα από υπερβολική έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία. Είναι όμως δυνατόν να προκληθεί μαζική καταστροφή κυττάρων των ιστών ή μεταβολές του γενετικού υλικού που οδηγούν σε σοβαρές ασθένειες ακόμα και σε θάνατο. Η βιολογική δράση εξαρτάται από την ενέργεια που απορροφάται και από το είδος της ακτινοβολίας. Γενικά οι ακτινοβολίες που αποτελούνται από βαριά και φορτισμένα σωματίδια είναι πιο δραστικές από αυτές που αποτελούνται από ουδέτερα σωματίδια ή τις ηλεκτρομαγνητικές.

Όλοι οι άνθρωποι εκτίθενται στην επίδραση ακτινοβολιών. Αυτές προέρχονται είτε από φυσικές πηγές, όπως τα



Συνεισφορές των διάφορων πηγών ραδιενέργειας



Εικόνα 15.18

Φωτογραφία επιπτώσεων από την ατομική βόμβα που ρίφθηκε στη Χιροσίμα στις 5 Αυγούστου 1945. Στην (α) δείχνεται η πλάτη μιας γυναίκας όπως έγινε από τα εγκαύματα που υπέστη από την έκρηξη της βόμβας ενώ βρίσκονταν σε απόσταση μερικών χιλιομέτρων από τη θέση που εξερράγη. Στη (β) η εικόνα δυο παιδιών που έμειναν χωρίς μαλλιά λίγες ημέρες μετά την έκρηξη λόγω της ισχυρής ακτινοβολίας που δέχθηκαν.

ΠΙΝΑΚΑΣ 15.1

Ακτινοβολία	Σχετική βιολογική δραστηριότητα
Ακτίνες Χ και γ	1
Ηλεκτρόνια	1,0 - 1,5
Βραδέα νετρόνια	3 - 5
Πρωτόνια	10
Σωματίδια α	20
Βαρέα ιόντα	20

Η δραστηριότητα των ακτινοβολιών σχετίζεται με την ενέργεια που μεταφέρεται από αυτές καθώς και με το πόσο απορροφώνται από τους ιστούς.



Ακτινοβολία υποβάθρου

- Τοποθέτησε ένα μετρητή Γκάιγκερ στο θρανίο σου, μακριά από οποιαδήποτε ραδιενεργό πηγή.
- Θέσε σε λειτουργία τον μετρητή και κατέγραψε τον αριθμό των απαριθμήσεων για χρονικό διάστημα τριών λεπτών.
- Τύλιξε ένα φύλλο χαρτί γύρω από τον σωλήνα και επανέλαβε τις μετρήσεις
*Μειώνονται οι απαριθμήσεις;
Τι τύπος ακτινοβολίας φθάνει στον απαριθμητή;
Εξήγησε.*
- Επανέλαβε τη διαδικασία περιβάλλοντας διαδοχικά τον σωλήνα με φύλλα αλουμινίου πάχους 6mm ή μολύβδου πάχους 5cm.
*Μειώνεται ο αριθμός των απαριθμήσεων;
Τι μπορείς να συμπεράνεις για το είδος της ακτινοβολίας του υποβάθρου;*

γήινα ορυκτά, το έδαφος και η κοσμική ακτινοβολία είτε από ανθρώπινες δραστηριότητες κυρίως ιατρικές εφαρμογές.

Η κύρια φυσική πηγή ραδιενέργειας είναι το ραδόνιο $^{226}_{88}\text{Rn}$, ένα άχρωμο αδρανές αέριο που προέρχεται από τη διάσπαση του ραδίου $^{226}_{88}\text{Ra}$. Το ράδιο βρίσκεται σε ελάχιστες ποσότητες σε όλα σχεδόν τα πετρώματα και το έδαφος. Καθώς διασπάται το ράδιο που είναι συγκεντρωμένο στα θεμέλια των οικοδομών παράγεται το αέριο ραδόνιο. Το ραδόνιο επειδή είναι αέριο εύκολα διεισδύει στον αέρα του σπιτιού μας και γι' αυτό είναι επικίνδυνο. Πάντως ένας τακτικός εξαερισμός των χώρων της κατοικίας μειώνει την περιεκτικότητα του αέρα που αναπνέουμε σε ραδόνιο και έτσι μειώνει τον κίνδυνο.

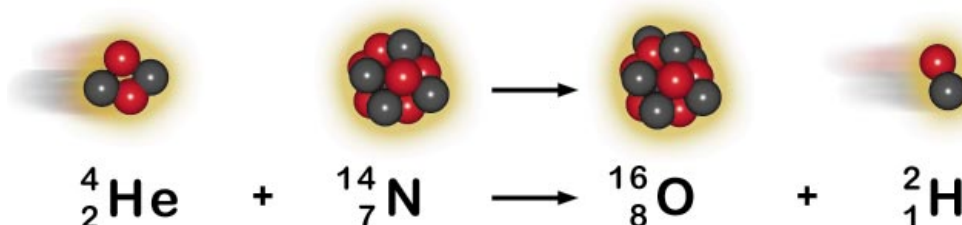
Το αποτέλεσμα της δράσης των ακτινοβολιών στον ανθρώπινο οργανισμό είναι αθροιστικό. Η βλάβη δηλαδή που παθαίνουμε αν εκτεθούμε σε ακτινοβολία δεν αποκαθίσταται αλλά προστίθεται στις βλάβες που θα πάθουμε σε επόμενες εκθέσεις σε ακτινοβολίες. Τη δόση της ακτινοβολίας που παίρνουμε κάθε φορά τη μετράμε σε rem. Ένας μέσος άνθρωπος προσλαμβάνει 0,2 rem το χρόνο περίπου. Μια συνηθισμένη ακτινογραφία θώρακος δίνει περίπου 0,02 rem. Η ποσότητα της ακτινοβολίας που προκαλεί άμεσο θανατηφόρο αποτέλεσμα είναι γύρω στα 500 rem. Έχει υπολογισθεί ότι η μέση εκπομπή ραδιενεργού ακτινοβολίας από όλα τα εργοστάσια πυρηνικής ενέργειας μικραίνει το μέσο όρο ζωής κατά 5 ημέρες ενώ από το ραδόνιο κατά 40 περίπου ημέρες. Για σύγκριση το κάπνισμα ενός πακέτου τσιγάρων κάθε μέρα, μικραίνει τη μέση διάρκεια ζωής κατά 6 χρόνια. Η αρνητική όμως επίδραση της ακτινοβολίας στον τοπικό πληθυσμό από τη χρήση πυρηνικών όπλων ή από κάποιο σοβαρό πυρηνικό ατύχημα είναι πολύ μεγαλύτερη.

Η ακτινοβολία γ είναι η πιο επικίνδυνη διότι έχει πολύ μεγάλη διεισδυτική ικανότητα. Λιγότερη επικίνδυνη είναι η ακτινοβολία β και ακόμα λιγότερο η α.



Τεχνητή μεταστοιχείωση

Το 1919 ο Ράδερφορντ πέτυχε την πρώτη τεχνητή μεταστοιχείωση. Βομβάρδισε πυρήνες αζώτου με σωματίδια α και μετέτρεψε το άζωτο σε οξυγόνο. Με αυτό τον τρόπο πραγματοποίησε το όνειρο των παλαιών αλχημιστών που προσπαθούσαν μάταια επί χιλιετίες να μετατρέψουν ένα στοιχείο σε άλλο. Ο μόλυβδος μπορεί να γίνει χρυσός όχι όμως με χημικές αντιδράσεις, που μεταβάλουν μόνο τον αριθμό των ηλεκτρονίων της εξωτερικής στοιβάδας του ατόμου, αλλά με πυρηνική αντίδραση (μεταστοιχείωση). Προκειμένου να προκαλέσουμε μια πυρηνική αντίδραση, όπως η μεταστοιχείωση, θα πρέπει σωματίδια – βλήματα που κινούνται με μεγάλη ταχύτητα να μπορούν να φθάσουν μέχρι τον πυρήνα.



Ένας πυρήνας Αζώτου όταν βομβαρδίζεται με σωματίδια α μετατρέπεται σε ένα πυρήνα Οξυγόνου.

Το ουράνιο είναι το στοιχείο με τον μεγαλύτερο ατομικό αριθμό που υπάρχει στη φύση ($Z=92$). Με τη διαδικασία της τεχνητής μεταστοιχείωσης μπορέσαμε να παράγουμε στοιχεία με ατομικούς αριθμούς από 93 έως 109. Όλα αυτά τα στοιχεία είναι ραδιενεργά και πολύ γρήγορα διασπώνται σε άλλα στοιχεία.

Τεχνητά Ραδιοϊσότοπα

Αν βομβαρδίσουμε τα σταθερά ισότοπα κάποιων στοιχείων με σωματίδια α, β ή ακτίνες γ είναι δυνατόν να σχηματισθούν τεχνητά ραδιενεργά ισότοπα ή αλλιώς ραδιοϊσότοπα.

Οι θυγατρικοί πυρήνες είναι ασταθείς. Εκπέμπουν ακτινοβολία μέχρις ότου να μετασχηματισθούν σε σταθερά ισότοπα. Τα ραδιοϊσότοπα είναι δυνατόν να εκπέμπουν α, β, ή γ ακτινοβολία. Η χρήση των ραδιοϊσοτόπων σήμερα, λόγω του χαμηλού κόστους παραγωγής τους, έχει επεκταθεί σε μεγάλο βαθμό τόσο στην επιστημονική έρευνα, όσο και στην βιομηχανία και την ιατρική.



Φρειδερίκος Ζολιό και Ειρήνη Κιουρί ενώ εργάζονται στο εργαστήριό τους για την παραγωγή τεχνητών ραδιοϊσοτόπων. Για αυτές τις εργασίες τους πήραν το Βραβείο Νόμπελ Φυσικής.

Οι γεωπόνοι αναμειγνύουν μικρή ποσότητα ραδιενεργών ισοτόπων με το λίπασμα πριν το ρίξουν στα φυτά. Όταν τα φυτά μεγαλώσουν μπορούν, χρησιμοποιώντας ένα ανιχνευτή ακτινοβολίας, να μετρήσουν εύκολα τη ποσότητα του λιπάσματος που απορρόφησαν. Με αυτό τον τρόπο μπορούν να προσδιορίσουν την ακριβή ποσότητα λιπάσματος που χρειάζεται το συγκεκριμένο φυτό.

Οι μηχανικοί, προσθέτοντας μια μικρή ποσότητα ραδιενεργού μετάλλου στα τοιχώματα του κυλίνδρου της μηχανής, είναι δυνατόν να μετρήσουν πως φθείρονται τα μέρη μια μηχανής αυτοκινήτου. Εξαιτίας της τριβής τα σωματίδια αυτού του μετάλλου πέφτουν μέσα στο λιπαντικό λάδι, όπου τα μετράμε με ανιχνευτή ακτινοβολίας.

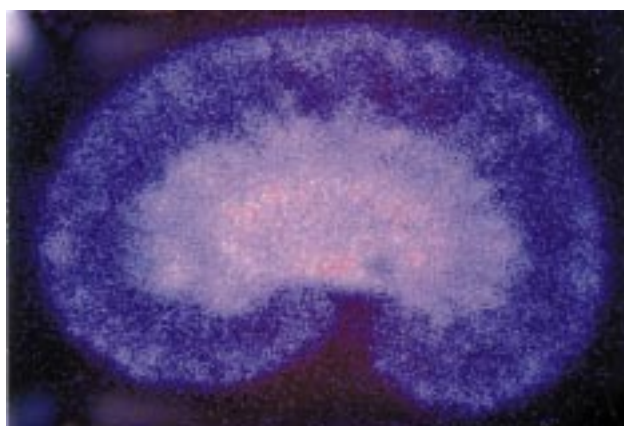


Ραδιοϊσότοπα και Ιατρική

Σε πολλές ιατρικές εξετάσεις χορηγείται στον ασθενή τροφή που περιέχει μικρή ποσότητα ραδιενεργών ισοτόπων τα οποία απορροφώνται από συγκεκριμένα μέρη του σώματος ή συνδέονται με ορισμένα μόρια. Η ανίχνευση των προϊόντων διάσπασης αυτών των ισοτόπων επιτρέπει στους γιατρούς να μελετήσουν τη διαδικασία της πέψης και την κίνηση των χημικών ουσιών μέσα στο σώμα.

Η χρήση του ραδιενεργού ιωδίου σε διαγνωστικές μελέτες του θυρεοειδούς αδένα είναι γνωστό παράδειγμα. Στον ασθενή χορηγείται μια πολύ μικρή ποσότητα ραδιενεργού ^{131}I που συγκεντρώνεται στον θυρεοειδή. Μετρώντας την ακτινοβολία που προέρχεται από την περιοχή του θυρεοειδούς προκύπτει μια ένδειξη της ικανότητας λειτουργίας του αδένα.

Μια άλλη εφαρμογή της ραδιενέργειας συνδέεται με την καταστροφή κυττάρων. Οι ραδιενεργές ακτινοβολίες χρησιμοποιούνται για την καταστροφή βακτηριδίων στα τρόφιμα. Στην ιατρική ακτίνες γ από ραδιενεργό Κοβάλτιο $^{60}_{27}\text{Co}$ χρησιμοποιούνται για την επιλεκτική καταστροφή των καρκινικών κυττάρων.



Εικόνα νεφρού ποντικού όπως διαγράφηκε μετά από τη λήψη από τον ποντικό ραδιοϊσοτόπων.

15.3 Πυρηνικές αντιδράσεις

Ενέργεια σύνδεσης του πυρήνα

Γνωρίσαμε ότι μεταξύ των πρωτονίων και των νετρονίων στον πυρήνα ασκούνται ισχυρές πυρηνικές δυνάμεις. Τα νουκλεόνια στον πυρήνα έχουν δυναμική ενέργεια. Την ενέργεια αυτή την ονομάζουμε **πυρηνική** ενέργεια. Έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι ο πυρήνας έχει μικρότερη μάζα από τη συνολική μάζα των νουκλεονίων από τα οποία σχηματίζεται. Το φαινόμενο αυτό αποκαλείται **έλλειμμα μάζας**.

Πως εξηγούμε το έλλειμμα μάζας στους πυρήνες;

Σύμφωνα με την εξίσωση του Αϊνστάιν που προκύπτει από τη θεωρία της ειδικής σχετικότητας η μάζα συνδέεται με την ενέργεια δηλαδή $E = m \cdot c^2$, όπου E η ενέργεια, m η μάζα και c η ταχύτητα του φωτός στο κενό. Δηλαδή η δυναμική ενέργεια των νουκλεονίων στους πυρήνες αντιστοιχεί σε ορισμένη ποσότητα μάζας, ίση ακριβώς με το έλλειμμα μάζας.

Ενέργεια και πυρηνικές αντιδράσεις

Κατά την αυθόρμητη ραδιενεργό διάσπαση ή την τεχνητή παραγωγή ενός πυρήνα με βομβαρδισμό ενός άλλου πυρήνα συμβαίνει μια αναδιάταξη των συστατικών του πυρήνα δηλαδή μια πυρηνική αντίδραση. Αντίστοιχα σε μια χημική αντίδραση συμβαίνει αναδιάταξη των ατόμων των στοιχείων, ή ακριβέστερα των ηλεκτρονίων των ατόμων. Υπάρχει όμως μια πολύ σημαντική ποσοτική διαφορά. Η ενέργεια σύνδεσης των νουκλεονίων στον πυρήνα, λόγω του ελλείμματος μάζας και της μεγάλης τιμής της ταχύτητας του φωτός προκύπτει περίπου ένα εκατομμύριο φορές μεγαλύτερη από την ενέργεια σύνδεσης των ηλεκτρονίων στο άτομο. Έτσι η δυναμική ενέργεια που μετατρέπεται σε κινητική των σωματιδίων σε μια πυρηνική αντίδραση είναι ένα εκατομμύριο φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη σε μια χημική αντίδραση. Οι δυο κύριες πυρηνικές αντιδράσεις με τις οποίες εκλύεται αυτή η τεράστια ποσότητα ενέργειας είναι η πυρηνική **σχάση** και η πυρηνική **σύντηξη**.

Πυρηνική σχάση

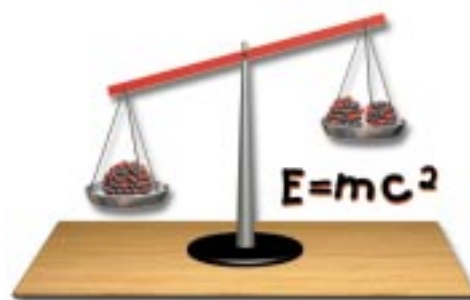
Η πυρηνική σχάση είναι η διάσπαση ενός ασταθούς πυρήνα σε δυο μικρότερους πυρήνες με σχεδόν ίσες μάζες. Συνήθως συνοδεύεται από ταυτόχρονη εκπομπή



Εικόνα 15.19

Ο πυρήνας έχει μικρότερη μάζα από την συνολική μάζα των νουκλεονίων από τα οποία σχηματίζεται.

Από την εκμετάλλευση της σχάσης 1kg ουρανίου 235 παράγεται ηλεκτρική ενέργεια ίση με $4,2 \cdot 10^{13}$ kJ, όση παράγεται από την καύση περίπου 3.300 τόννων άνθρακα. Για να πάρουμε 1 kg ουράνιο 235 πρέπει να επεξεργαστούμε περίπου 100 τόννους μεταλλεύματος ουρανίου.



Εικόνα 15.20

Ο πυρήνας του ουρανίου έχει μεγαλύτερη μάζα από τη συνολική μάζα των πυρήνων του βαρίου, του κρυπτού και των νετρονίων που παράγονται.



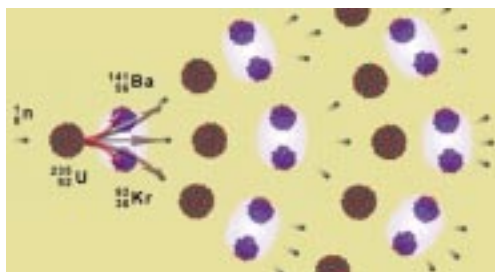
Εικόνα 15.21

Σύμφωνα με ένα απλό πρότυπο ο πυρήνας συμπεριφέρεται σαν μια φορτισμένη σταγόνα υγρού. Η απορρόφηση ενός νετρονίου προκαλεί μια επιμήκυνση του πυρήνα. Όταν η επιμήκυνση γίνει αρκετά μεγάλη οι απωστικές ηλεκτρικές δυνάμεις υπερβαίνουν τις ελκτικές πυρηνικές οπότε ο πυρήνας σχίζεται στα δυο.



Εικόνα 15.22

Η βόμβα ουρανίου που εξερράγη στη Χιροσίμα.



Εικόνα 15.23

Αλυσιδωτή πυρηνική σχάση U-235.

νετρονίων και απελευθέρωση τεράστιας ποσότητας ενέργειας. Η πυρηνική σχάση παρατηρήθηκε για πρώτη φορά το 1939 σαν αποτέλεσμα του βομβαρδισμού του ουρανίου με νετρόνια. Πράγματι ένας πυρήνας του ισότοπου του ουρανίου $^{235}_{92}\text{U}$ παθαίνει σχάση όταν βομβαρδίζεται με νετρόνια και διασπάται συνήθως σ' ένα πυρήνα βαρίου $^{141}_{56}\text{Ba}$ και σ' ένα πυρήνα κρυπτού $^{92}_{36}\text{Kr}$ ενώ συγχρόνως εκπέμπονται τρία νετρόνια (εικόνα 15.21). Πυρηνική σχάση πραγματοποιείται στις πυρηνικές βόμβες σχάσης

Στη σχάση του ουρανίου η μάζα των προϊόντων είναι μικρότερη από τη μάζα των αντιδρώντων. Το έλλειμμα μάζας είναι ισοδύναμο με την ενέργεια που εκλύεται, σύμφωνα με την εξίσωση του Αϊνστάιν.

Εάν ένα νετρόνιο προκαλέσει τη σχάση ενός πυρήνα, τότε από τη σχάση εκπέμπονται και νετρόνια. Κάθε ένα από αυτά είναι δυνατόν να προκαλέσει νέα σχάση οπότε τελικά είναι δυνατόν να προκύψει μια **αλυσιδωτή** αντίδραση (εικόνα 15.23). Για να συντηρηθεί μια αλυσιδωτή αντίδραση θα πρέπει η μάζα του σχάσιμου υλικού, όπως για παράδειγμα του U-235, να υπερβαίνει μια ελάχιστη τιμή, που λέγεται **κρίσιμη** μάζα. Στο φυσικό ουράνιο το ισότοπο U-235 υπάρχει σε αναλογία μόλις 0,7%. Το ισότοπο 238 που βρίσκεται σε μεγαλύτερη αναλογία μπορεί να απορροφήσει νετρόνια χωρίς να υποστεί σχάση. Γι αυτό και δεν πραγματοποιείται αλυσιδωτή αντίδραση στο ουράνιο που υπάρχει στη φύση

Η αλυσιδωτή αντίδραση μπορεί να είναι αργή και ελεγχόμενη όπως σ' ένα πυρηνικό αντιδραστήρα ενός ενεργειακού σταθμού πυρηνικής σχάσης ή να αποκτήσει εκρηκτικό χαρακτήρα, όπως στην ατομική βόμβα (εικόνα 15.22). Σε κάθε περίπτωση η ενέργεια που απελευθερώνεται σε μια αλυσιδωτή αντίδραση σχάσης είναι τεράστια, πολύ μεγαλύτερη από την ενέργεια οποιασδήποτε χημικής αντίδρασης όπως λόγου χάρη της καύσης.

Πυρηνική σύντηξη

Η πυρηνική σύντηξη είναι μια αντίδραση αντίστροφη της σχάσης. Στη σύντηξη ελαφρείς πυρήνες συνενώνονται ώστε να σχηματισθεί ένας βαρύτερος πυρήνας. Συγχρόνως απελευθερώνεται τεράστια ποσότητα ενέργειας. Τυπικό παράδειγμα σύντηξης αποτελεί η διαδικασία που συντελείται στο εσωτερικό του Ήλιου. Τέσσερις πυρήνες υδρογόνου (πρωτόνια), με μια διαδικασία που πραγματοποιείται σε διαδοχικά

στάδια σχηματίζουν ένα πυρήνα ηλίου. Η μάζα του πυρήνα του ηλίου είναι μικρότερη από τη μάζα των τεσσάρων πρωτονίων (εικόνα 15.24). Τη διαφορά αυτή της μάζας όπως είδαμε και προηγούμενα την ονομάζουμε έλλειμμα μάζας. Η ενέργεια που αντιστοιχεί στο έλλειμμα μάζας μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια των προϊόντων της σύντηξης. Η σύντηξη είναι η πηγή της ενέργειας που ακτινοβολείται από τον ήλιο και τα άστρα. Αν εξαντληθούν τα αποθέματα των πρωτονίων ο Ήλιος θα σβήσει. Ευτυχώς για μας αυτό προβλέπεται να συμβεί σε περίπου 30 δισεκατομμύρια χρόνια.

Για να συμβεί σύντηξη δύο πυρήνων πρέπει οι πυρήνες να πλησιάσουν αρκετά κοντά ώστε να υπερνικηθεί η απωστική ηλεκτρική δύναμη από την ελκτική πυρηνική. Για να πλησιάσουν τόσο κοντά οι πυρήνες θα πρέπει να κινούνται με πολύ μεγάλες ταχύτητες, δηλαδή να έχουν μεγάλες κινητικές ενέργειες. Άρα η σύντηξη απαιτεί την ύπαρξη πολύ μεγάλων θερμοκρασιών, της τάξης των δεκάδων εκατομμυρίων βαθμών σαν αυτές που επικρατούν στο κέντρο του Ήλιου. Γι' αυτό οι αντιδράσεις σύντηξης ονομάζονται και θερμοπυρηνικές.

Πριν από τη κατασκευή της πυρηνικής βόμβας η επίτευξη της θερμοπυρηνικής σύντηξης ήταν ανέφικτη για τη Γη. Βρέθηκε όμως ότι η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στο κέντρο μιας πυρηνικής έκρηξης είναι περίπου 5 φορές μεγαλύτερη από ότι στο κέντρο του Ήλιου. Έτσι οδηγηθήκαμε στη κατασκευή της «θερμοπυρηνικής» βόμβας ή βόμβας υδρογόνου, στην οποία συμβαίνει σύντηξη. Σ' αυτήν η υψηλή θερμοκρασία που απαιτείται για την πραγματοποίηση της αντίδρασης σύντηξης προκύπτει από την έκρηξη μιας «ατομικής» βόμβας σχάσης.

Η πρώτη βόμβα υδρογόνου εξερράγη το 1954 (Εικόνα 15.25). Δυστυχώς είναι άλλο ένα παράδειγμα αξιοποίησης ενός επιστημονικού επιτεύγματος για πολεμικούς και όχι για ειρηνικούς σκοπούς. Υπάρχει όμως και η θετική προοπτική της σύντηξης. Η σύντηξη θεωρείται από πολλούς, ως η πιο ελπιδοφόρα διαδικασία για την μελλοντική αντιμετώπιση των ενεργειακών αναγκών της ανθρωπότητας. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι πέρα από την αφθονία πυρηνικού καυσίμου, του υδρογόνου του νερού των ωκεανών, η ελεγχόμενη πυρηνική σύντηξη παρουσιάζει και άλλα πλεονεκτήματα σε σχέση με τη σχάση:

- Δεν υπάρχουν ραδιενεργά κατάλοιπα αφού το ήλιο που παράγεται δεν είναι ραδιενεργό.



Εικόνα 15.24

Η μάζα του πυρήνα του Ηλίου είναι μικρότερη από τη μάζα των 2 πρωτονίων και των δυο νετρονίων.



Εικόνα 15.25

Η δοκιμή της πρώτης βόμβας υδρογόνου στα νησιά Μπικίνι το 1954. Στο κέντρο της έκρηξης μιας τέτοιας βόμβας δημιουργούνται θερμοκρασίες συγκρίσιμες με αυτές που είχε το σύμπαν ένα δευτερόλεπτο μετά τη μεγάλη έκρηξη.

ΠΙΝΑΚΑΣ 15.2

ΧΩΡΑ	% ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από πυρηνικούς σταθμούς σχάσης
Ρωσία	10
ΗΠΑ	20
Μ. Βρετανία	20
Βουλγαρία	30
Γερμανία	30
Ελβετία	45
Γαλλία	70

- Δεν υπάρχει κίνδυνος πυρηνικού ατυχήματος, αφού στους αντιδραστήρες σύντηξης δεν απαιτείται κρίσιμη μάζα.
- Είναι δυνατόν να αποφευχθεί η ρύπανση της ατμόσφαιρας εφόσον δε γίνεται καύση.



Ιστορία Πυρηνικής σχάσης

Η δυνατότητα μετατροπής της πυρηνικής ενέργειας σε ενέργεια άλλης μορφής διερευνήθηκε κατά τη δεκαετία του 1930. Το 1939 δυο Γερμανοί χημικοί οι Χαν (Hahn) και Στράσμαν (Strassman) έκαναν μια τυχαία ανακάλυψη που επρόκειτο να αλλάξει το μέλλον του κόσμου. Συνεχίζοντας προγενέστερες ερευνητικές προσπάθειες του Ιταλού Φέρμι (Fermi) βομβάρδισαν ουράνιο με νετρόνια.

Αναλύοντας τα χημικά προϊόντα της αντίδρασης με έκπληξη διαπίστωσαν ότι παράγονταν βάριο. Οι δυο χημικοί δεν μπορούσαν να καταλάβουν πως το βάριο με ατομικό αριθμό 56 ήταν δυνατόν να παράγεται από το ουράνιο που έχει ατομικό αριθμό 92. Μια εβδομάδα αργότερα οι αυστριακοί Μάϊτνερ (Meitner) και Φρις (Frisch) έδωσαν την σωστή

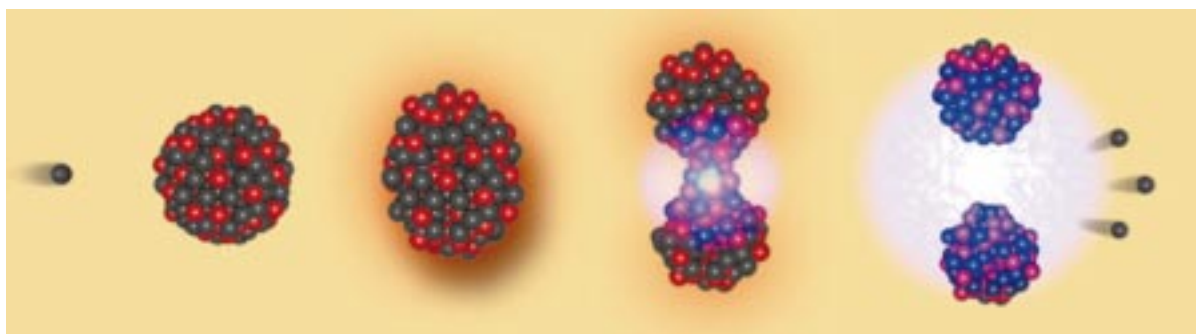


Φρίτς Στράτμαν
(Fritz Strassman)

εξήγηση: οι πυρήνες του ουρανίου είχαν διασπασθεί σε δυο μικρότερους πυρήνες σχεδόν ίσης μάζας. Η Μάϊτνερ ονόμασε αυτή τη διαδικασία σχάση.



Ότο Χαν (Otto Hahn) και Λίζε Μάϊτνερ (Lise Meitner) στο εργαστήριο τους στο Βερολίνο.



Όταν ο πυρήνας του Ουρανίου βομβαρδίζεται με νετρόνια παράγονται δύο πυρήνες, ένας Κρυπτού και ένας Βαρίου.



Η καρδιά ενός πυρηνικού αντιδραστήρα

Πυρηνικοί αντιδραστήρες

Ο πυρηνικός αντιδραστήρας είναι ένα σύστημα στο οποίο πραγματοποιείται μια ελεγχόμενη πυρηνική αλυσιδωτή αντίδραση που οδηγεί σε απελευθέρωση ενέργειας. Το πρωταρχικό πρόβλημα που παρουσιάστηκε στην προσπάθεια κατασκευής ενός πυρηνικού αντιδραστήρα ήταν η συντήρηση της αλυσιδωτής αντίδρασης. Τα περισσότερα από τα νετρόνια που παράγονται από τη σχάση των πυρήνων του ουρανίου-235 ($^{235}_{92}\text{U}$) κινούνται γρήγορα. Αυτά τα γρήγορα νετρόνια δεν απορροφώνται από τους πυρήνες του ουρανίου. Για να απορροφηθούν και να προκαλέσουν νέες διασπάσεις πρέπει να επιβραδυνθούν. Η επιβράδυνση επιτυγχάνεται όταν τα νετρόνια συγκρουστούν με τους πυρήνες του υλικού που περιβάλλει το ουράνιο, το οποίο ονομάζεται *επιβραδυντής*. Στην πρώτη ελεγχόμενη

αλυσιδωτή πυρηνική αντίδραση που επιτεύχθηκε στο Σικάγο το 1942 ο Ιταλός Φέρμι (Fermi) χρησιμοποίησε γραφίτη ως επιβραδυντή. Και σήμερα πολλοί πυρηνικοί αντιδραστήρες έχουν γραφίτη ως επιβραδυντή.

Το συνηθισμένο νερό είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ως επιβραδυντής εάν η αναλογία του ισότοπου U-235 στο δείγμα του ουρανίου αυξηθεί. Αυτή η διαδικασία αύξησης του αριθμού των σχάσιμων πυρήνων ονομάζεται *εμπλουτισμός*.

Με τον εμπλουτισμό η αναλογία του U-235 αυξάνεται από 0,7% σε 3%. Σε ένα καθιερωμένου τύπου πυρηνικό αντιδραστήρα περίπου 200 τόνοι ουρανίου τοποθετούνται μέσα σε εκατοντάδες μεταλλικές ράβδους που περιβάλλονται από νερό. Το νερό όχι μόνο δρα ως επιβραδυντής αλλά επίσης μεταφέρει θερμική ενέργεια έξω από την περιοχή σχάσης που λέγεται καρδιά του πυρηνικού αντιδραστήρα.

Καρδιά του αντιδραστήρα

Στην καρδιά του αντιδραστήρα ανάμεσα από τις ράβδους του ουρανίου τοποθετούνται ράβδοι από το μέταλλο κάδμιο. Το κάδμιο απορροφά εύκολα τα νετρόνια. Οι ράβδοι του καδμίου εισάγονται και εξάγονται από τον αντιδραστήρα έτσι ώστε να ελέγχεται ο ρυθμός της αλυσιδωτής αντίδρασης και συνεπώς ο ρυθμός που εκλύεται η ενέργεια. Για αυτό οι ράβδοι αυτές ονομάζονται *ράβδοι ελέγχου*. Όταν οι ράβδοι εισέλθουν πλήρως στον αντιδραστήρα καταπνίγουν την αλυσιδωτή αντίδραση. Αν οι ράβδοι εξέλθουν τελείως από τον αντιδραστήρα τότε ο ρυθμός που εκλύεται η ενέργεια είναι χωρίς έλεγχο, οπότε είναι δυνατόν να αυξηθεί τόσο πολύ ώστε να προκαλέσει τήξη της καρδιάς του αντιδραστήρα.



Ράβδοι πυρηνικού καυσίμου τη στιγμή που τις κατεβάζουν στη καρδιά του αντιδραστήρα.



Πυρηνικός αντιδραστήρας και μετατροπές ενέργειας

Σε ένα σταθμό πυρηνικής ενέργειας, η ενέργεια που εκλύεται από την πυρηνική αντίδραση χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού, με τον οποίο περιστρέφεται ένας στρόβιλος που με τη σειρά του κινεί μια ηλεκτρική γεννήτρια.

Η θερμική ενέργεια που εκλύεται από τη σχάση προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας του νερού που περιβάλλει το ουράνιο. Αυτό το νερό δεν βράζει επειδή βρίσκεται κάτω από υψηλή πίεση, η οποία αυξάνει τη θερμοκρασία βρασμού. Όπως δείχνεται στην εικόνα αυτό το νερό μεταφέρεται από μια αντλία σ' έναν εναλλάκτη θερμότητας όπου προκαλεί βρασμό άλλου μη ραδιενεργού νερού. Ο ατμός που παράγεται στρέφει τους στρόβιλους που συνδέονται με γεννήτριες οι οποίες παράγουν ηλεκτρική ενέργεια.

Ραδιενεργά κατάλοιπα

Καθώς το ουράνιο διασπάται μέσα στις μεταλλικές ράβδους, οι πυρήνες του υλικού των ράβδων μετατρέπονται σε ραδιοϊσότοπα. Έτσι οι ράβδοι που περιέχουν το ουράνιο θα πρέπει μια φορά το χρόνο να αντικαθίστανται. Οι παλιές ράβδοι δεν μπορούν πλέον να χρησιμοποιηθούν στους πυρηνικούς αντιδραστήρες. Είναι ισχυρά ραδιενεργοί και πρέπει να αποθηκευθούν σε ασφαλές μέρος.

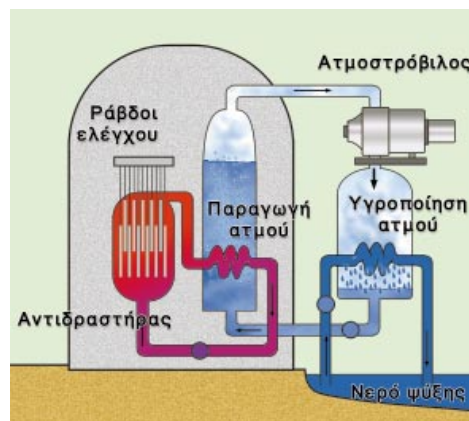
Μεταξύ των προϊόντων που παράγονται στους πυρηνικούς αντιδραστήρες συμπεριλαμβάνεται και το τεχνητό στοιχείο πλουτώνιο $^{239}_{94}\text{Pu}$. Το πλουτώνιο παράγεται όταν ένα νετρόνιο συλληφθεί από έναν πυρήνα ουρανίου-238. Ο πυρήνας του πλουτωνίου διασπάται όπως και του ουρανίου-235. Το πλουτώνιο χρησιμοποιείται κυρίως για την κατασκευή πυρηνικών βομβών, όπως αυτή που ρίφθηκε στο Ναγκασάκι της Ιαπωνίας το 1945.



Χώρος προσωρινής φύλαξης ραδιενεργών καταλοίπων.

Το πλουτώνιο είναι τόσο ραδιενεργό, όσο και χημικά τοξικό και γι' αυτό ιδιαίτερα επικίνδυνο. Επομένως υλικά που περιέχουν πλουτώνιο και γενικά τα ραδιενεργά κατάλοιπα θα πρέπει να αποθηκεύονται σε ασφαλείς προσωρινές τοποθεσίες και ποτέ στους κοινούς χώρους των απορριμμάτων.

Πάντως η διάθεση των ραδιενεργών καταλοίπων αποτελεί ένα πιεστικό πρόβλημα που αναζητά τη λύση του. Ειδικά για το πλουτώνιο υπάρχει ελπίδα ότι στο μέλλον αυτό το σχάσιμο ισότοπο θα είναι δυνατόν να διαχωριστεί από τα ραδιενεργά κατάλοιπα να χρησιμοποιηθεί σαν πυρηνικό καύσιμο για άλλους αντιδραστήρες.



Σχηματική αναπαράσταση πυρηνικού αντιδραστήρα.



Ελεγχόμενη πυρηνική σύντηξη

Είναι δυνατόν η τεράστια ενέργεια που προκύπτει από τη σύντηξη να παραχθεί και να χρησιμοποιηθεί στη Γη;

Κατ' αρχή πρέπει να εξασφαλισθεί το στοιχείο το οποίο θα χρησιμοποιηθεί στην σύντηξη. Αυτό είναι το υδρογόνο. Το κοινό υδρογόνο ^1_1H ή το ισότοπο του, δευτέριο ^2_1H . Και τα δυο υπάρχουν σε αφθονία στο νερό των θαλασσών. Συνεπώς η ελεγχόμενη σύντηξη θα μπορούσε να προσφέρει στην ανθρωπότητα απεριόριστες ποσότητες φθηνής και καθαρής ενέργειας.

Για ποιο λόγο σήμερα δεν χρησιμοποιούμε αυτό τον τρόπο για την αξιοποίηση της πυρηνικής ενέργειας;

Για την επίτευξη της ελεγχόμενης σύντηξης πρέπει να επιλυθούν μερικά πολύ δύσκολα προβλήματα.

- Οι αντιδράσεις σύντηξης απαιτούν θερμοκρασίες εκατομμυρίων βαθμών. Κανένα από τα γνωστά υλικά δεν αντέχει σε θερμοκρασίες πάνω από 5.000 βαθμούς.
- Επιπλέον τα άτομα του υλικού που θα συντήκεται καθώς θα έρχονται σε επαφή με τα τοιχώματα του δοχείου, μέσα στο οποίο περιέχονται θα επιβραδύνονται, οπότε θα μειώνεται η θερμοκρασία τους.

Για να λύσουν οι επιστήμονες αυτό το πρόβλημα προτείνουν το στοιχείο το οποίο πρόκειται να συντηχθεί, να υπερθερμανθεί, ενώ θα είναι περιορισμένο σε μια μικρή περιοχή, μακριά από τα τοιχώματα του δοχείου. Αυτό μπορούν να το πετύχουν εκμεταλλευόμενοι το γεγονός ότι το μαγνητικό πεδίο, ασκώντας δυνάμεις σε φορτισμένα σωματίδια, είναι δυνατόν να συγκρατεί αυτά σε ορισμένη περιοχή του χώρου. Έτσι δημιουργείται μια αόρατη «μαγνητική φιάλη».

Έτσι με παροχή ηλεκτρικής ενέργειας τα άτομα του υδρογόνου ιονίζονται. Δημιουργείται μια νέα κατάσταση της ύλης που αποτελείται από ηλεκτρόνια και θετικά ιόντα σε υψηλή θερμοκρασία, η οποία ονομάζεται πλάσμα. Στη συνέχεια με απότομη αύξηση του μαγνητικού πεδίου δημιουργείται μια «μαγνητική φιάλη» και το πλάσμα συμπιέζεται σε μια περιοχή του χώρου μακριά από τα τοιχώματα του δοχείου, ενώ η θερμοκρασία του αυξάνεται.

Με αυτή την τεχνική οι πυρήνες του υδρογόνου συντήκονται σε ήλιο. Η ενέργεια που απελευθερώνεται κατά τη σύντηξη είναι δυνατόν να παράγει ατμούς ώστε να κινεί ατμοστροβίλους που συνδέονται με ηλεκτρικές γεννήτριες.

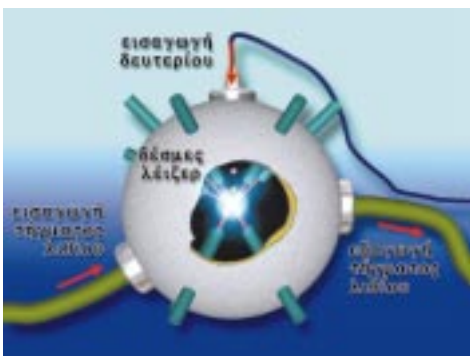
Σ' ένα χρήσιμο αντιδραστήρα η ενέργεια που παράγεται πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το ποσό της ενέργειας που προσφέρεται για τη λειτουργία του. Μέχρι τώρα η ενέργεια που απαιτείται για τη δημιουργία και συντήρηση του πλάσματος σ' ένα αντιδραστήρα σύντηξης είναι μεγαλύτερη από αυτήν που παράγεται κατά τη σύντηξη.



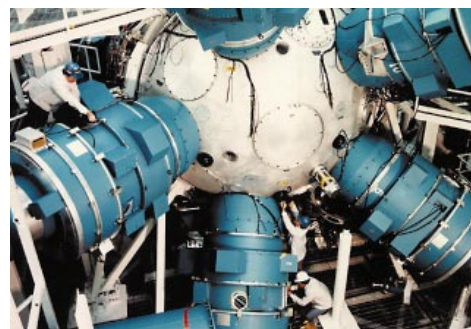
Αναπαράσταση μαγνητικής φιάλης.

Ένας άλλος τρόπος να επιτευχθεί η αντίδραση σύντηξης έτσι ώστε να οδηγηθούμε σε κατασκευή χρήσιμων αντιδραστήρων σύντηξης στηρίζεται στην αξιοποίηση των λέιζερ υψηλής ενέργειας. Ισότοπα του υδρογόνου υγροποιούνται και τοποθετούνται σε μικρές γυάλινες σφαίρες. Πολλαπλές δέσμες λέιζερ κατευθύνονται προς τις σφαίρες. Η ενέργεια των δεσμών συμπιέζει τα ισότοπα σε πυκνότητες που είναι περίπου 1000 φορές μεγαλύτερες από την πυκνότητα του νερού.

Η τρομακτική αύξηση της πυκνότητας οδηγεί σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, ώστε να προκληθεί σύντηξη. Βέβαια και εδώ προκύπτει το πρόβλημα αν η ενέργεια που προκύπτει από τη σύντηξη είναι μεγαλύτερη από την ηλεκτρική ενέργεια που διατίθεται για τη λειτουργία των λέιζερ.



Σχηματική αναπαράσταση του θαλάμου σύντηξης.



Θάλαμος σύντηξης στο εργαστήριο Lawrence του Πανεπιστημίου του Berkley. Οι ακτίνες λέιζερ που κατευθύνονται στο εσωτερικό του είναι από τις πλέον ισχυρές στον κόσμο.

Ελπίζεται ότι η εντατική έρευνα γύρω από την σύντηξη με χρήση διάφορων τεχνικών θα οδηγήσει τουλάχιστον σε πρώτη φάση στον ισοσκελισμό της παραγόμενης ενέργειας και της απαιτούμενης ενέργειας. Έτσι θα ανοίξει ο δρόμος για την ειρηνική αξιοποίηση της σύντηξης.



Πυρηνικά ατυχήματα

Ένα σοβαρό πρόβλημα σχετικά με τη λειτουργία των πυρηνικών αντιδραστήρων είναι το ενδεχόμενο των πυρηνικών ατυχημάτων. Τέτοια ατυχήματα προκαλούνται συνήθως εξαιτίας της μη ελεγχόμενης αύξησης της θερμοκρασίας στην καρδιά του αντιδραστήρα. Το Μάρτιο του 1979 μετά από ένα ατύχημα στον πυρηνικό σταθμό του Θρή Μαιλ Άιλαντ της Πενσυλβάνια των ΗΠΑ διέφυγαν στο έδαφος και στην ατμόσφαιρα άγνωστες ποσότητες ραδιενεργών υλικών.

Το πιο καταστροφικό ατύχημα στην ιστορία της χρήσης της πυρηνικής ενέργειας για ειρηνικούς σκοπούς, συνέβη τον Απρίλιο του 1986 στο

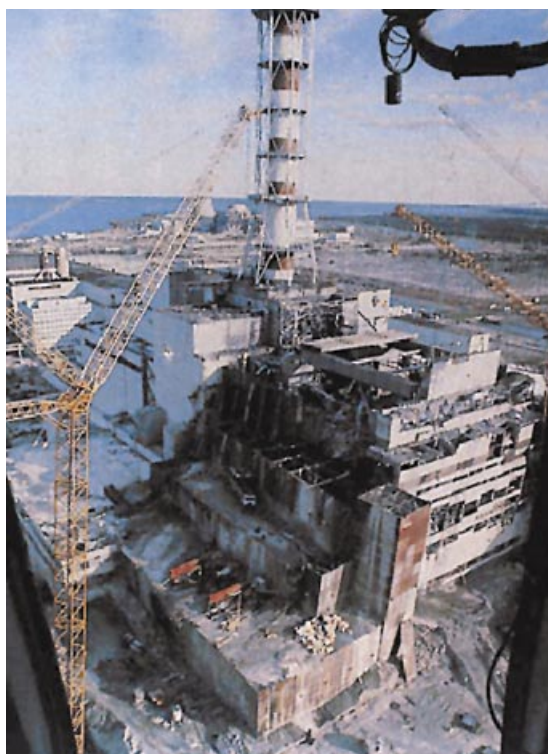


Φωτογραφία από τον πυρηνικό σταθμό του Θρή Μαιλ Άιλαντ. Ο ένας από τους δυο αντιδραστήρες, αυτός στον οποίο έγινε το ατύχημα δεν λειτουργεί ακόμη.

Τσέρνομπιλ της Ουκρανίας. Κατά τη διάρκεια δοκιμής του συστήματος ψύξης της καρδιάς του αντιδραστήρα απομακρύνθηκαν πάρα πολλές ράβδοι ελέγχου.

Μέσα σε δευτερόλεπτα η ενέργεια που εκλύονταν αυξήθηκε κατά 10.000 φορές. Ακολούθησε έκρηξη που προκάλεσε διάρρηξη των σωλήνων του συστήματος ψύξης της καρδιάς του αντιδραστήρα και ανατινάχθηκε το κάλυμμα από μπετόν που σκέπαζε τον αντιδραστήρα. Ο επιβραδυντής από γραφίτη πήρε φωτιά και η καύση του διήρκεσε μερικές ημέρες.

Ραδιενεργά υλικά διασκορπίστηκαν στην ατμόσφαιρα και μεταφέρθηκαν από τους ανέμους μέχρι τη Βρετανία, την Ελλάδα και την Κίνα. Τα θύματα του ατυχήματος μεταξύ του τοπικού πληθυσμού ήταν χιλιάδες ενώ αρκετά χρόνια μετά συνεχίζουν να γεννιούνται παιδιά με σωματικά ή διανοητικά προβλήματα, λόγω της ραδιενέργειας που επηρέασε το γενετικό κώδικα των γονέων τους.



Το κτίριο του αντιδραστήρα στο εργοστάσιο του Τσέρνομπιλ το οποίο κατέρρευσε μετά το ατύχημα. Φαίνεται στη βάση του το τιμεντένιο φέρετρο μέσα στο οποίο κλείσθηκε η καρδιά του αντιδραστήρα.

Μειονεκτήματα – πλεονεκτήματα από τη χρήση πυρηνικής ενέργειας

Μειονεκτήματα

Τα μειονεκτήματα της παραγωγής ενέργειας από πυρηνική σχάση είναι:

- Η απελευθέρωση στον αέρα και στα υπόγεια νερά ραδιενεργών υλικών. Αυτή η απελευθέρωση βέβαια πραγματοποιείται σε χαμηλό επίπεδο.
- Το πρόβλημα αποθήκευσης των ραδιενεργών καταλοίπων
- Η παραγωγή του πλουτωνίου και ο κίνδυνος εξάπλωσης των πυρηνικών όπλων
- Ο κίνδυνος έκλυσης μεγάλων ποσοτήτων ραδιενέργειας λόγω ατυχήματος.

Πλεονεκτήματα

- Άφθονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Η διατήρηση αποθεμάτων των υγρών καυσίμων που θα μπορούσαν στο μακρινό μέλλον να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή θρεπτικών ουσιών.
- Ο περιορισμός της ρύπανσης του περιβάλλοντος που προκαλείται από τα αέρια που εκπέμπονται λόγω καύσης των ορυκτών καυσίμων.

Η σωστή κρίση απαιτεί να συνυπολογίσουμε όλους τους παράγοντες. Το βέβαιο είναι ότι η ανθρωπότητα πρέπει να περιορίσει – φρενάρει την αύξηση των ενεργειακών αναγκών της και να επενδύσει στην ανάπτυξη της τεχνολογίας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

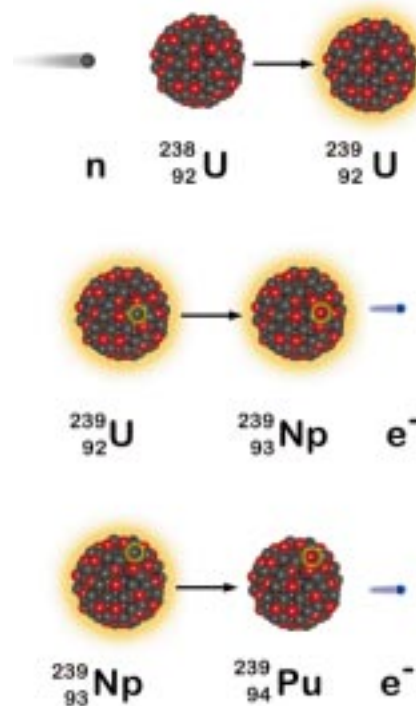


Ανακύκλωση και πυρηνικά καύσιμα.

Τα παγκόσμια αποθέματα ουρανίου είναι σχετικά περιορισμένα. Αν οι πυρηνικοί σταθμοί χρησιμοποιούνται για την παραγωγή μεγάλου μέρους της ηλεκτρικής ενέργειας στο κόσμο, το ουράνιο θα εξαντληθεί. Ακόμη και αν το πλουτώνιο που παράγεται από τους συνήθεις αντιδραστήρες μπορούσε να ανακυκλωθεί πάλι θα υπάρχει μια καθαρή απώλεια πυρηνικού καύσιμου. Με στόχο την χρήση του ουρανίου για όσο το δυνατόν περισσότερο χρονικό διάστημα αναπτύχθηκαν οι **αναπαραγωγικοί αντιδραστήρες**.

Όταν ένας αντιδραστήρας περιέχει ουράνιο-238 και πλουτώνιο, το πλουτώνιο θα υποστεί σχάση. Πολλά από τα ελεύθερα νετρόνια που παράγονται από τη σχάση του πλουτωνίου απορροφώνται από του ουράνιο οπότε δημιουργείται πρόσθετο πλουτώνιο. Για κάθε δυο πυρήνες πλουτωνίου που παθαίνουν σχάση τρεις νέοι σχηματίζονται. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατόν κατά τη λειτουργία του αντιδραστήρα να δημιουργηθεί περισσότερο σχάσιμο υλικό από αυτό που υπήρχε αρχικά.

Τέτοιου τύπου αντιδραστήρες, αναπαραγωγικοί, λειτουργούν ήδη σε μερικές χώρες, όπως η Γαλλία.



Σχηματική αναπαράσταση αντίδρασης παραγωγής πλουτωνίου από ουράνιο.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

- Συμπλήρωσε το παρακάτω κείμενο:
 α) Ο πυρήνας αποτελείται από και Ο αριθμός των πρωτονίων του πυρήνα ονομάζεται ο συνολικός αριθμός των πρωτονίων και των νετρονίων του πυρήνα ονομάζεται
 β) Στοιχεία που έχουν τον ίδιο αριθμό πρωτονίων αλλά διαφορετικό αριθμό νετρονίων ονομάζονται
- Ποιο ισότοπο έχει τον μεγαλύτερο αριθμό νετρονίων; Το ^{235}U ή το ^{238}U ;
- Ποιο είναι συνήθως μεγαλύτερο το Z ή το A; Να εξηγήσεις.

4. Ποιες δυνάμεις ασκούνται μεταξύ των νουκλεονίων ενός πυρήνα; Ποια από αυτές είναι ισχυρότερη;
5. Τα πρωτόνια έχουν θετικό ηλεκτρικό φορτίο ενώ τα νετρόνια είναι ουδέτερα. Γιατί συχνά τα ονομάζουμε νουκλεόνια χωρίς διάκριση;
6. Συχνά αναφέρεται ότι τα νετρόνια παίζουν τον ρόλο της “κόλας” μεταξύ των πρωτονίων. Μπορείς να εξηγήσεις γιατί;
7. Γιατί δεν υπάρχουν στη φύση πυρήνες με οσοδήποτε μεγάλο μαζικό αριθμό;
8. Παρατήρησε τα σύμβολα των παρακάτω πυρήνων:
 α) ${}^1_6\text{A}$, β) ${}^{14}_6\text{B}$, γ) ${}^{14}_7\text{Γ}$, δ) ${}^{16}_8\text{Δ}$, ε) ${}^{72}_8\text{Ε}$.
 i) ποιοι πυρήνες περιέχουν τον ίδιο αριθμό: Πρωτονίων, νετρονίων, νουκλεονίων
 ii) Ποιοι πυρήνες σε ουδέτερα άτομα περιβάλλονται από τον ίδιο αριθμό ηλεκτρονίων;
 iii) Ποιοι πυρήνες αντιστοιχούν σε ισότοπα του ίδιου στοιχείου;
9. Ποιο φαινόμενο ονομάζεται ραδιενέργεια; Ποια είδη ραδιενεργών ακτινοβολιών υπάρχουν;
10. Αντιστοίχησε τα είδη της ραδιενεργού ακτινοβολία με τα σωματίδια από τα οποία αποτελείται:
- | | |
|----------------|------------------|
| 1. Σωματίδια α | α. ηλεκτρόνια |
| 2. Σωματίδια β | β. φωτόνια |
| 3. Ακτίνες γ | γ. πυρήνες ηλίου |
11. Ποια από τις ραδιενεργές ακτινοβολίες έχει την ίδια φύση με το ορατό φως;
12. Πως μεταβάλλεται ο ατομικός και ο μαζικός αριθμός ενός πυρήνα όταν εκπέμπει αντίστοιχα:
 α) ένα σωματίδιο α, β) ένα σωματίδιο β, γ) μια ακτίνα γ
13. Μετά από μια σειρά 14 διασπάσεων στις οποίες περιλαμβάνονται 8 εκπομπές α και 6 β, το ραδιενεργό ουράνιο ${}^{238}\text{U}$ μετατρέπεται στο σταθερό ισότοπο του μολύβδου ${}^{206}\text{Pb}$. Συγχρόνως εκπέμπονται και ακτίνες γ. Πως θα μπορούσες να διαχωρίσεις πειραματικά τα τρία είδη της ραδιενεργού ακτινοβολίας;
14. Σ' ένα αλουμινένιο κουτί τοποθετείται ένα φωτογραφικό φιλμ. Δίπλα στο κουτί βρίσκεται μια ραδιενεργός πηγή. Μετά από μερικές μέρες παρατηρούμε ότι το φιλμ έχει αμαυρωθεί. Ποια νομίζεις ότι μπορεί να είναι η πιθανή αιτία;
 Η πηγή εκπέμπει; i) σωματίδια α, ii) σωματίδια β, iii) ακτίνες γ.
 Να δικαιολογήσεις την επιλογή σου.
15. Στην ραδιενεργό διάσπαση β εκπέμπονται από τον πυρήνα ηλεκτρόνια. Πως να συμβαίνει κάτι τέτοιο αφού ο πυρήνας δεν περιέχει ηλεκτρόνια;
16. Τι ονομάζεται μεταστοιχείωση στην πυρηνική φυσική; Να δώσεις ένα παράδειγμα

17. Τι είναι τα ραδιοϊσότοπα; Να αναφέρεις τρεις χρήσεις τους.
18. Τι ονομάζεται πυρηνική σχάση και τι πυρηνική σύντηξη; Να αναφέρεις από ένα παράδειγμα.
19. Τι ονομάζεται έλλειμμα μάζας σε μια πυρηνική αντίδραση;
20. Ποιες μετατροπές ενέργειας συμβαίνουν στην πυρηνική σχάση ή σύντηξη;
21. Σε μια πυρηνική αντίδραση γνωρίζουμε τις μάζες των αντιδρώντων και των προϊόντων. Μπορούμε να υπολογίσουμε την ενέργεια που εκλύεται κατά την αντίδραση; Να εξηγήσεις.
22. Συμπλήρωσε το παρακάτω κείμενο:
Από τα δυο ισότοπα του ουρανίου που υπάρχουν στη φύση μόνο Παθαίνει σχάση απορροφώντας ένα βραδύ Σ' ένα πυρηνικό υπάρχουν ουρανίου. Μεταξύ αυτών παρεμβάλλονται ράβδοι Οι ράβδοι είναι βυθισμένες στο νερό που απορροφούν τα Σε μια αλυσιδωτή ένας πυρήνας απορροφά ένα και διασπάται σε δυο πυρήνες. Συγχρόνως παράγονται τρία νέα Που είναι δυνατόν να προκαλέσουν νέες Αποτέλεσμα της πυρηνικής είναι η μετατροπή της ενέργειας σε ενέργεια. Σ' έναν αναπαραγωγικό το ^{238}U μετατρέπεται σε Το οποίο υφίσταται Τελικά παράγεται πλουτώνιο απ' όσο υπήρχε αρχικά.
23. Η πυρηνική σχάση και η πυρηνική σύντηξη είναι αντίστροφες διαδικασίες. Πως είναι δυνατόν και στις δυο να απελευθερώνεται ενέργεια;
24. Ποια είναι η διαφορά στη διαδικασία της σχάσης σε μια ατομική βόμβα και σ' έναν αντιδραστήρα;
25. Κάποιος αστρονόμος υποστηρίζει ότι ο Δίας πρέπει να είναι αστέρι (όπως ο ήλιος). Ένας συνάδελφος του καταρρίπτει τον ισχυρισμό του λέγοντας του ότι η θερμοκρασία στο εσωτερικό του Δία είναι πολύ χαμηλή. Γιατί θα πρέπει στο εσωτερικό των άστρων να επικρατούν πολύ υψηλές θερμοκρασίες;
26. Ποια είναι η βασική προϋπόθεση για να συντηρηθεί μια αλυσιδωτή αντίδραση σχάσης;
27. Ποια είναι η βασική προϋπόθεση για την επίτευξη της πυρηνικής σύντηξης; Πως εκπληρώνεται αυτή η προϋπόθεση;
28. Ποιο είναι το βασικό τεχνολογικό πρόβλημα για την επίτευξη της ελεγχόμενης πυρηνικής σύντηξης; Με ποιες μεθόδους αντιμετωπίζεται;
29. Να χαρακτηρίσεις κάθε μια από τις παρακάτω προτάσεις σωστή ή λάθος:
α) Σ' ένα πυρήνα οι ηλεκτρικές αλληλεπιδράσεις τείνουν να απομακρύνουν τα νουκλεόνια ενώ οι ισχυρές τείνουν να τα συγκρατήσουν μαζί.
β) Στην φύση δεν υπάρχουν ραδιενεργά στοιχεία
γ) Η βιολογική δράση των ραδιενεργών ακτινοβολιών εξαρτάται από την ενέργεια και τη φύση της ακτινοβολίας.

- δ) ένας πυρήνας έχει πάντοτε μεγαλύτερη μάζα από το άθροισμα των μαζών των νουκλεονίων από τα οποία αποτελείται
 ε) Η ηλιακή ενέργεια προκύπτει από πυρηνική σχάση
 στ) Η πυρηνική ενέργεια που μετατρέπεται σε θερμική είναι ισοδύναμη με το έλλειμμα μάζας

30. Ποια είναι τα κύρια πλεονεκτήματα της αξιοποίησης της πυρηνικής σύντηξης σε σχέση με τη σχάση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας;

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Δυο ισότοπα του ουρανίου έχουν μαζικούς αριθμούς 235 και 238 αντίστοιχα. Ο ατομικός αριθμός του ουρανίου ισούται με 92. Πόσα νετρόνια υπάρχουν στον πυρήνα καθενός από τα αυτά τα ισότοπα.
2. Πόσα νετρόνια υπάρχουν στον πυρήνα του ατόμου του ισότοπου του υδραργύρου $^{200}_{80}\text{Hg}$;
3. Το στοιχείο υδρογόνο έχει σύμβολο H και ατομικό αριθμό 1. Γράψτε τα σύμβολα των τριών ισotόπων του υδρογόνου με 0, 1 και 2 νετρόνια στον πυρήνα του.
4. Από ποιο είδος σωματιδίων και πόσα από κάθε είδος αποτελείται ένα άτομο $^{109}_{47}\text{Ag}$;
5. Το ραδιενεργό ράδιο $^{226}_{88}\text{Ra}$ μετατρέπεται σε ραδόνιο Rn με εκπομπή ενός σωματιδίου α. Γράψτε το πλήρες σύμβολο του ισotόπου του ραδονίου που προκύπτει.
6. Το ραδιενεργό ισότοπο του μολύβδου $^{214}_{82}\text{Pb}$ μετατρέπεται σε βισμούθιο Bi με εκπομπή ακτινοβολίας β. Να γράψεις το πλήρες σύμβολο του ισotόπου του βισμούθιου που προκύπτει.
7. Κατά τη σχάση 1Kg ουρανίου-235 απελευθερώνεται ενέργεια ίση με $8,2 \cdot 10^{13}$ J. Στην πρώτη ατομική βόμβα έγινε σχάση 1,3 Kg ουρανίου-235. Οι συμβατικές βόμβες χρησιμοποιούν σαν εκρηκτική ουσία την TNT. Από καύση 1 Kg TNT απελευθερώνεται ενέργεια ίση με $5,6 \cdot 10^6$ J. Με πόσους τόνους TNT ήταν ισοδύναμη η πρώτη ατομική βόμβα;
8. Η ενέργεια που απελευθερώνεται κατά την σχάση του πυρήνα ενός ατόμου $^{235}_{92}\text{U}$ είναι ίση με $3,2 \cdot 10^{-5}$ J. Ένα mole ουρανίου περιέχει $6,02 \cdot 10^{23}$ άτομα και έχει μάζα 0,235Kg.
 - α) Πόσα άτομα υπάρχουν σε 1Kg $^{235}_{92}\text{U}$;
 - β) Πόση ενέργεια θα απελευθερωθεί εάν σε 1Kg $^{235}_{92}\text{U}$ όλα τα άτομα υποστούν σχάση;
 - γ) Ένας συνηθισμένος πυρηνικός αντιδραστήρας έχει ισχύ 3.000MW (ή $3.000 \cdot 10^6$ W). Πόσα Kg $^{235}_{92}\text{U}$ καταναλώνονται κάθε δευτερόλεπτο κάθε μέρα;
 - δ) Αν κατά τη καύση 1Kg άνθρακα απελευθερώνεται ενέργεια $2,5 \cdot 10^7$ J. Πόσοι τόνοι άνθρακα απαιτούνται καθημερινά για να λειτουργήσει ένας συμβατικός θερμοηλεκτρικός σταθμός που έχει την ίδια ισχύ με τον παραπάνω πυρηνικό σταθμό;

Περίληψη κεφαλαίου 15: Πυρήνας και πυρηνικά φαινόμενα

- Οι ατομικοί πυρήνες αποτελούνται από πρωτόνια και νετρόνια.
- Ο αριθμός των πρωτονίων ενός πυρήνα ονομάζεται ατομικός αριθμός Z . Ο συνολικός αριθμός των πρωτονίων και των νετρονίων ονομάζεται μαζικός αριθμός A .
- Άτομα με πυρήνες που έχουν ίδιο αριθμό πρωτονίων και διαφορετικό αριθμό νετρονίων ονομάζονται ισότοπα.
- Πρωτόνια και νετρόνια συγκρατούνται στον πυρήνα με την επίδραση της ισχυρής δύναμης.
- Ένας ασταθής πυρήνας διασπάται οπότε μετατρέπεται σε πυρήνα ενός άλλου στοιχείου. Το φαινόμενο ονομάζεται ραδιενέργεια.
- Υπάρχουν τρία είδη ραδιενεργών διασπάσεων. Η διάσπαση α : Ο πυρήνας που διασπάται εκπέμπει σωματίδια α (πυρήνες Ηλίου), διάσπαση β : ο ραδιενεργός πυρήνας κατά τη διάσπαση του εκπέμπει ακτινοβολία β (ηλεκτρόνια μεγάλης ταχύτητας), διάσπαση γ : ο ραδιενεργός πυρήνας κατά τη διάσπαση του εκπέμπει ακτινοβολία γ (φωτόνια πολύ μεγάλης ενέργειας).
- Με βομβαρδισμό μπορούμε να παράγουμε ραδιενεργά ισότοπα τα οποία δεν υπάρχουν στη φύση. Αυτά τα τεχνητά ραδιοϊσότοπα έχουν πολλές εφαρμογές στην ιατρική και τη βιομηχανία.
- Η ακτινοβολίες έχουν βιολογικές επιδράσεις που εξαρτώνται από το είδος και την ενέργεια της ακτινοβολίας.
- Η ενέργεια σύνδεσης του πυρήνα είναι η δυναμική ενέργεια εξ αιτίας της ισχυρής δύναμης. Η ενέργεια σύνδεσης είναι ισοδύναμη με το έλλειμμα μάζας του πυρήνα.
- Κατά τη πυρηνική σχάση ένας βαρύς πυρήνας χωρίζεται σε δυο ελαφρύτερους πυρήνες.
- Κατά τη πυρηνική σύντηξη δυο ελαφροί πυρήνες συνενώνονται για να σχηματίσουν ένα βαρύτερο.
- Η ενέργεια που μετατρέπεται σε άλλη μορφή σε μια πυρηνική αντίδραση είναι ισοδύναμη με τη διαφορά μάζας μεταξύ των αρχικών και των τελικών σωματιδίων.
- Η ενέργεια που απελευθερώνεται κατά τη σχάση μετατρέπεται στους πυρηνικούς αντιδραστήρες τελικά σε ηλεκτρική ενέργεια.
- Η πυρηνική σύντηξη είναι η πηγή ενέργειας του Ήλιου και των άστρων.
- Η ελεγχόμενη πυρηνική σύντηξη μπορεί να προσφέρει με ασφάλεια τεράστιες ποσότητες ενέργειας χωρίς ρύπανση του περιβάλλοντος.

Β Α Σ Ι Κ Ο Ι Ο Ρ Ο Ι

Πρωτόνιο	Μεταστοιχείωση
Νετρόνιο	Ραδιοϊσότοπα
Νουκλεόνιο	Ισχυρή πυρηνική δύναμη
Ατομικός αριθμός	Ασθενής πυρηνική δύναμη
Μαζικός αριθμός	Ενέργεια σύνδεσης
Ισότοπα	Πυρηνική σχάση
Ραδιενέργεια	Αλυσιδωτή αντίδραση
Σωματίδια α	Ελεγχόμενη σύντηξη
Σωματίδια β	
Ακτίνες γ	